



fcfm

Ciencias de la
Computación
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

REVISTA DEL DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA
COMPUTACIÓN DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE

Bite

DE CIENCIA

EDICIÓN N°26 / AÑO 2024

COMPUTACIÓN EN LATINOAMÉRICA

Grupos de investigación de la región cuentan cómo es hacer ciencia en sus respectivos países.

Contenidos

1 Editorial
/ Federico Olmedo

Investigación destacada

2 Sesgos fantásticos: Qué son y dónde encontrarlos
/ Valentin Barriere

Premio Turing

14 Avi Wigderson, Turing Award 2023
/ Marcelo Arenas

Computación en Latinoamérica

20 Lógica y computación cuántica: Un camino a través de los vaivenes políticos de la Argentina
/ Alejandro Díaz-Caro

26 La investigación en Colombia: Una visión desde los grupos de investigación
/ César Collazos, Julio Hurtado y Wilson Pantoja

33 La interacción humano-computador en Ecuador: Trabajando para demostrar valor más allá del diseño de interfaces
/ Marisol Wong-Villacres, Gonzalo Gabriel Méndez y Katherine Chiluzia

39 Estructura y desafíos de la investigación científica en México: Una perspectiva institucional y colaborativa
/ Edgar Chávez

44 Desafíos y oportunidades de la computación en Paraguay
/ Benjamín Barán, Cynthia Delgado, Omar Darío Rolón Díaz y Nathalie Alderete Troche

52 Investigación en Computación en Uruguay: Una perspectiva desde el Instituto de Computación de la Facultad de Ingeniería
/ Lorena Etcheberry

Vinculación con el medio

57 Random UChile: Aleatoriedad transparente en procesos públicos
/ Camilo Gómez, Alejandro Hevia y Bryan Ortiz

64 Dataclima: Avanzando en la gestión de datos climáticos
/ Francisca Muñoz Bravo y María Cecilia Bastarrica

Computación y sociedad

69 Colonialismo de Datos
/ Claudio Gutiérrez

77 Computación y Golpe de Estado: Continuidades y rupturas
/ Juan Álvarez

Estudiantes DCC

83 Alison Fernández Blanco / Hernán Sarmiento / Francisco Plana / Tomás Vallejos / Raúl Reyes / Alfonso Valderrama / Matías Bahamonde Santander



COMITÉ EDITORIAL

Andrés Abeliuk
María Cecilia Bastarrica
Eduardo Graells-Garrido
Claudio Gutiérrez
Alejandro Hevia
Ana Gabriela Martínez
Jocelyn Simmonds
Iván Sipirán

EDITOR GENERAL

Federico Olmedo

EDITORA PERIODÍSTICA

Ana Gabriela Martínez

DISEÑO

Paulette Filla

FOTOGRAFÍAS E IMÁGENES

Comunicaciones DCC

Revista Bits de Ciencia del Departamento de Ciencias de la Computación de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile se encuentra bajo Licencia Creative Commons Deed - Atribución/Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Basada en una obra en www.dcc.uchile.cl



Revista Bits de Ciencia N°26

ISSN 0718-8005 (versión impresa)


dcc.uchile.cl/bits

ISSN 0717-8013 (versión en línea)

Departamento de Ciencias de la Computación

Avda. Beauchef 851, 3° piso,
edificio norte. Santiago, Chile.
837-0459 Santiago

 dcc.uchile.cl

 56 22 9780652

 bitsdeciencia@dcc.uchile.cl

 / [dccuchile](https://www.dcc.uchile.cl)

El contenido de los artículos publicados en esta Revista, son de exclusiva responsabilidad de sus autores y no reflejan necesariamente el pensamiento del Departamento de Ciencias de la Computación de la Universidad de Chile.



Editorial

FEDERICO OLMEDO

Editor General

Revista Bits de Ciencia



La ciencia y la tecnología son pilares fundamentales para el desarrollo de cualquier nación. En ese sentido, varios países de Latinoamérica han logrado avances significativos, en particular, en la investigación y desarrollo de la computación. Esto ha sido posible, entre otros esfuerzos, gracias a la formación de recursos humanos avanzados en el

extranjero que luego fueron repatriados y lideraron la formación de grupos de investigación locales de alto impacto, la creación de conferencias y otros eventos regionales, y la colaboración continua con instituciones extranjeras, principalmente europeas y estadounidenses.

Aún así, la mayoría de los países latinoamericanos enfrentamos serias limitaciones para el desarrollo de la ciencia, como un acceso a financiamiento muy limitado, inestabilidad política y económica, burocracia excesiva y agencias nacionales que, en muchos casos, siguen sin comprender las vicisitudes de la disciplina.

Para entender este fenómeno “desde adentro”, en este número especial de la Revista invitamos a grupos de investigación en diversas áreas de la computación de Argentina, Colombia, Ecuador, México, Paraguay y Uruguay para que, a través de sus experiencias individuales, nos cuenten “cómo es hacer ciencia” en sus respectivos países.

Inauguramos, además, una nueva sección “Vinculación con el Medio”,

donde abordaremos diferentes proyectos del DCC con un impacto destacado en la sociedad. En este número partimos presentando el faro de aleatoriedad Random U-Chile y la plataforma Dataclima.

En la sección “Investigación Destacada” discutimos los sesgos tan comunes (y peligrosos) de los modelos de *machine learning* actuales, mientras que en la sección “Computación y Sociedad” estudiamos, por un lado, el fenómeno del colonialismo moderno de datos y, por otro, las rupturas (y continuidades) de la computación que se dieron durante el Golpe de Estado en Chile. En la sección “Premio Turing” presentamos las contribuciones de Avi Wigderson, y cerramos la Revista con la sección “Estudiantes DCC”, donde varios egresados nos cuentan sobre sus trabajos finales de postgrado y pregrado.

Esperamos que disfruten de este número. Como siempre, no duden en contactarnos a través de bitsdeciencia@dcc.uchile.cl si tienen alguna consulta o sugerencia. ■



Sesgos fantásticos:

Qué son y dónde encontrarlos



VALENTIN BARRIERE

PhD por Télécom Paris, Francia. Profesor Asistente del Departamento de Ciencias de la Computación (DCC) de la Universidad de Chile e investigador joven en el Centro Nacional de Inteligencia Artificial (CENIA), Chile. Su área de investigación es la inteligencia artificial.

✉ vbarriere@dcc.uchile.cl



RESUMEN. Los modelos de *deep learning* tienden a aprender correlaciones de patrones en grandes conjuntos de datos. Cuanto más grandes son estos sistemas, más complejos son los fenómenos que pueden detectar y más datos necesitan para esto. El uso de la inteligencia artificial se está volviendo cada vez más ubicuo en nuestra sociedad, y su impacto crece cada día. Las promesas que conlleva dependen, en gran medida, de su uso justo y universal, como el acceso a la información o la educación para todos. En un mundo de desigualdades, pueden ayudar a alcanzar las áreas más desfavorecidas. Sin embargo, tales sistemas universales deben ser capaces de representar a la sociedad, sin beneficiar a algunos a expensas de otros. No debemos reproducir las desigualdades observadas en todo el mundo, sino educar a estas inteligencias artificiales para que las superen. Hemos visto casos en los que estos sistemas usan información de género, raza o incluso clase de maneras que no son apropiadas para resolver sus tareas. En lugar de un razonamiento causal real, se basan en correlaciones espurias, lo que generalmente llamamos sesgo. En este artículo, primero definimos qué es un sesgo en términos generales. Esto nos ayuda a desmitificar el concepto de sesgo, a entender por qué podemos encontrarlos en todas partes y por qué a veces son útiles. En segundo lugar, nos enfocamos en la noción de lo que generalmente se considera un sesgo negativo, el que queremos evitar en *machine learning*, antes de presentar una taxonomía general que contiene los sesgos más comunes. Finalmente, concluimos analizando métodos clásicos para detectarlos, mediante conjuntos de datos especialmente diseñados de plantillas y algoritmos específicos, y también métodos clásicos para mitigarlos.

¿Estamos hablando de justicia?

En la sociedad...

La justicia (*fairness*) en los modelos de inteligencia artificial (IA) es una gran preocupación para la sociedad actual. Los algoritmos sesgados (*biased*) están sacudiendo a la sociedad de formas que nunca imaginamos, a menudo reforzando las desigualdades y la discriminación existentes. Imagine un algoritmo decidiendo quién obtiene un préstamo, quién es contratado o incluso quién obtiene la libertad bajo fianza. Si estos algoritmos están sesgados, pueden apuntar injustamente a ciertos grupos, como las comunidades minoritarias o las mujeres, perpetuando la injusticia y la discriminación.

En la justicia penal, los algoritmos sesgados pueden llevar a tasas más altas de encarcelamiento para las minorías, mientras que en la contratación, pueden favorecer a los hombres sobre mujeres igualmente calificadas. La atención médica tampoco es inmune a este problema: los algoritmos sesgados pueden resultar en recomendaciones de tratamiento de menor calidad para grupos su-

brepresentados, con consecuencias graves. Las implicaciones éticas de estos sesgos van más allá de la discriminación directa, alcanzando también cuestiones de responsabilidad (*accountability*) y transparencia. Estos algoritmos a menudo operan como cajas negras, haciendo que sus procesos de toma de decisiones sean opacos e inimpugnables. Esta falta de transparencia erosiona la confianza y plantea serios problemas de responsabilidad. ¿Quién es responsable cuando un algoritmo discrimina?

La respuesta no es simple, pero la solución comienza con diversificar los datos, implementar técnicas de detección de sesgos y fomentar la colaboración entre tecnólogos, éticos y legisladores. Concienciar al público sobre estos sesgos digitales es crucial. Si bien los algoritmos prometen eficiencia e innovación, su despliegue ético debe priorizar la justicia y la equidad para garantizar que beneficien a todos por igual, sin profundizar las divisiones sociales existentes.

A medida que la IA se vuelve cada vez más omnipresente, la búsqueda de un alto rendimiento impulsa a los modelos a volverse más complejos, a menudo basándose en asociaciones correlacionales. Sin embargo, también exigimos que estos modelos presenten un comporta-

miento imparcial, respetando la diversidad y basándose en la causalidad en lugar de la correlación. Sin embargo, no olvidemos que los sesgos están en todas partes, ya que casi nada en el mundo es pura aleatoriedad, las estructuras están en todas partes.

Las matemáticas pueden definirse como el estudio de las estructuras, pero las estructuras similares comparten un sesgo estructural común, lo que puede complicar el esfuerzo de usarlas sin perpetuar correlaciones injustas. Esto crea un dilema significativo: ¿cómo podemos aprovechar los antecedentes (*priors*) útiles del mundo para tomar decisiones sin caer en la trampa de las correlaciones sesgadas no causales que pueden ser dañinas en algunos casos sensibles? Por ejemplo, la tasa de criminalidad es más alta en ciertos subgrupos de la población, una elección probabilística no es una razón causal para saber que un individuo cometerá un delito aunque pueda ser estadísticamente probable según las hipótesis. Observatoire des Inégalités [1] informó que los jóvenes negros y árabes, que son subgrupos de la población con una tasa de criminalidad más alta, son más propensos a ser controlados por la policía. Es una práctica común llamada perfil racial, que sanciona basándose en prejuicios sociales y étnicos, y conduce



¿Quién es responsable cuando un algoritmo discrimina?

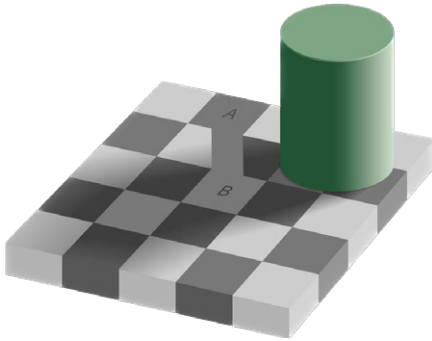


Figura 1. La ilusión de sombra en el tablero de ajedrez.

a un tratamiento injusto y un sesgo sistémico en las prácticas de aplicación de la ley [2]. El desafío radica en eliminar dichos sesgos perjudiciales de los modelos de IA sin sacrificar su capacidad para tomar decisiones informadas y probabilísticas, basadas en las estructuras inherentes del mundo. En otras palabras: ¿cómo eliminar los sesgos perjudiciales en los modelos de IA?

...y en los modelos de IA

Asegurar la justicia en machine learning (ML) es una tarea compleja y desafiante. En primer lugar, los modelos de ML se entrenan con datos del mundo real, que inherentemente contienen sesgos relacionados con la raza, género, religión, clase social o cualquier otro factor. Como resultado, estos modelos pueden no sólo aprender, sino también amplificar estos sesgos preexistentes [3], lo que lleva a resultados problemáticos.

En segundo lugar, a pesar de un entrenamiento y pruebas rigurosas y exhaus-

tivas, crear sistemas que se comporten de manera justa en todas las situaciones y culturas sigue siendo un desafío significativo [4,5]. Por ejemplo, considere un chatbot entrenado en español castellano. Puede funcionar bien al interactuar con usuarios de España, pero puede tener dificultades para entender y responder adecuadamente a la jerga evolutiva utilizada por los adolescentes de Chile o Argentina, el chatbot podría tener dificultades para adaptarse a los modismos únicos y la nueva polisemia de esas regiones, lo que resulta en mala comunicación y frustración (o risas, pero con un rendimiento deficiente). Incluso dentro de su contexto inicial, como entre los castellanoparlantes, el chatbot podría encontrar problemas con dialectos específicos o eventos locales, revelando resultados inesperados e injustos después de su implementación.

En tercer lugar, definir lo que entendemos por “justicia” es inherentemente complejo, ya que no existe un estándar universalmente aceptado, ya sea para decisiones humanas o de máquinas. Determinar los criterios de justicia adecuados para un sistema requiere equilibrar la experiencia del usuario, consideraciones culturales, sociales, históricas, políticas, legales y éticas, cada una con posibles compensaciones. Incluso en situaciones aparentemente sencillas, puede haber desacuerdo sobre qué constituye justicia, ya que puede depender de los valores de los individuos [6,7], complicando el establecimiento de políticas de IA, especialmente en un contexto global.

Finalmente, la IA generativa se está convirtiendo en una parte cada vez más importante de nuestras vidas y genera cada vez más contenido en Internet, que es la principal fuente de datos para entrenar nuevos modelos. El sesgo inherente de los modelos generativos

contemporáneos es un “veneno” para los futuros modelos generativos, ya que reducirá la calidad de los datos de entrenamiento futuros [8].

No obstante, es esencial esforzarse por mejorar continuamente hacia sistemas “más justos”, y aunque la justicia absoluta sigue siendo elusiva, hay formas de tender hacia ella eliminando los sesgos de los modelos existentes. Pero antes de hablar de desviar la IA, empecemos por lo simple: ¿qué es un sesgo? Mostraremos en lo siguiente que el sesgo tiene muchos sentidos, comenzando por sus diversas definiciones y usos en el lenguaje.

¿Qué son los sesgos?

Definición general de los sesgos

Primero, pensemos en el sesgo matemático de un modelo lineal. Este es el valor que un modelo emitirá cuando las entradas sean cero. Un modelo está sesgado cuando emite un valor diferente de cero al transformar el vector nulo. Este sesgo ayuda al modelo a ajustar los datos, porque todos los datos están sesgados.

En segundo lugar, pensemos en los sesgos cognitivos. Estos son sesgos que todos los humanos compartimos. Pueden verse como una diferencia entre la realidad y nuestra percepción del mundo. Pueden ser muy básicos, como una simple ilusión óptica,¹ o de mayor nivel de complejidad, contruidos sobre conceptos sociales. A un nivel de complejidad más bajo, se puede ver un ejemplo en la Figura 1, donde se aprecia un tablero de ajedrez con un cilindro sobre él: los cuadrados oscuros fuera de la sombra parecen más oscuros que los cuadrados blancos en la sombra, aunque en

1 Que actúa muy parecido a un sesgo cognitivo [9].



realidad tienen el mismo color gris oscuro. Otro caso en el que podemos separar grupos de personas según su sesgo es el famoso vestido dorado y blanco, versus negro y azul.²

A un nivel de complejidad más alto, podemos mencionar, entre otros, el efecto Dunning-Kruger, el sesgo de disponibilidad o el sesgo de confirmación. El efecto Dunning-Kruger, ilustrado en la Figura 2, es la tendencia de un individuo con conocimientos o competencias limitadas en un campo dado a sobreestimar sus propias habilidades en ese campo.³ Uno de los mayores libros de divulgación sobre sesgos cognitivos humanos es “Pensar rápido, pensar despacio” de Kahneman [10], quien ganó un Premio Nobel en Economía por su trabajo de vida sobre psicología del juicio y la toma de decisiones. Estos sesgos pueden verse como una desviación entre nuestra percepción y la realidad.

En tercer lugar, podemos nombrar los sesgos sociales, como las normas sociales que son sesgos culturales. Puede ser tan simple como la forma adecuada de vestirse, pero también implica aspectos de comportamiento. Las expectativas de las personas de diferentes grupos sociales variarán con respecto al grupo, dependiendo de lo que se espera de uno de sus miembros. Cuando dos individuos de diferentes culturas no conocen las normas sociales de los otros, pueden experimentar lo que se conoce como un *choque cultural*. Jonathan H. Turner⁴ define el choque cultural como las “diferencias en los valores y creencias culturales que ponen a las personas en conflicto entre sí”. En algunas culturas, decir “no” puede verse como una señal de debilidad, mientras que en

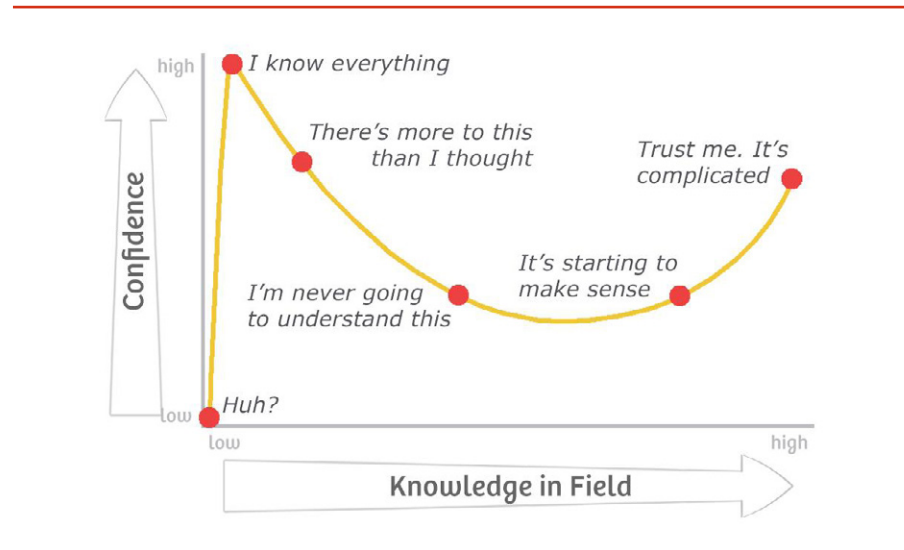


Figura 2. Efecto Dunning-Kruger.

otras como una señal de fortaleza. Tenga en cuenta que las normas sociales dependen de los grupos sociales, por lo que incluso puede encontrar diferencias dentro de una cultura, las normas pueden cambiar con respecto al grupo social: no puede tener el mismo tipo de comportamiento como hombre o como mujer en muchos países.

Los sesgos no son fundamentalmente malos, simplemente son una desviación de una norma o valor (subjetiva y definida). Por ejemplo, los sesgos cognitivos provienen de la estructura de nuestro cerebro, que no es aleatoria. Todos compartimos una parte significativa de nuestro ADN, que podría verse como no sesgado si estuviera centrado en cero: una secuencia aleatoria de nucleótidos,⁵ como una distribución uniforme centrada en cero. Las diferencias en el color del cabello, de los ojos o de la piel, en la forma de la nariz o de la

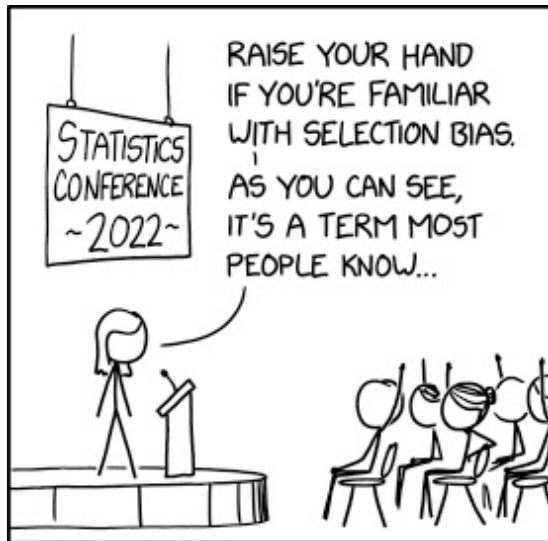
boca pueden ser representativas de un fenotipo, que incluye patrones similares en el ADN, ¡sesgos de nuevo al comparar un grupo con otro!

Dependemos de los sesgos cada vez que tomamos una decisión, son sumamente útiles para seleccionar las opciones más probables. En su artículo ACL, Meister et al. [11] muestran que un sesgo intuitivo para un modelo de lenguaje⁶ es la frecuencia de uso actual de las diferentes palabras. Refleja la forma de hablar, que es un sesgo: sabes que un argentino y un chileno no usarán las mismas palabras. Para esto, Meister et al. inicializan el término de sesgo de la capa lineal final del modelo de lenguaje con la distribución de log-unigramas de las palabras. Esto ayuda a usar conocimiento (*prior knowledge*) previo para minimizar la pérdida (*loss*) de una manera muy *naive* y vincula las dos nociones de sesgo que introducimos antes.

2 https://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/2/21/The_dress_blueblackwhitegold.jpg.
 3 El sesgo de confirmación es la tendencia del cerebro a valorar nueva información que apoya ideas existentes, y el sesgo de disponibilidad es la tendencia del cerebro a concluir que una instancia conocida es más representativa del todo de lo que realmente es.
 4 Profesor de sociología en la Universidad de California, Riverside.
 5 A, T, G y C.
 6 Un modelo destinado a predecir la siguiente palabra conociendo las anteriores, como el utilizado al escribir un texto en un smartphone.



El desafío radica en eliminar dichos sesgos perjudiciales de los modelos de IA sin sacrificar su capacidad para tomar decisiones informadas.



Fuente: <https://xkcd.com/2618/>

Figura 3. Un ejemplo de sesgo de cobertura de los cómics de xkcd #2618.

Taxonomía de los sesgos comunes en ciencia

Existe una taxonomía completa de sesgos, los que provienen de una brecha entre la percepción y la verdad. Pueden en última instancia impactar la validez y la fiabilidad de los hallazgos, lo que lleva a una mala interpretación de los datos. Más sesgos se describen en el artículo "Types of Bias in Research: Definition & Examples".⁷

Sesgo de reporte. Este sesgo ocurre cuando la frecuencia de eventos, propiedades y resultados registrados en un conjunto de datos no refleja con precisión su prevalencia en el mundo real.

A menudo surge porque las personas tienden a documentar circunstancias inusuales o memorables, asumiendo que los eventos ordinarios no valen la pena mencionarse: el fenómeno existe pero la gente no lo reporta. A otro nivel, puede resultar de la tendencia a publicar sólo experimentos exitosos o resultados positivos, lo que crea una percepción sesgada de la efectividad de un modelo y da lugar a malentendidos sobre sus verdaderas capacidades y limitaciones.

Sesgo de automatización. Es la tendencia a preferir los resultados producidos por sistemas automatizados sobre aquellos producidos por sistemas no automatizados, independientemente

de las tasas de error respectivas. Así es como se llega a un chatbot deficiente que no entiende la solicitud especial de un usuario, que debería ser manejada por un humano.

Sesgo de selección. Ocurre si los ejemplos de un conjunto de datos se eligen de una manera que no refleja su distribución en el mundo real.⁸ Este sesgo puede tomar varias formas. Por ejemplo, el sesgo de cobertura surge cuando algunos grupos están insuficientemente representados en los datos de entrenamiento, como encuestar en un aula de Ciencias de la Computación para sondear cuánto sabe la gente sobre programación (ver Figura 3). El sesgo de participación ocurre cuando sólo las personas interesadas responderán a un estudio y el sesgo de muestreo se debe a una no aleatorización de las respuestas (¡o de los datos durante el entrenamiento!).

Sesgo de representación. Este sesgo es algo parecido al sesgo de selección pero con una sutileza. Ocurre cuando los datos recopilados sólo representan un subgrupo de la población, aunque representen la realidad. El hecho de que en su mayoría los hombres sean CEOs no significa que el género sea una característica del éxito como CEO.

Sesgo de atribución de grupo. Implica generalizar en exceso las características, basándose en observaciones limitadas de individuos, al grupo completo al que pertenecen. Puede ser un sesgo de grupo interno, que tiende a favorecer a los individuos del mismo grupo que el experimentador, o sesgo de homogeneidad de grupo externo que tenderá a percibir a los miembros de un grupo externo como más similares entre sí de lo que realmente son, como un científico de datos que habla castellano creando una categoría para el español castellano y otra para el resto de las variaciones.

⁷ <https://www.scribbr.com/category/research-bias/>.

⁸ Es diferente del sesgo de reporte.

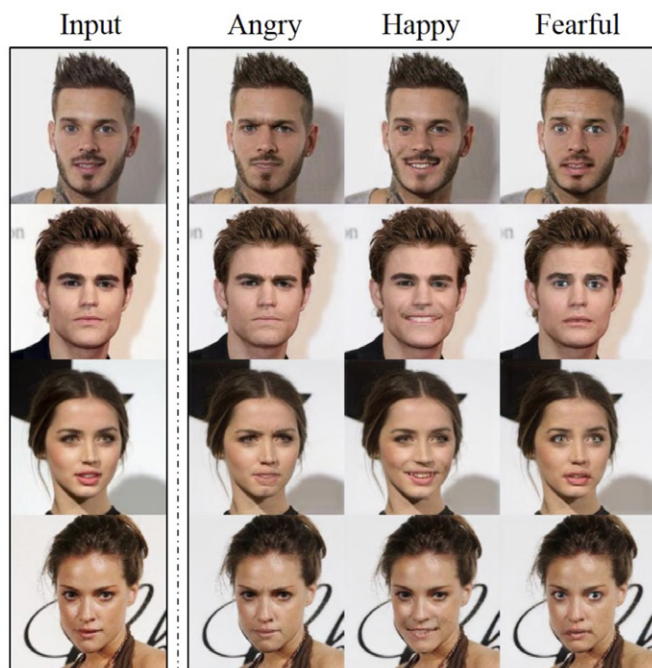


Figura 4. El modelo StarGAN, entrenado sobre conjuntos de datos que contienen principalmente caras blancas jóvenes como CelebA.

Sesgo implícito. Este sesgo ocurre cuando se hacen suposiciones basadas en los propios modelos mentales y experiencias personales que no necesariamente se aplican de manera más general. Se llama sesgo de confirmación cuando se procesan los datos de manera que afirmen creencias e hipótesis preexistentes, como descartar fuera de distribución sin causa, o sesgo del experimentador cuando se condiciona el experimento para alcanzar la conclusión esperada.⁹

Ejemplo de sesgos en ML, NLP y LLMs

Hoy en día, los modelos necesitan muchos más datos para entrenarse, pero los datos disponibles son los que hay

en Internet, lo que no necesariamente representa el mundo real. Y aunque reflejen con precisión la distribución de la vida real, no hay garantía de que no estén sesgados, ya que el mundo real en sí contiene sesgos inherentes. De hecho, con distribuciones sesgadas, el modelo tenderá a sobreajustarse a características espurias específicas: aquí vienen los sesgos.

En el procesamiento del lenguaje natural (NLP), los sesgos están en todas partes, comenzando por los datos [12], las anotaciones [5,13] e incluso las instrucciones de la campaña de anotación [14]. Entre otras cosas, los modelos de NLP pueden arrastrar sesgos morales [15], sociales [16] o políticos [17]. La cuantificación del sesgo social es un tema destacado en la investigación re-

Los modelos de machine learning se entrenan con datos del mundo real, que inherentemente contienen sesgos [...] Estos modelos pueden no sólo aprender, sino también amplificar estos sesgos.

cienta. Puede estar en datos multimodales como el etiquetado de imágenes [18] o simplemente en texto general [19].

En general, los principales sesgos provienen de sesgos de selección. La mayor parte de los datos de Internet están centrados en Occidente. Los modelos generativos como StarGAN ([20]; ver Figura 4) principalmente creaban caras de personas blancas debido a su conjunto de datos de entrenamiento (CelebA de Liu et al. [21]). Esto sigue ocurriendo con los nuevos modelos como Stable Diffusion o Dall-E2. Aunque ahora estos modelos son más diversos, crean estereotipos generando imágenes de hombres musulmanes con la cabeza cubierta, empleadas de limpieza mujeres, pero las personas productivas las identifica como hombres blancos y las personas que acceden a servicios sociales como de piel oscura [22]. Esto sigue siendo la principal fuente de sesgo para los grandes modelos de lenguaje (LLMs) hoy en día.

Sesgo de selección de características. En los algoritmos de machine learning tradicionales, el sesgo de selección a nivel de características puede ser un problema. Por ejemplo, priorizar características como el nivel de ingresos y el vecindario en un modelo de aprobación de préstamos puede inducir sesgos

⁹ Un ejemplo de sesgo del experimentador se describe en <https://xkcd.com/882/>.



Los sesgos no son fundamentalmente malos, simplemente son una desviación de una norma o valor (subjetiva y definida).

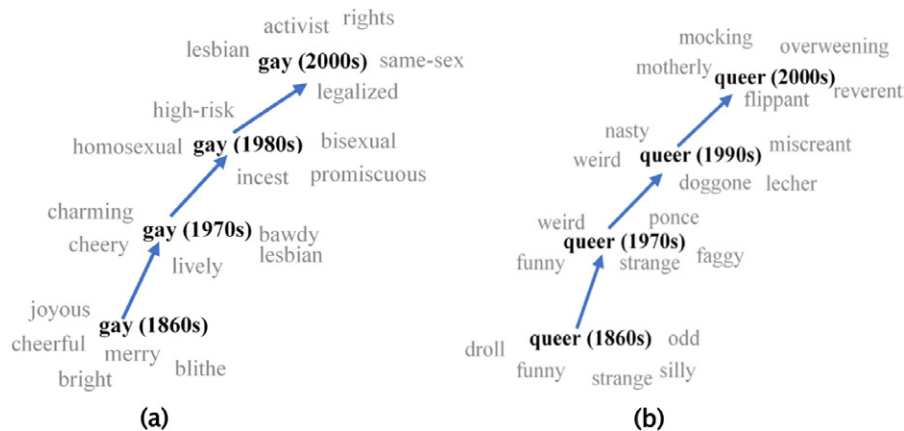


Figura 5. Evolución del significado de las palabras *gay* y *queer* a lo largo del tiempo [32].

socioeconómicos, perjudicando a los solicitantes de áreas de bajos ingresos. Esto se debe a que son variables confusas (*confounding variables*) [23,24], creando correlaciones espurias entre las variables objetivo y de entrada. Estas características sesgadas pueden llevar a predicciones sesgadas del modelo, perpetuando la desigualdad.

Sesgo de anotación. Al igual que con los datos, las anotaciones pueden verse afectadas por un claro sesgo de selección. De hecho, debido a las preferencias culturales, las personas reaccionarán de manera diferente a varios fenómenos subjetivos como el discurso de odio o la aceptabilidad social. Santy et al. [5] muestran que para estas dos tareas las anotaciones varían con respecto a la demografía de los anotadores.

Sesgo cultural. Los datos de una cultura pueden estar sobrerrepresentados en comparación con otra, lo que resulta en un comportamiento no igualitario del modelo. Primero, Naous et al. [25] mostraron que los LLMs tienen sesgos ne-

gativos hacia la cultura árabe: el modelo tendrá menos referencias culturales y estará menos alineado con las creencias, normas y costumbres humanas de un grupo cultural subordinado. Este es un sesgo de selección. En segundo lugar, un LLM tenderá a asimilar los estereotipos culturales encontrados en los datos de entrenamiento, tendiendo a una amplificación de los prejuicios culturales existentes dentro de las salidas del modelo. Estos son sesgos de atribución de grupo.

Sesgos lingüísticos. Algunos idiomas son prominentes en el conjunto de entrenamiento, por ejemplo, GPT-3 se ha entrenado con 50 veces más inglés que francés, que es el segundo idioma en términos de datos de entrenamiento. Un LLM confundirá el español chileno y argentino, aunque no confundirá el inglés irlandés y escocés. Esto se debe a un sesgo de selección, ya que los datos de entrenamiento no representan el mundo real. Pero también a un sesgo de representación, ya que los datos de la Web contienen muchas más referencias irlandesas/escocesas que chilenas/argentinas.

Sesgos ideológicos y políticos. En los datos de entrenamiento, algunos sesgos políticos e ideológicos están más representados que otros. Argyle et al. [26] muestran que es posible replicar los puntos de vista de subpoblaciones demográficamente diversas de Estados Unidos al solicitar a los LLMs que actúen como una persona de un lado político específico. Sin embargo, tenderán a favorecer más ciertas perspectivas políticas o ideologías y serán más propensos a representar estereotipos de grupos subdominantes [27].

Sesgos demográficos. Los datos de entrenamiento muestran una representación desigual (o falta) de ciertos grupos demográficos. Esto puede tomar la forma de sesgos geográficos: varios trabajos [28–30] señalaron que los LLMs muestran un conocimiento geográfico deficiente sobre algunas partes del mundo. Los sesgos también pueden centrarse más en los individuos, como un sesgo de clase social; Curry et al. [31] muestran que los LLMs desfavorecen a los grupos socioeconómicos menos privilegiados.

Sesgos temporales. Dado que los datos se seleccionan durante un período de tiempo específico, limita los contextos históricos al informar sobre eventos actuales, pero también las tendencias u opiniones. Primero, los significados semánticos de las palabras cambian con el tiempo [33] (ver Figura 5), pero afecta los resultados incluso en un corto período [34]. ¿Quién querría un LLM con la visión dominante de las mujeres de principios de los años sesenta?, ¿o uno que tenga la opinión dominante de la esclavitud que tenían las personas en el siglo XVIII?

Sesgos de confirmación. Los LLMs están entrenados para alinearse con las creencias de los usuarios y tenderán a ser más asertivos con respecto a los datos de entrenamiento asertivos, como las opiniones firmes. Además, como desean satisfacer al usuario, los LLMs pueden tender a la retención selectiva de información para crear contenido cognitivamente atractivo en lugar de informativo.



¿Dónde encontrarlos?

Aunque se “cuelan” en todas partes, existen técnicas más o menos exitosas para detectar sesgos en los datos o en los modelos.

En los datos

Valor de características faltantes. Para datos tabulares, un valor faltante puede ser el lugar de un sesgo. Si algunos valores faltan de un grupo objetivo específico, entonces puede indicar que está sobrerepresentado. Por ejemplo, si los datos de ingresos de un grupo demográfico en particular a menudo faltan, el modelo podría malinterpretar el estado económico de ese grupo.

Valores de características inesperados. Los valores de características inesperados podrían indicar errores de entrada de datos u otras inexactitudes que conducen a un sesgo. Una edad negativa para algunas personas podría sesgar el modelo contra ciertos grupos de edad. Además, identificar valores inesperados ayuda a detectar valores atípicos que pueden representar desproporcionadamente a un grupo minoritario. Si el modelo se entrena con estos valores atípicos sin corrección, podría generalizarse mal en ellos.

Asimetría de datos. Si ciertos grupos o características pueden estar sub o sobrerepresentados en relación con su prevalencia en el mundo real, puede introducir un sesgo en el modelo. Y aunque refleje con precisión la prevalencia del mundo real, puede que no sea la mejor idea entrenar con ellos y repetir las desigualdades del mundo real. Observar la distribución de datos con respecto a los diferentes grupos objetivo es una buena opción. Es una manera fácil de verificar si hay una asimetría importante en los datos representados entre los diferentes grupos objetivo. De manera similar, el número de muestras por grupo

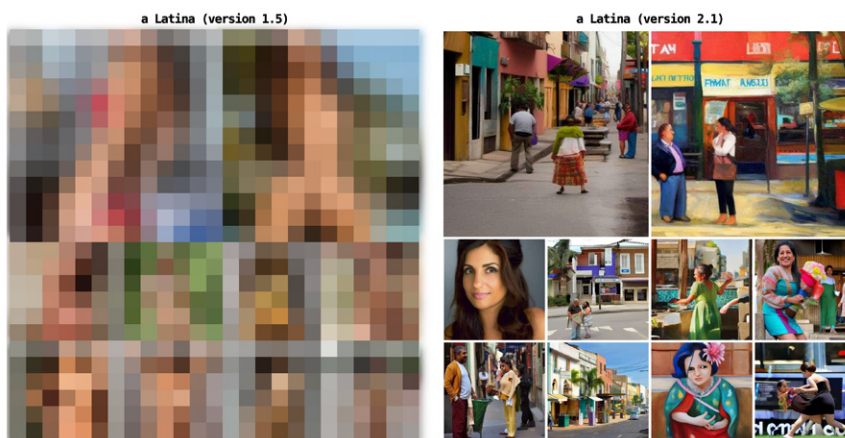


Figura 6. Sesgo de “latinas” de la versión 1.5 de Stable Diffusion comparada con la versión 2.1.

objetivo también es importante para no favorecer al grupo sobrerepresentado.

Anotación no representativa. Pedir la demografía de los anotadores al recopilarlos ahora se considera esencial. Santy et al. [5] mostraron que la noción de discurso de odio y aceptabilidad social varía mucho entre diferentes culturas, es decir, lo que puede ser socialmente aceptado para algunos individuos puede estar totalmente prohibido para otros. Por esta razón, las anotaciones que se utilizarán para el aprendizaje supervisado no deben estar sesgadas hacia un subgrupo de la población global que se verá afectada por este modelo.

Datos de entrenamiento (pre)sucios. Cuando se busca recopilar un conjunto de datos masivo para preentrenar modelos fundamentales, es probable que los datos no sean perfectos. Limpiar el conjunto de datos para eliminar texto duplicado ayuda a reducir los sesgos, pero también a mejorar el rendimiento de los modelos: Hernández et al. [35] señalan que “para un modelo de 1B (mil millones) de parámetros, cien duplicados son dañinos; en 175B, incluso unos pocos duplicados podrían tener un efecto desproporcionado”. Limpiar eliminando contenido de discurs-

so de odio y pornografía (que forma la mayor parte de la Web) también es una buena idea. Por ejemplo, Tiku et al. [22] descubrieron que al usar la versión 1.5 de Stable Diffusion, “latina” produce imágenes altamente sexuales, ya que el 20% de las leyendas que contienen esta palabra fueron juzgadas como inseguras por un clasificador NSFW (Figura 6).

En los modelos

Positividad sobre grupos objetivo. Analizar la predicción de salida de un sistema con respecto a diferentes grupos objetivo puede decir mucho sobre su funcionamiento, especialmente cuando las salidas pueden verse como positivas o negativas. Por ejemplo, si un sentimiento es malo para personas árabes, la empleabilidad es menor para mujeres o si la predicción de reincidencia es mayor para personas negras, puede que no sea una buena señal.

Robustez y estabilidad. En machine learning, un sesgo puede verse como un cambio de decisión influenciado por una variable no causal. Ribeiro et al. [37] utilizan contrafactuales para verificar la robustez, como cambiar algunas palabras o atributos en una oración y ver si afecta el comportamiento del modelo.

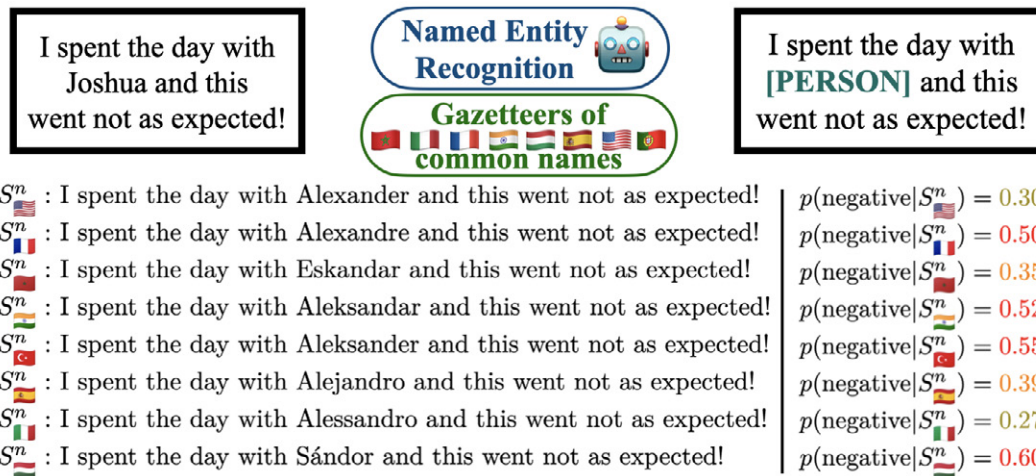


Figura 7. Detección de sesgos con respecto a los países, utilizando ejemplos contrafactuales sobre un sistema de análisis de sentimientos, que debería suponer emitir las mismas predicciones.

Si la salida del modelo etiqueta específicamente como positiva o negativa, se puede inferir un sesgo con respecto a los cambios de atributos. De hecho, al usar nombres como proxy, es posible estimar el sesgo de un modelo con respecto a la procedencia de un nombre ([23,24]; ver Figura 7).

Rendimientos heterogéneos sobre grupos objetivo. Una definición simple de un sistema sesgado es que se desempeña mal en datos de un grupo objetivo. Si un sistema de reconocimiento facial no puede funcionar con personas negras, entonces está sesgado. La tasa de falsos positivos y falsos negativos por subgrupo puede ayudar a entender qué grupos experimentan un rendimiento desproporcionadamente peor o mejor. Este sesgo oculto puede ser perjudicial, especialmente en aplicaciones como la puntuación de crédito o los diagnósticos médicos.

Prueba de choque en la vida real. Una de las mejores pruebas es poner el sistema en contacto con los usuarios. Rara vez opera perfectamente cuando se aplica a datos reales y en vivo. Cuando ocurre un problema, se debe

Dependemos de los sesgos cada vez que tomamos una decisión, son sumamente útiles para seleccionar las opciones más probables.

evaluar si refleja desventajas sociales existentes y determinar su influencia en las personas afectadas.

¿Cómo mitigarlos?

Existen muchas formas de mitigar los sesgos negativos de los modelos. Aquí presentamos algunas de ellas.

Sobremuestreo/Submuestreo. Si un grupo objetivo está subrepresentado o sobrerrepresentado, podría afectar el rendimiento del modelo. Una solución simple es proceder a un muestreo.

Muestras ponderadas. Otra solución sería ponderar la pérdida de la función, simplemente por el inverso de la proporción de cada muestra de grupo objetivo (si tienes un 90% del grupo A y un 10% del grupo B, entonces puedes ponderar las muestras del grupo A por $\frac{1}{0.9}$ y las del grupo B por $\frac{1}{0.1}$).

Función objetivo que refleja justicia. También se puede crear una función para ayudar a reducir el impacto de las muestras sesgadas como una pérdida focal que reduce el impacto de las muestras fáciles en la actualización del peso, como una pérdida focal desesgada [38] o su versión no supervisada de Orgad and Belinkov [39]. Esta última se basa en un detector de éxito que se supone predice si el modelo principal, sin conocer la tarea, tendrá éxito en la predicción: si puede predecir el éxito del modelo principal en una muestra, entonces podría contener características sesgadas y debería tener un peso reducido en la pérdida.

Aumento de datos. Sharma et al. [40] proponen crear, para cada muestra que contenga un atributo del grupo objetivo, una nueva muestra que tenga las mismas características (excepto el(los) atributo(s) protegido(s)) pero con el valor opuesto del atributo protegido y la misma etiqueta. Por ejemplo, la oración "John

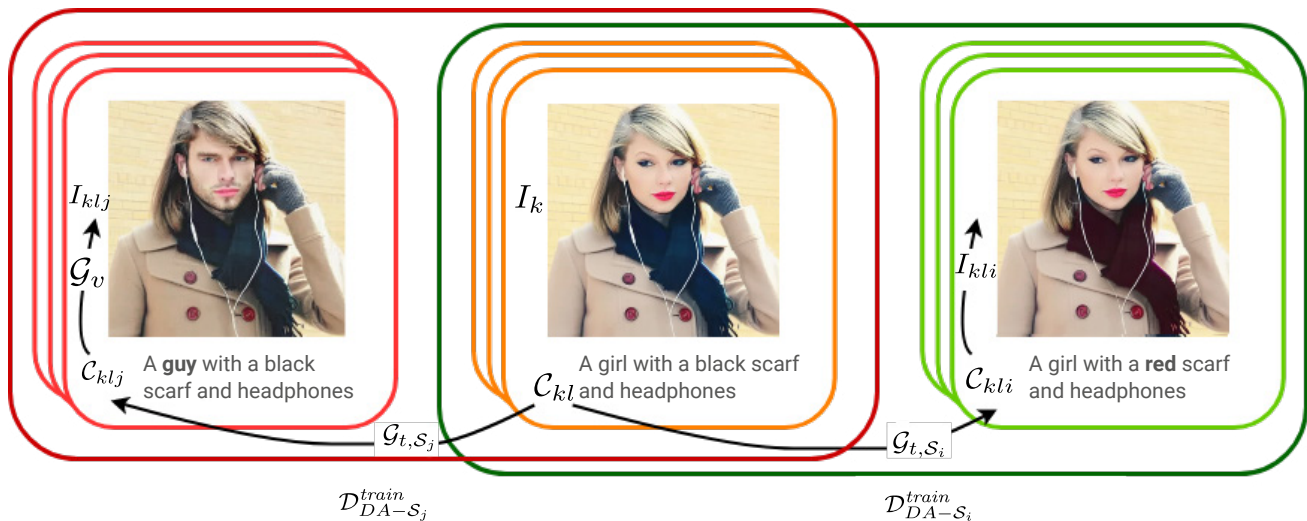


Figura 8. Ejemplo de aumento de datos multimodales que fomenta la diversidad [36].

es ingeniero y le encanta el snowboard” se convertiría en “Jane es ingeniera y le encanta el snowboard”. Esta técnica también se puede usar para eliminar sesgos (no)sociales y forzar a los modelos multimodales a adaptarse a asociaciones menos comunes que las que están en el conjunto de datos inicial, como un limón azul (ver Figura 8 de [36]).

Pérdida adversarial. La *fairness through blindness* es una técnica utilizada para maximizar la capacidad del clasificador para predecir la clase, minimizando al mismo tiempo la capacidad de una red adversarial para predecir una variable protegida [41,42]. Por ejemplo, si una representación de modelo de alta dimensión de un currículum vitae puede usarse para predecir si una persona debe ser empleada y al mismo tiempo no puede usarse para predecir el género de una persona, entonces debería ser independiente del género del solicitante.

Perspectivas humanas. ¡A través del uso de diferentes perspectivas! Discutir con expertos del dominio, científicos sociales, legisladores y psicólogos para tener un punto de vista diferente sobre el impacto de un trabajo. Algunos artículos recientes

[43,44] proponen redefinir las raíces del problema utilizando argumentos y enfoques alejados de los planteados clásicamente en la informática, para fenómenos como la diversidad o la empatía [5,45].

Perspectivas de máquinas. También se puede integrar el hecho de que a veces no hay una única respuesta para una pregunta, y se necesitan o deben representarse muchas perspectivas en los modelos. Este es en realidad un nuevo campo de investigación en NLP [46,47]. Por ejemplo, un LLM puede solicitarse con demografía para representar diversas perspectivas [48]. Esto permite que el modelo se vea obligado a adaptarse a diferentes subgrupos de la población en los que se utiliza.

Integración de todas las etiquetas. En el mismo sentido, es posible no entrenar en una agregación de anotaciones que representan la verdad objetiva sino en la distribución de anotaciones. Esto permite representar mejor a los anotadores de tareas subjetivas como el reconocimiento de discurso de odio o emociones [49].

Alineación del usuario. Las técnicas utilizadas por los LLMs como el

reinforcement en preferencias humanas pueden ayudar a reducir algunos sesgos, como la generación de discurso de odio o contenido ofensivo. Sin embargo, también se ha demostrado que reducen la universalidad del modelo [50].

Conclusión

Los sesgos están en todas partes. Pueden ser útiles en el proceso de razonamiento, ya que estructuran el mundo, y aunque puedan representar la realidad, pueden ser perjudiciales para los subgrupos de la población. Es importante primero detectar sus impactos, lo cual es posible utilizando algunos de los métodos que presentamos en este documento y, segundo, minimizarlos para tender hacia modelos de IA más justos. Esto es posible mediante la optimización de objetivos específicos con funciones de pérdida (*loss functions*), el aprendizaje adversarial o el uso de aumento de datos, etc. Este paso es esencial si queremos cumplir las promesas de la IA para un mundo más justo. ■



REFERENCIAS

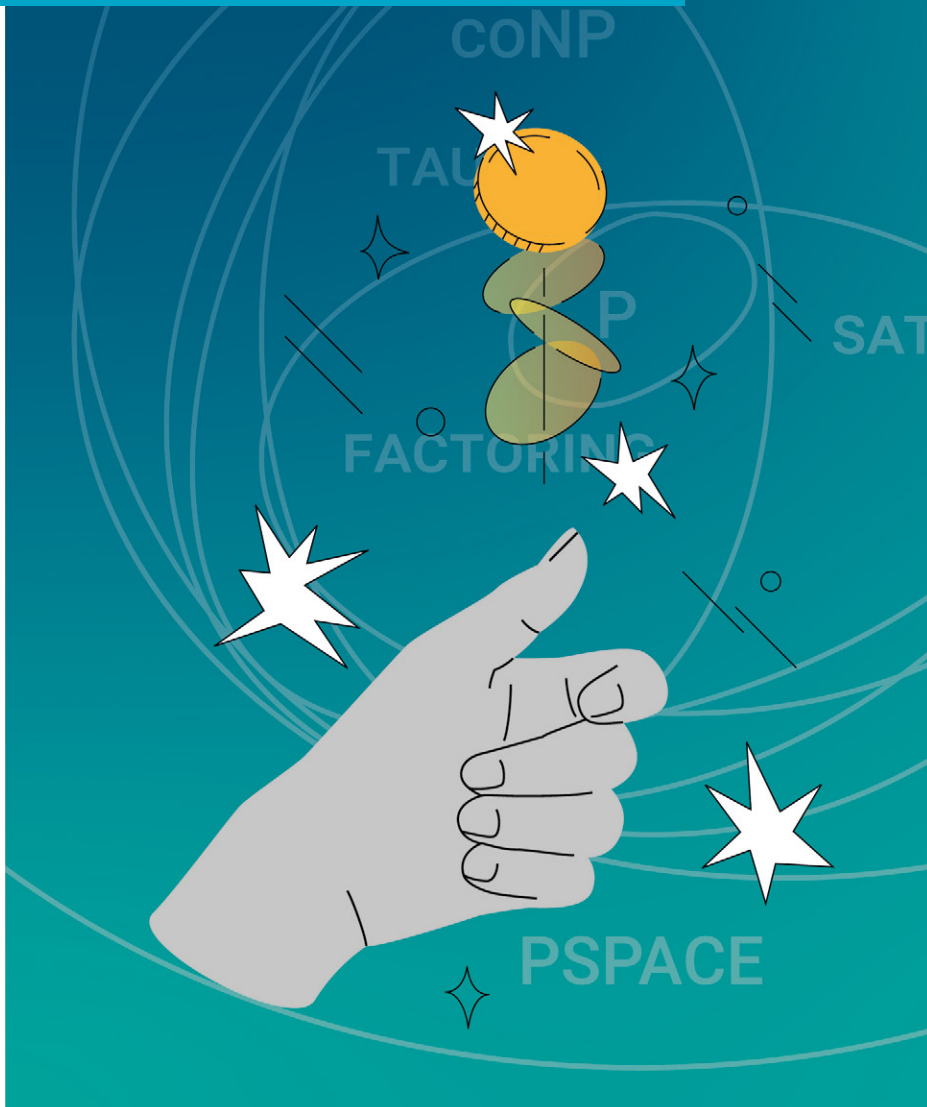
- [1] Observatoire des inégalités. Des contrôles de police très inégaux selon la couleur de la peau, 2021.
- [2] N. Jounin, F. Ahmadouchi, A. Bachiri, B. Bakhayokho, J. Bihet, R. Bouali, N. Cognasse, S. El Mellah, C. Gicquel, M. Josse, Y. Kettal, N. Krumnow, A. Mimoun, L. Mokrani, J. Mongongnon, P. Orsini, C. Otto, L. Rondou, A. Tamega, L. Tilbourg, E. H. Touré, and U. Tubeuf. Control features: Identity checks, appearance and ways of life of students in the Île-de-France. *Deviance et Societe*, 39(1):3–29, 2015. ISSN 03787931.
- [3] M. Hall, L. van der Maaten, L. Gustafson, M. Jones, and A. Adcock. A Systematic Study of Bias Amplification. *Trustworthy and Socially Responsible Machine Learning (TSRML) at Neurips*, 1(1), 2022.
- [4] N. Mehrabi, F. Morstatter, N. Saxena, K. Lerman, and A. Galstyan. A Survey on Bias and Fairness in Machine Learning, 2021. ISSN 15577341.
- [5] S. Santy, J. T. Liang, R. L. Bras, K. Reinecke, and M. Sap. NLPositionality: Characterizing Design Biases of Datasets and Models. 1:9080–9102, 2023.
- [6] T. Sorensen, L. Jiang, J. Hwang, S. Levine, V. Pyatkin, P. West, N. Dziri, X. Lu, K. Rao, C. Bhagavatula, M. Sap, J. Tasioulas, and Y. Choi. Value Kaleidoscope: Engaging AI with Pluralistic Human Values, Rights, and Duties. (Archive 2011), 2023.
- [7] N. Mirzakhmedova, J. Kiesel, M. Alshomary, M. Heinrich, N. Handke, X. Cai, V. Barriere, D. Dastgheib, O. Ghahroodi, M. A. Sadraei, E. Asgari, L. Kawaletz, H. Wachsmuth, and B. Stein. The Touché23-ValueEval Dataset for Identifying Human Values behind Arguments. In *LREC-COLING*, 2024.
- [8] R. Taori and T. B. Hashimoto. Data Feedback Loops: Model-driven Amplification of Dataset Biases. In *Proceedings of Machine Learning Research*, volume 202, pp. 33883–33920, 2023.
- [9] D. Baer. Kahneman: Your Cognitive Biases Act Like Optical Illusions, 2017.
- [10] D. Kahneman. *Thinking, Fast and Slow*. 2011.
- [11] C. Meister, W. Stokowiec, T. Pimentel, L. Yu, L. Rimell, and A. Kuncoro. A Natural Bias for Language Generation Models. In *ACL*, volume 2, pp. 243–255, 2022.
- [12] M. Wiegand, J. Ruppenhofer, and T. Kleinbauer. Detection of abusive language: The problem of biased datasets. *NAACL HLT 2019 - 2019 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies - Proceedings of the Conference*, 1:602–608, 2019.
- [13] M. Sap, S. Swamydipta, L. Vianna, X. Zhou, Y. Choi, and N. A. Smith. Annotators with Attitudes: How Annotator Beliefs And Identities Bias Toxic Language Detection. *NAACL 2022 - 2022 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies, Proceedings of the Conference*, pp. 5884–5906, 2022.
- [14] M. Parmar, S. Mishra, M. Geva, and C. Baral. Don't Blame the Annotator: Bias Already Starts in the Annotation Instructions. In *EACL 2023 - 17th Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics, Proceedings of the Conference*, pp. 1771–1781, 2023.
- [15] K. Hämmerl, B. Deiseiroth, P. Schramowski, J. Libovický, C. A. Rothkopf, A. Fraser, and K. Kersting. Speaking Multiple Languages Affects the Moral Bias of Language Models. In *Findings of ACL: ACL 2023*, pp. 2137–2156, 2022.
- [16] M. Sap, S. Gabriel, L. Qin, D. Jurafsky, N. A. Smith, and Y. Choi. Social Bias Frames: Reasoning about Social and Power Implications of Language. *Proceedings of the 58th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*, pp. 5477–5490, 2020.
- [17] S. Feng, C. Y. Park, Y. Liu, and Y. Tsvetkov. From Pretraining Data to Language Models to Downstream Tasks: Tracking the Trails of Political Biases Leading to Unfair NLP Models. In *ACL*, volume 1, pp. 11737–11762, 2023.
- [18] Y. Hirota, Y. Nakashima, and N. García. Quantifying Societal Bias Amplification in Image Captioning. *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2022-June:13440–13449, 2022. ISSN 10636919.
- [19] P. Czarnowska, Y. Vyas, and K. Shah. Quantifying social biases in nlp: A generalization and empirical comparison of extrinsic fairness metrics. *Transactions of the Association for Computational Linguistics*, 9:1249–1267, 2021. ISSN 2307387X.
- [20] Y. Choi, M. Choi, M. Kim, J. W. Ha, S. Kim, and J. Choo. StarGAN: Unified Generative Adversarial Networks for Multi-domain Image-to-Image Translation. In *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 8789–8797, 2018.
- [21] Z. Liu, P. Luo, X. Wang, and X. Tang. Deep learning face attributes in the wild. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision*, volume 2015 Inter, pp. 3730–3738, 2015.
- [22] N. Tiku, K. Schaul, and S. Y. Chen. This is how AI image generators see the world, 2023.
- [23] V. Barriere and S. Cifuentes. Are Text Classifiers Xenophobic? A Country-Oriented Bias Detection Method with Least Confounding Variables. In N. Calzolari, M.-Y. Kan, V. Hoste, A. Lenci, S. Sakti, and N. Xue, editors, *Proceedings of the 2024 Joint International Conference on Computational Linguistics, Language Resources and Evaluation (LREC-COLING 2024)*, pp. 1511–1518, Torino, Italia, 5 2024. ELRA and ICCL.
- [24] V. Barriere and S. Cifuentes. A Study of Nationality Bias in Names and Perplexity using Off-the-Shelf Affect-related Tweet Classifiers. Submitted to *EMNLP*, 2024.
- [25] T. Naous, M. J. Ryan, A. Ritter, and W. Xu. Having Beer after Prayer? Measuring Cultural Bias in Large Language Models. *ACL*, 2024.



- [26] L. P. Argyle, C. A. Bail, E. C. Busby, J. R. Gubler, T. Howe, C. Rytting, T. Sorensen, and D. Wingate. Leveraging AI for democratic discourse: Chat interventions can improve online political conversations at scale. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 120(41):1–8, 2023. ISSN 10916490.
- [27] A. Liu, M. Diab, and D. Fried. Evaluating Large Language Model Biases in Persona-Steered Generation. 2024.
- [28] R. Manvi, S. Khanna, M. Burke, D. Lobell, and S. Ermon. Large language models are geographically biased. *arXiv preprint arXiv:2402.02680*, 2024.
- [29] J. Dunn, B. Adams, and H. T. Madabushi. Pre-Trained Language Models Represent Some Geographic Populations Better than Others. In *Proceedings of the 2024 Joint International Conference on Computational Linguistics, Language Resources and Evaluation (LREC-COLING 2024)*, pp. 12966–12976, 2024.
- [30] N. Godey, E. de la Clergerie, and B. Sagot. On the Scaling Laws of Geographical Representation in Language Models. In *LREC-COLING*, 2024.
- [31] A. C. Curry, G. Attanasio, Z. Talat, M. B. Zayed, and D. Hovy. *Classist Tools: Social Class Correlates with Performance in NLP. (1964)*, 2024.
- [32] Y. Shi and L. Lei. The evolution of LGBT labelling words: Tracking 150 years of the interaction of semantics with social and cultural changes. *English Today*, 36(4):33–39, 2020.
- [33] D. Schlechtweg, A. Hätyy, M. del Tredici, and S. S. i. Walde. A wind of change: Detecting and evaluating lexical semantic change across times and domains. In *ACL 2019 - 57th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, Proceedings of the Conference*, pp. 732–746, 2020.
- [34] D. Loureiro, F. Barbieri, L. Neves, L. E. Anke, and J. Camacho-Collados. *TimeLMs: Diachronic Language Models from Twitter*. 2022.
- [35] D. Hernández, T. Brown, T. Conerly, N. DasSarma, D. Drain, S. El-Showk, N. Elhage, Z. Hatfield-Dodds, T. Henighan, T. Hume, S. Johnston, B. Mann, C. Olah, C. Olsson, D. Amodei, N. Joseph, J. Kaplan, and S. McCandlish. Scaling Laws and Interpretability of Learning from Repeated Data. pp. 1–23, 2022.
- [36] V. Barriere, F. Del Río, A. Carvallo, C. Aspillaga, E. Herrera-Berg, and C. Buc. Targeted Image Data Augmentation Increases Basic Skills Captioning Robustness. In S. Gehrmann, A. Wang, J. Sedoc, E. Clark, K. Dhole, K. R. Chandu, E. Santus, and H. Sedghamiz, editors, *Proceedings of the Third Workshop on Natural Language Generation, Evaluation, and Metrics (GEM)*, pp. 243–257, Singapore, 12 2023. Association for Computational Linguistics.
- [37] M. T. Ribeiro, T. Wu, C. Guestrin, and S. Singh. Beyond Accuracy: Behavioral Testing of NLP Models. *ACL*, 2020.
- [38] R. K. Mahabadi, Y. Belinkov, and J. Henderson. End-to-end bias mitigation by modelling biases in corpora. In *Proceedings of the Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*, pp. 8706–8716, 2020.
- [39] H. Orgad and Y. Belinkov. BLIND: Bias Removal With No Demographics. In *ACL*, volume 1, pp. 8801–8821, 2022.
- [40] S. Sharma, Y. Zhang, J. M. Aliaga, D. Bouneffouf, V. Muthusamy, and K. R. Varshney. Data augmentation for discrimination prevention and bias disambiguation. In *AIES 2020 - Proceedings of the AAI/ACM Conference on AI, Ethics, and Society*, pp. 358–364, 2020.
- [41] Y. Elazar and Y. Goldberg. Adversarial removal of demographic attributes from text data. In *Proceedings of the 2018 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, EMNLP 2018*, pp. 11–21, 2018.
- [42] L. Wang, Y. Yan, K. He, Y. Wu, and W. Xu. Dynamically Disentangling Social Bias from Task-Oriented Representations with Adversarial Attack. In *Proceedings of the 2021 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies*, pp. 3740–3750, 2021.
- [43] A. Curry and A. C. Curry. Computer says “No”: The Case Against Empathetic Conversational AI. In *Proceedings of the Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*, pp. 8123–8130, 2023.
- [44] M. Valette. What Does Perspectivism Mean? An Ethical and Methodological Counter-criticism. In *3rd Workshop on Perspectivist Approaches to NLP, NLPerspectives 2024 at LREC-COLING 2024 - Workshop Proceedings*, pp. 111–115, 2024.
- [45] S. Tafreshi, V. Barriere, and S. Buechel. WASSA 2021 Shared Task: Predicting Empathy and Emotion in Reaction to News Stories. In *Proceedings of the Eleventh Workshop on Computational Approaches to Subjectivity, Sentiment and Social Media Analysis, EACL 2021*, pp. 92–104, 2021.
- [46] G. Abercrombie, V. Basile, S. Tonelli, V. Rieser, and A. Uma. *Proceedings of the 1st Workshop on Perspectivist Approaches to NLP@ LREC2022*. In *Proceedings of the 1st Workshop on Perspectivist Approaches to NLP@ LREC2022*, 2022.
- [47] G. Abercrombie, V. Basile, D. Bernadi, S. Dudy, S. Frenda, L. Havens, and S. Tonelli. *Proceedings of the 3rd Workshop on Perspectivist Approaches to NLP (NLPerspectives)@ LREC-COLING 2024*. In *Proceedings of the 3rd Workshop on Perspectivist Approaches to NLP (NLPerspectives)@ LREC-COLING 2024*, 2024.
- [48] S. A. Hayati, M. Lee, D. Rajagopal, and D. Kang. How Far Can We Extract Diverse Perspectives from Large Language Models? 2023.
- [49] Y. Kim and J. Kim. Human-Like Emotion Recognition: Multi-Label Learning From Noisy Labeled Audio-Visual Expressive Speech. In *ICASSP*, pp. 5104–5108, 2018.
- [50] T. Sorensen, J. Moore, J. Fisher, M. Gordon, N. Mireshghallah, C. M. Rytting, A. Ye, L. Jiang, X. Lu, N. Dziri, T. Althoff, and Y. Choi. Position: A Roadmap to Pluralistic Alignment. In *Proceedings of the 41 st International Conference on Machine Learning*, 2024.



Avi Wigderson, Turing Award 2023



MARCELO ARENAS

Ph.D. por la Universidad de Toronto, Canadá. Actualmente es Profesor Titular de la Pontificia Universidad Católica (PUC) de Chile e investigador principal del Instituto Milenio Fundamentos de los Datos (IMFD). Es miembro distinguido de la Association for Computing Machinery (ACM) y ex director del IMFD y del Centro de Investigación de la Web Semántica (CIWS). En 2006 recibió el SIGMOD Jim Gray Doctoral Dissertation Award Honorable Mention por su tesis de doctorado. Sus líneas de investigación son: manejo de datos, aplicaciones de lógica matemática en ciencia de la computación y teoría de la computación.

✉ marenas@ing.puc.cl



RESUMEN. La influencia de Avi Wigderson en el área de complejidad computacional es innegable; cualquier persona que trabaje en este campo o utilice sus herramientas en otras áreas, inevitablemente encontrará alguno de sus resultados o las consecuencias de su trabajo. A lo largo de su impresionante carrera académica, Avi Wigderson ha moldeado este campo con una serie de resultados variados, originales y profundos. Este artículo no pretende detallar exhaustivamente todos los logros de Avi Wigderson, sino más bien destacar dos de sus contribuciones que sobresalen por su originalidad e impacto.

¿Qué es la complejidad computacional?

El problema fundamental de la ciencia de la computación es diseñar procedimientos, o algoritmos, eficientes que permitan resolver diversos tipos de problemas. Esta noción de eficiencia generalmente se mide en términos del tiempo que necesita un algoritmo para resolver un problema, aunque también puede medirse en términos de otros recursos relevantes, como el espacio.

Acompañando esta necesidad de desarrollar técnicas para la creación de algoritmos eficientes, surge también el problema de desarrollar herramientas que permitan demostrar que un problema *no puede* ser resuelto con ciertos recursos. Estas técnicas son fundamentales, ya que evitan esfuerzos infructuosos en la búsqueda de soluciones imposibles.

Como ejemplo, consideremos el problema de ordenar de menor a mayor una lista de n números naturales. Al reflexionar sobre este problema, se puede notar que es sencillo desarrollar un

algoritmo que ordene la lista realizando alrededor de n^2 comparaciones de números en la lista. Además, existen algoritmos más eficientes que pueden resolver este problema realizando alrededor de $n \times \log_2(n)$ comparaciones. ¿Pero es posible resolver este problema con un algoritmo aún más eficiente, que sólo realice alrededor de n comparaciones? Algunas herramientas desarrolladas en la ciencia de la computación permiten demostrar que un algoritmo para ordenar una lista con n elementos no puede realizar menos de $n \times \log_2(n)$ comparaciones. Esto indica inmediatamente que no es posible construir el algoritmo lineal planteado en la pregunta.

El área de complejidad computacional estudia la complejidad inherente de un problema computacional, lo cual se traduce en entender la cantidad de recursos computacionales, como tiempo y espacio, necesarios para resolverlo. En particular, en esta área se desarrollan las técnicas mencionadas anteriormente para demostrar que un problema no puede ser resuelto con ciertos recursos. Es aquí donde surge una de las tareas más fundamentales de la complejidad computacional: demostrar que existen problemas que no pueden ser resueltos de manera eficiente.

Es importante detenernos aquí en la noción de eficiencia. Un algoritmo se considera eficiente si la cantidad de pasos que necesita para resolver un problema está acotada superiormente por un polinomio fijo. Por ejemplo, todos los algoritmos de ordenación mencionados en el párrafo anterior son considerados eficientes ya que realizan n^2 comparaciones. Por otro lado, un algoritmo que realiza 2^n operaciones para resolver un problema, es decir, tiempo exponencial, no se considera eficiente ya que la función 2^n no está acotada superiormente por ningún polinomio fijo. Entonces, la pregunta fundamental de la complejidad computacional se traduce en demostrar que existen problemas que no pueden ser resueltos por un algoritmo de tiempo polinomial.

Ganador del Premio Turing 2023



Por supuesto, el lector podría estar pensando que un algoritmo de tiempo polinomial no es necesariamente eficiente en la práctica; por ejemplo, un algoritmo que realiza n^{100} operaciones no puede ser utilizado ni siquiera para una entrada con 10 elementos ($n = 10$). Sin embargo, lo que debe considerarse aquí es que el objetivo es demostrar que ciertos problemas no pueden ser resueltos por tales algoritmos. Es decir, son problemas tan difíciles que ni siquiera permitiendo algoritmos con tiempos de n^{100} , n^{1000} o n^{10000} podrán ser resueltos por ellos.

¿Qué tipos de problemas computacionales son tan difíciles? Existen muchas posibilidades, pero nos concentraremos aquí en la famosa clase de problemas NP, de la cual el lector puede haber oído en algún momento. Los problemas de esta clase se caracterizan porque es difícil construir una solución para ellos, pero, dada una posible solución, es fácil verificar que efectivamente lo es.

Como ejemplo de un problema en esta clase, consideremos el problema de pintar un mapa con tres colores, de manera tal que dos países limítrofes tengan colores distintos. Llamaremos a este problema 3-COL-MAPA. Seguramente el lector ha escuchado que un mapa siempre puede ser pintado con cuatro colores, lo cual es conocido como el Teorema de los Cuatro Colores. Por el contrario, no todos los mapas pueden ser pintados con tres colores. Como



Figura 1. Mapa de Sudamérica pintado con cuatro colores.

ejemplo de esto, considere el mapa de Sudamérica, el cual, como se muestra en la Figura 1, puede ser pintado con cuatro colores. Sin embargo, este mapa no puede ser pintado con tres colores, ya que Argentina, Brasil y Bolivia necesitan colores distintos por ser mutuamente limítrofes, y todos ellos tienen a Paraguay como país limítrofe.

¿Cuál es la complejidad de 3-COL-MAPA? Este es uno de los problemas de la clase NP que son considerados difíciles. En particular, para este problema sólo se conocen algoritmos que, esencialmente, deben probar todas las coloraciones posibles para verificar si un mapa se puede pintar con tres colores. Si el mapa tiene n países, entonces existen 3^n tales coloraciones, por lo que estos algoritmos funcionan en tiempo exponencial. Por otro lado, es simple verificar si una posible solución es correcta: dada una posible coloración del mapa, sólo debemos comprobar que cada par de países

Estas técnicas [para demostrar que un problema no puede ser resuelto con ciertos recursos] son fundamentales, ya que evitan esfuerzos infructuosos en la búsqueda de soluciones imposibles.

limítrofes tiene colores distintos para asegurarnos de que la coloración es correcta. Esta verificación puede realizarse en tiempo polinomial.

Defina P como la clase de problemas que pueden ser solucionados en tiempo polinomial. El problema abierto más importante en complejidad computacional es demostrar que $P \neq NP$, lo cual consiste en demostrar que no existe un algoritmo de tiempo polinomial para el problema 3-COL-MAPA. Por supuesto, el lector podría preguntarse por qué pintar un mapa con tres colores es un problema importante. La respuesta a esta pregunta es simple: 3-COL-MAPA es equivalente a un gran número de otros problemas fundamentales que tienen numerosas aplicaciones en la práctica, como la programación lineal entera, la satisfacibilidad de fórmulas de lógica proposicional y el problema del agente viajero [1]. En particular, esta equivalencia implica que si 3-COL-MAPA no puede ser resuelto en tiempo polinomial, entonces ninguno de los problemas anteriores puede ser resuelto en tiempo polinomial.

Mostrar que $P \neq NP$ tiene una connotación negativa, ya que nos indica que no es posible construir algoritmos eficientes para un gran número de problemas que son importantes en la práctica. Sin embargo, y sorprendentemente, Avi Wigderson también nos muestra que este resultado, y el demostrar que ciertos problemas no pueden ser resueltos en tiempo polinomial, tiene consecuencias positivas para el diseño de algoritmos eficientes. A continuación, presentamos dos de sus resultados más fundamentales que van precisamente en esa dirección.

Eliminando el uso de aleatorización en un algoritmo

La búsqueda de algoritmos eficientes ha llevado al desarrollo de una variedad de técnicas. En particular, el uso de soluciones aproximadas o con una probabilidad de error ha permitido el desarrollo de algoritmos en casos para los cuales no se conocen algoritmos eficientes tradicionales (exactos y no aleatorizados). En esta sección, nos concentraremos en el uso de la aleatorización para el desarrollo de algoritmos eficientes, y en la posibilidad de que el uso de la aleatorización sea eliminado, como una forma de construir algoritmos eficientes sin probabilidad de error.

Recuerde que un número natural p es primo si sus únicos divisores son 1 y p . Por ejemplo, 7 es primo, y 8 no lo es (ya que es divisible, por ejemplo, por 2). El problema de verificar si un número es primo ha sido estudiado por más de dos mil años; de hecho, el método de la Criba de Eratóstenes para construir todos los números primos hasta un número dado fue desarrollado en el siglo III a.C. Sin embargo, los primeros algoritmos eficientes para resolver este problema fueron desarrollados en los años setenta, siendo la clave para esto el uso de números aleatorios y el permitir que la respuesta tenga una probabilidad de error. En particular, el algoritmo de Solovay-Strassen [2], propuesto en 1977, puede verificar si un número p es primo realizando un número polinomial de operaciones, y su respuesta tiene una probabilidad de error tanto en el caso de que p sea



Aquí llegamos a otra pregunta fundamental en complejidad computacional: ¿es posible eliminar el uso de aleatorización de un algoritmo?

primero como en el caso de que sea un número compuesto (no primo). Vale decir, si p es un número primo, existe una probabilidad de que el algoritmo diga que es compuesto, y si p es un número compuesto, existe una probabilidad de que el algoritmo diga que es primo. En el algoritmo de Solovay-Strassen se puede controlar la probabilidad de error utilizando un parámetro k ; en particular, la probabilidad de error está acotada superiormente por 2^{-k} . Por ejemplo, si $k = 100$, entonces la probabilidad de que el algoritmo se equivoque es a lo más $2^{-100} \approx 7.8 \times 10^{-31}$, un número pequeñísimo.

El algoritmo de Solovay-Strassen, y otros tests de primalidad como el algoritmo de Miller-Rabin [3,4], cumplen todas las condiciones para ser usados en la práctica: funcionan en tiempo polinomial y tienen una probabilidad de error bajísima. Sin embargo, como estos algoritmos son la base de la criptografía moderna y la comunicación segura en Internet, y son ampliamente utilizados cada día, nos gustaría poder eliminar la probabilidad de error en sus respuestas. Y aquí llegamos a otra pregunta fundamental en complejidad computacional: ¿es posible eliminar el uso de aleatorización de un algoritmo? En el caso del problema de verificar si un número es primo, el uso de aleatoriedad fue finalmente eliminado en el algoritmo AKS [5] propuesto en 2002, el cual no tiene una probabilidad de error asociada. La pregunta entonces es si es siempre posible hacer esto.

Defina BPP como la clase de problemas que pueden ser solucionados por un algoritmo aleatorizado que tiene una probabilidad de error acotada por $1/4$.¹ La posibilidad de eliminar la aleatoriedad de un algoritmo se traduce en demostrar que $P = BPP$, donde, como definimos antes, P es la clase de problemas para los cuales existen algoritmos polinomiales usuales (no aleatorizados) que los solucionan. Y aún más, la pregunta parece ser: ¿qué tipo de técnicas y resultados podríamos usar para lograr eliminar la probabilidad de error de un algoritmo aleatorizado?

De manera sorprendente, Avi Wigderson nos muestra que podemos dar una respuesta positiva a esta pregunta demostrando que existen problemas difíciles [6]. La idea de esta solución es la siguiente. Un generador pseudoaleatorio es un algoritmo que, a partir de un número inicial, llamado la semilla, genera una secuencia de números que no pueden ser distinguidos de manera eficiente de una secuencia de números verdaderamente aleatorios. Si tenemos tal generador, podemos eliminar la aleatoriedad de un algoritmo A simplemente tomando todos los valores posibles para la semilla, generando a partir de cada una de ellas una secuencia de números pseudoaleatorios y ejecutando el algoritmo A sobre cada una de las secuencias. En cada una de ellas vamos a obtener una respuesta de A , digamos sí o no, y a partir de ellas construimos la respuesta final del algoritmo B sin aleatoriedad, considerando la mayoría. Por ejemplo, si fue necesario ejecutar A sobre 128 secuencias de números pseudoaleatorios y en 50 casos la respuesta de A fue sí, entonces la respuesta del algoritmo B será no, ya que en la mayor parte de las secuencias la respuesta de A fue no. El correcto funcionamiento del algoritmo B está asegurado por la probabilidad de error de a lo más $1/4$ del algoritmo A , la cual nos asegura que al tomar mayoría vamos a obtener

la respuesta correcta. Lo que nos queda por responder aquí es cómo se puede construir un generador pseudoaleatorio con las propiedades mencionadas, y la respuesta de Avi Wigderson es que la existencia de un problema que puede ser solucionado en tiempo exponencial y que cumple ciertas condiciones de dificultad asegura la existencia de tal generador pseudoaleatorio [6].

La creación de pruebas de conocimiento cero

Suponga que está utilizando un sistema que requiere de una clave para poder identificarlo. ¿Es posible convencer a este sistema de que usted conoce la clave sin entregar información sobre ella? Esto es lo que se conoce como una prueba de conocimiento cero [7], una demostración de que usted conoce un secreto sin revelar información sobre el secreto.

Las demostraciones de conocimiento cero son muy útiles en la práctica, y por eso han sido ampliamente desarrolladas en el área de criptografía y seguridad computacional. Sólo piense en su interacción con un cajero automático. Cada vez que saca dinero de uno de ellos, debe ingresar su clave, lo cual es riesgoso, ya que alguien podría verla mientras la ingresa o usar un dispositivo para robar claves instalados en el cajero. En cambio, si se utiliza un protocolo de conocimiento cero, el cajero simplemente le pedirá que demuestre que conoce la clave (ver Figura 2). Usted debe entonces proporcionar esta demostración, que no necesita ocultar ya que no revela información sobre la clave. De hecho, si un ladrón tiene acceso a esta demostración, no podrá usarla para hacerse pasar por usted, ya que en este protocolo se incluirán la ubicación, fecha y hora (hasta los

¹ El valor $1/4$ en la definición de BPP es arbitrario y, de hecho, se puede hacer arbitrariamente más pequeño ejecutando el algoritmo varias veces y tomando como respuesta la mayoría entre los resultados de estas ejecuciones.



Figura 2. Utilizando una demostración de conocimiento cero en un cajero automático (imagen generada por ChatGPT).

segundos) de la transacción. Es decir, usted entrega una demostración de que conoce la clave que además incluye la ubicación, fecha y hora. Si el ladrón intenta reutilizar esta demostración, no le servirá, ya que no podrá replicar la misma ubicación, fecha y hora.

¿Cómo podemos demostrar que conocemos un secreto sin revelar información sobre él? Aquí vamos a ver otro de los resultados fundamentales de Avi Wigderson, quien en [8] demuestra que cada problema en NP admite una prueba de conocimiento cero, utilizando nuevamente para conseguir este resultado positivo la existencia de problemas difíciles. En términos de los problemas considerados en este artículo, esto significa que es

posible convencer a alguien de que conozco una forma de pintar un mapa con tres colores, pero sin revelar información sobre esta coloración. A continuación, presentamos la demostración de conocimiento cero para este problema propuesta por Avi Wigderson en [8].²

Suponga que tiene una función $f(u, v)$ que recibe como primer parámetro un número $u \in \{1,2,3\}$ y como segundo parámetro una palabra v de símbolos 0 y 1, lo cual denotamos como $v \in \{0,1\}^*$. Además esta función satisface que $f(u, v) \neq f(x, y)$ si $u \neq x$, lo cual implica que dado un valor z de esta función, existe un único $u \in \{1,2,3\}$ tal que $f(u, v) = z$ para alguna palabra $v \in \{0,1\}^*$. Finalmente, suponemos que existe un

algoritmo de tiempo polinomial que calcula f , y no existe un algoritmo de tiempo polinomial que dado un valor z de esta función, puede calcular $u \in \{1,2,3\}$ tal que $f(u, v) = z$ para alguna palabra $v \in \{0,1\}^*$. Estas propiedades pueden parecer un poco extrañas, pero finalmente nos dicen que podemos usar f como una función de cifrado, donde el primer parámetro es el mensaje a cifrar y el segundo parámetro es la clave usada para cifrar. Además, imponemos la restricción $u \in \{1,2,3\}$ al primer parámetro, puesto que u va a almacenar el color que se asigna a un país en el mapa, y esto es lo que vamos a cifrar.

Considere un mapa M con n países. Una 3-coloración de este mapa es una función $\phi : \{1, \dots, n\} \rightarrow \{1,2,3\}$ que asigna un color $c \in \{1,2,3\}$ a cada país $k \in \{1, \dots, n\}$, de manera tal que si dos países k y l son limítrofes, entonces $\phi(k) \neq \phi(l)$. Suponga entonces que usted conoce una 3-coloración ϕ de M , y suponga que existe un verificador a quien usted quiere convencer que conoce ϕ sin revelar información sobre esta coloración. Es decir, después de que usted termine con la demostración de conocimiento cero, el verificador va a estar convencido de que usted conoce ϕ , pero no va a saber cómo pintar el mapa M con tres colores. La demostración de conocimiento cero propuesta por Avi Wigderson en [8] realiza los siguientes pasos:

1. Usted primero elige al azar una permutación $\pi : \{1,2,3\} \rightarrow \{1,2,3\}$, vale decir cambia cada uno de los colores por otro color. Además, elige al azar palabras $r_1, r_2, \dots, r_n \in \{0,1\}^*$, y para cada país $k \in \{1, \dots, n\}$, usted calcula $S_k = f(\pi(\phi(k)), r_k)$, lo cual corresponde al cifrado con la clave r_k del color $\phi(k)$ asignado al país k , el cual también ha sido escondido por la permutación π . Finalmente envía las palabras S_1, S_2, \dots, S_n al verificador.

² Presentamos aquí una versión simplificada de la demostración original, pero que mantiene sus ingredientes fundamentales.



2. El verificador elige al azar un par de países (k, l) que son limítrofes en el mapa M , y se los envía a usted.
3. Usted demuestra al verificador que conoce los colores de los países k y l , y para esto le envía al verificador los pares $(\pi(\phi(k)), r_k)$ y $(\pi(\phi(l)), r_l)$.
4. El verificador revisa que $(\pi(\phi(k)), r_k)$ y $(\pi(\phi(l)), r_l)$ son asignaciones correctas de colores que usted no modificó desde el primer paso en que usted le envió la 3-coloración de manera cifrada. Vale decir, el verificador revisa que $S_k = f(\pi(\phi(k)), r_k)$, $S_l = f(\pi(\phi(l)), r_l)$ y $\pi(\phi(k)) \neq \pi(\phi(l))$. Si alguna de estas condiciones no se cumple entonces el verificador rechaza la demostración, y se termina el protocolo.
5. Los cuatro pasos anteriores se repiten m^2 veces, donde m es el número de pares de países (k, l) tales que k y l son limítrofes. Si nunca se rechaza en el paso 4, entonces el verificador acepta la demostración.

Si usted efectivamente conoce la función de coloración ϕ , entonces el protocolo la va a aceptar. Nótese que el verificador no va a tener información sobre la coloración por el uso de la función de permutación π , que es elegida al azar

¿Cómo podemos demostrar que conocemos un secreto sin revelar información sobre él? [Éste es] otro de los resultados fundamentales de Avi Wigderson, quien demuestra que cada problema en NP admite una prueba de conocimiento cero.

en cada una de las m^2 iteraciones. En la otra dirección, si usted no conoce la función de coloración ϕ y trata de engañar al verificador, entonces con una probabilidad altísima el verificador va a rechazar su demostración. Para ver por qué esto es así, suponga que logra engañar al verificador en las m^2 iteraciones del protocolo. En cada una de estas iteraciones usted tuvo que elegir de antemano colores para los países, los cuales no pueden ser cambiados porque van cifrados con la función f . Al recibir un par de países (k, l) elegido al azar, la probabilidad de que su coloración falle con este par es al menos $1/m$, puesto que en al menos un par usted cometió un error (ya que no conocía una 3-coloración del mapa). Entonces la probabilidad de que no sea rechazado en este paso es menor o igual a $(1-1/m)$, por lo que la probabilidad de que no sea rechazado en las m^2 iteraciones es a lo más $(1-1/m)^{m^2}$. Y es posible demostrar que esta cantidad está acotada superiormente por 2^{-m} , lo cual es una

probabilidad bajísima si, por ejemplo, el mapa tiene al menos 100 países, puesto que $2^{-100} \approx 7.8 \times 10^{-31}$. Vale decir, la probabilidad de que usted engañe al verificador es a lo más 7.8×10^{-31} para un mapa con 100 países.

Epílogo

No es necesario tener artículos describiendo las contribuciones de Avi Wigderson para saber que es un verdadero gigante de la computación. Mi intención aquí fue mostrar la belleza y profundidad de sus ideas, que han tenido impacto en todos los aspectos fundamentales de la complejidad computacional. En particular, mi objetivo fue mostrar cómo esta mente brillante ha sido capaz de utilizar resultados de dificultad computacional aparentemente negativos para hacer que nuestro mundo funcione de manera más eficiente. ■

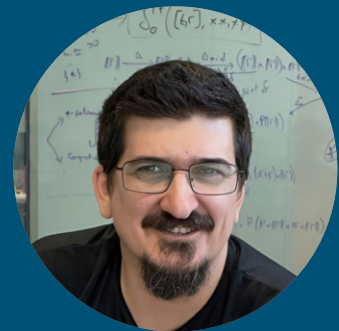
REFERENCIAS

- [1] M. R. Garey, David S. Johnson: Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness. W. H. Freeman 1979.
- [2] Robert Solovay, Volker Strassen: A Fast Monte-Carlo Test for Primality. SIAM Journal on Computing 6(1):84–85, 1977.
- [3] Gary L. Miller: Riemann's Hypothesis and Tests for Primality. Journal of Computer and System Sciences 13(3):300–317, 1976.
- [4] Michael Rabin: Probabilistic algorithm for testing primality. Journal of Number Theory 12(1):128–138, 1980.
- [5] Manindra Agrawal, Neeraj Kayal, Nitin Saxena: PRIMES is in P. Annals of Mathematics 160(2):781–793, 2004.
- [6] Noam Nisan, Avi Wigderson: Hardness vs Randomness. Journal of Computer and System Sciences 49(2):149–167, 1994.
- [7] Shafi Goldwasser, Silvio Micali, Charles Rackoff: The Knowledge Complexity of Interactive Proof Systems. SIAM Journal on Computing 18(1):186–208, 1989.
- [8] Oded Goldreich, Silvio Micali, Avi Wigderson: Proofs that Yield Nothing But Their Validity for All Languages in NP Have Zero-Knowledge Proof Systems. Journal of the ACM 38(3):691–729, 1991.



Lógica y computación cuántica:

Un camino a través de los
vaivenes políticos de la Argentina



ALEJANDRO DÍAZ-CARO

Doctor en Ciencias de la Computación por la Université de Grenoble, Francia. Actualmente es profesor en la Universidad Nacional de Quilmes y en la Universidad de Buenos Aires, e investigador de CONICET, Argentina. Sus líneas de investigación son lógica formal, teoría de la computación cuántica, y la conexión entre ellas a través de los lenguajes de programación.

✉ alejandro@diaz-caro.info

🌐 <https://staff.dc.uba.ar/adiazcaro/>



RESUMEN. En este artículo, comparto mi trayectoria como investigador en computación cuántica, entrelazándola con la historia de la ciencia en Argentina. Desde mis inicios como estudiante en Rosario, pasando por mi formación doctoral en Francia y mi posterior repatriación, describo los desafíos y logros de investigar en un contexto de inestabilidad política y económica. A pesar de las dificultades, destaco avances significativos en el campo, como el desarrollo de lenguajes de programación cuántica y el estudio de la relación entre lógica y computación cuántica. Espero que este relato contribuya a comprender la importancia de la cooperación internacional y la necesidad de políticas científicas sostenibles para fomentar la investigación en países como Argentina.

Introducción

La mecánica cuántica, la teoría que describe el mundo subatómico, tiene un vínculo sorprendente con la computación. Los principios de la mecánica cuántica, como la superposición y la medición, pueden utilizarse para crear un nuevo tipo de computación: la computación cuántica.

La computación cuántica utiliza *qubits*, que son bits cuánticos capaces de representar múltiples estados a la vez (ver Figura 1). Esto permite a las computadoras cuánticas realizar cálculos que serían imposibles, en términos realistas, para las computadoras clásicas. La computación cuántica tiene el potencial de revolucionar campos como la criptografía, la ciencia de los materiales y la medicina.

Cuando comencé a interesarme por la computación cuántica, más o menos

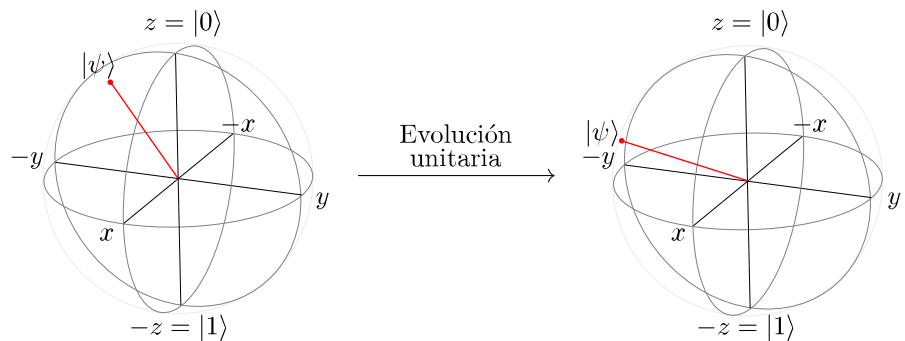


Figura 1. Transformación de un qubit. Un qubit se representa como un punto en la superficie de la esfera. El análogo a los bits clásicos serían sólo las posiciones marcadas como $|0\rangle$ y $|1\rangle$. La transformación de un qubit es una rotación en la esfera, en este ejemplo, se hace una rotación de $\pi/4$ sobre el eje y .

por el año 2005, mientras estudiaba ciencias de la computación en la Universidad Nacional de Rosario, había muy pocos investigadores en Argentina dedicados a este tema, desde las ciencias de la computación. Los únicos grupos de investigación consolidados en el área, eran de físicos. Sólo pude dar con un profesor, especialista en criptografía, quien se estaba interesando en el tema e impartiendo algunos cursos introductorios. Luego de algunos años de aprender todo lo que pude por mi cuenta, sin un tutor, en 2008, al finalizar mi licenciatura, obtuve una beca del Gobierno francés para realizar mi doctorado allí. En Grenoble, tuve la suerte de encontrarme con un grupo de investigadores que estaban trabajando en lenguajes de programación para la computación cuántica. Fue allí donde comencé a investigar sobre el tema, bajo la dirección del Dr. Pablo Arrighi.

Contexto histórico y desarrollo científico en Argentina

En paralelo a mi historia, debo contar que en Argentina, las ciencias de la com-

putación comenzaron un tanto tarde. Si bien la primera computadora en Argentina y la creación del Instituto del Cálculo de la Universidad de Buenos Aires data de los años sesenta, los diversos gobiernos militares se encargaron de intentar destruir el desarrollo científico argentino, y la computación no fue una excepción. No fue sino hasta los años ochenta, con la vuelta a la democracia, que la ciencia comenzó a recuperarse. Las ciencias de la computación, en particular, tuvieron un gran impulso hacia fines de los ochenta, con la creación de la Escuela Superior Latinoamericana de Informática (ESLAI), una institución de mucho prestigio en la región, que trajo a investigadores renombrados de todo el mundo para formar en el país una tradición científica en computación. Lamentablemente, en los noventa, con la crisis económica, la situación cambió nuevamente, y la ciencia en general sufrió un gran retroceso, con el cierre del ingreso a la carrera de investigador científico de CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas), la partida de numerosos científicos al extranjero, y, en computación en particular, el desfinanciamiento y cierre definitivo de la ESLAI. Sólo tres generaciones de graduados tuvo esta escuela durante esos años, quienes dieron importantes



frutos en la región, en particular, algunos de ellos ayudaron a la creación de la carrera de ciencias de la computación en Rosario, donde yo pude estudiar.

A principios de este siglo, la situación comenzó a cambiar nuevamente. En 2003 el ingreso a CONICET fue reabierto, y se creó el programa Raíces, acrónimo de Red de Argentinos Investigadores y Científicos en el Exterior, que permitió la articulación con científicos argentinos desparramados por el mundo, así como también la repatriación de muchos de ellos. En 2007, se creó el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, que dio un gran impulso a la recuperación de la ciencia en Argentina.

Inicios de mi desarrollo académico

En 2011, finalicé mi doctorado, que consistió en definir un lenguaje de programación abstracto (una extensión al cálculo lambda tipado), para computación cuántica. Luego fui a hacer un postdoctorado a París, con el Dr. Michele Pagani, trabajando en lógica lineal, una lógica muy ligada a la computación cuántica, y luego de ese primer postdoctorado obtuve un cargo docente interino en la Universidad de Nanterre, en las afueras de París, integrando el grupo del Dr. Gilles Dowek en Inria, con quienes trabajamos en algunos refinamientos del cálculo lambda para cuántica.

La lógica y la computación, dos campos aparentemente distintos, están profundamente conectados. Esta conexión, conocida como el isomorfismo de Curry-Howard, establece que las pruebas lógicas pueden verse como programas y las proposiciones lógicas como tipos de datos. Esto significa que podemos usar la lógica para diseñar y verificar programas, y viceversa, usar programas para representar y manipular conceptos lógicos (ver Figura 2).

En 2003 el ingreso a CONICET fue reabierto, y se creó el programa Raíces, que permitió la repatriación de muchos [...] científicos argentinos desparramados por el mundo.

Lógica	Lenguajes de programación
Proposiciones	Tipos
Pruebas	Programas
Verificación de una prueba	Verificación de tipos
Simplificación de una prueba	Evaluación de un programa

Figura 2. Correspondencia de Curry-Howard.

Este isomorfismo tiene un impacto significativo en el diseño de lenguajes de programación y herramientas de verificación de software. Lenguajes como Haskell y herramientas como Coq se basan en esta correspondencia para crear software más confiable y eficiente.

La conexión entre la mecánica cuántica y la computación, implica que debe existir también una profunda relación entre la física cuántica y los fundamentos de la lógica y la teoría de tipos. La correspondencia de Curry-Howard, que une la lógica y la computación clásica, puede extenderse al dominio cuántico, creando un nuevo campo de investigación con un gran potencial. Esa es el área en la que me especialicé, y en la que he estado trabajando durante los últimos años.

Regreso a Argentina y consolidación científica

En 2014, ante el auge de la repatriación de científicos en Argentina, las promesas de crecimiento y las perspectivas de un lugar con todo por hacer, pero con la voluntad política de hacerlo, decidí vol-

ver a mi país, repatriado por el programa Raíces. El programa otorgaba facilidades a la universidad que me contrataba para pagar mi salario, y a mí para realizar una mudanza internacional con mi grupo familiar. Así fue como llegué a la Universidad Nacional de Quilmes, donde un profesor que también se formó en la ES-LAI, el Dr. Pablo E. Martínez López, había creado en 2007 una carrera de computación de tres años de duración y que, para 2014, estaba creando la Licenciatura en Informática, con la promesa de muchos nuevos cargos de profesor para reclutar docentes para dicha carrera. En 2016, además, ingresé a la carrera de investigador científico de CONICET.

A mi llegada a Quilmes, me integré al grupo de investigación en lógica y reescritura de lenguajes dirigido por el Dr. Eduardo Bonelli, que contaba con Martínez López y tres estudiantes de doctorado en ese entonces: Pablo Barenbaum, Carlos Lombardi y Andrés Viso. El clima que se vivía en el país era de mucha eferescencia científica, con el Dr. Adrián Paenza, un divulgador científico muy conocido en Argentina, que había logrado que la televisión pública emitiera un programa de divulgación científica periódico, y con alta audiencia. Decir que uno



era profesor universitario y científico era algo que generaba respeto y admiración en la sociedad. La ciencia estaba de moda. Muchas vocaciones científicas se despertaron en esos años.

En 2015 obtuve un subsidio del programa STIC-AmSud de cooperación con Francia, con la participación de instituciones de Argentina, Francia y Brasil. El proyecto consistía en el estudio de la relación entre la lógica lineal, un tipo de lógica que se utiliza para modelar sistemas en los que los recursos son limitados y no pueden duplicarse ni descartarse arbitrariamente, y la computación cuántica, y, en particular, en la creación de un lenguaje de programación que capturara las características esenciales de la computación cuántica. Fruto de este proyecto, obtuvimos importantes avances, entre ellos, el primer lenguaje de programación con control de flujo cuántico, que abría las puertas al estudio de la lógica subyacente a la computación cuántica, fundamentada por las ciencias de la computación.

Impacto de cambios políticos en la ciencia

Al finalizar este proyecto, obtuve un subsidio del programa ECOS-Sud, el cual es un programa de cooperación internacional entre Argentina y Francia, para continuar con la investigación en la relación entre las lógicas resultantes de los lenguajes obtenidos anteriormente y la computación cuántica. Lamentablemente la situación cambió en 2016, con la llegada de un nuevo gobierno al poder. La nueva administración, con una visión completamente opuesta a la anterior, desfinanció la ciencia, degradó el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva a una Secretaría de Estado, y despidió a personal de apoyo y administrativo en los organismos de ciencia. Quizá lo más grave de ese período, fue desde lo simbólico: se realizó una activa

campaña de desprestigio de la ciencia argentina desde el gobierno y los medios de comunicación afines a éste. La ciencia dejó de estar de moda. Muchos científicos se fueron del país, y muchos jóvenes que estaban interesados en la ciencia, desistieron de seguir esa vocación. Si en 2014 decir que uno era científico generaba admiración, en 2016 generaba desconfianza, un científico pasó de ser quien iba a lograr sacar adelante al país, con la creación y difusión de conocimiento, a un trabajador del Estado que gastaba dinero de los impuestos en cosas inútiles. La ciencia pasó a ser vista como un gasto, y todos los proyectos científicos fueron desfinanciados. También la creación de la Licenciatura en Informática en la Universidad Nacional de Quilmes quedó sin financiamiento, y sólo soportada por los escasos fondos propios de la universidad. Entre los que se fueron del país, se encuentra el Dr. Eduardo Bonelli, quien emigró justo antes del cambio de gobierno, dejándome a mí a cargo del grupo de investigación. Mi proyecto ECOS-Sud se vio interrumpido unilateralmente y sin explicación alguna, por el Gobierno argentino, y sólo financiado por el Gobierno francés. Ante este panorama, y el hecho de que estaba considerando a tres candidatos a doctorado para comenzar sus tesis conmigo en un futuro próximo, decidí cambiar mi radicación como investigador CONICET a la Universidad de Buenos Aires, ya que la suspensión de las promesas de nuevos cargos en la Universidad Nacional de Quilmes, la dejaba sin la posibilidad del crecimiento científico que se pretendía. Entre medio, realicé una estancia de investigación de 6 meses en la Universidad de Turín, Italia, lo que me dio un poco de aire para pensar en cómo continuar con la investigación en computación cuántica en Argentina. Al volver, seguí vinculado como docente-investigador en Quilmes, pero también vinculado a la Universidad de Buenos Aires desde donde seguí dirigiendo el grupo que me había dejado Bonelli, ahora ya con Pablo Barenbaum doctor, e investigador de CONICET en Quilmes, como

La correspondencia de Curry-Howard, que une la lógica y la computación clásica, puede extenderse al dominio cuántico, creando un nuevo campo de investigación con un gran potencial.

parte del grupo, y con la incorporación de mis tres doctorandos: Cristian Sottile, Malena Ivnisky y Rafael Romero.

Más colaboraciones internacionales y nuevos proyectos

Hacia el final del proyecto ECOS-Sud, obtuve un segundo subsidio del programa STIC-AmSud. Esta vez, con la participación de Argentina, Uruguay, Chile y Francia, continuamos las mismas líneas de investigación, pero agregamos las primeras aplicaciones hacia la formalización de un análisis del tiempo de ejecución de programas cuánticos. Este trabajo lo realizamos junto al Dr. Federico Olmedo de la Universidad de Chile. Aunque también fui el director internacional de este nuevo proyecto, todos los países involucrados proporcionaron financiamiento, excepto Argentina. Esto me limitó a recibir visitas académicas de los otros países, pero no pude realizar visitas académicas en el marco de este proyecto. Durante estos años de desfinanciamiento de la ciencia argentina, realicé múltiples visitas académicas a Francia, Uruguay, Paraguay y Chile, todas financiadas por el país anfitrión, y recibí innumerables visitas gracias a los proyectos que dirigí, financiadas todas por el país de origen. Estas limitaciones presupuestarias, si bien no afectaron mi interacción con los investigadores con



los que ya colaboraba, sí afectaron la posibilidad de nuevas colaboraciones, en particular, al no tener ningún tipo de financiamiento para asistir a congresos internacionales.

A finales de 2019, con la llegada de un nuevo gobierno al poder, la situación comenzó a cambiar. Se volvió a crear el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, el desprestigio de la ciencia dejó de ser una política de gobierno, y otra vez se volvió a una recuperación lenta del sistema científico argentino, diezmado durante los anteriores cuatro años. La pandemia por COVID-19, sin embargo, impidió a muchos realizar las visitas académicas que tenían previstas, por lo cual el programa ECOS-Sud decidió extender la finalización de los proyectos en curso dos años más. Esto hizo que mis dos proyectos, ECOS-Sud y STIC-AmSud finalicen el mismo año, y me dejen sin posibilidad de pedir una continuación, ya que estos programas no permiten la renovación inmediata. Consecuencia de esto es que, en 2022, me vi sin financiamiento para continuar con la investigación en computación cuántica, y sin la posibilidad de enviar a mis doctorandos a congresos internacionales, lo cual es fundamental para su formación. Tuve que buscar otras estrategias, como detallaré en la próxima sección.

Situación actual y perspectivas futuras

Los problemas mencionados aquí, son los que enfrentamos habitualmente los científicos argentinos, ya que la financiación de la ciencia en Argentina no constituye una política de Estado que trascienda y se sostenga durante las sucesivas gestiones gubernamentales. Ante esa inestabilidad los investigadores nos vemos obligados a depender de financiación extranjera, sin la cual, no hay cooperación posible.

Lo más grave de ese período [2016, con la llegada de un nuevo gobierno al poder] fue desde lo simbólico: se realizó una activa campaña de desprestigio de la ciencia desde el gobierno y los medios de comunicación afines a éste [...] Un científico pasó de ser quién iba a lograr sacar adelante al país, con la creación y difusión de conocimiento, a un trabajador del Estado que gastaba dinero de los impuestos en cosas inútiles.



Edificio "Cero + Infinito" de la Universidad de Buenos Aires.

Luego de la pandemia, y ya sin proyectos internacionales en curso, realicé muchas estancias de investigación largas en Francia, financiado directamente por programas franceses de profesores visitantes. En 2022 obtuve un proyecto de la Agencia Nacional de Promoción de la Investigación, el Desarrollo Tecnológico y la Innovación, que me permitió continuar con la investigación en computación cuántica, y en particular, que mis doctorandos puedan viajar a congresos internacionales. Además, dos de ellos,

Ivnisky y Romero, realizan tesis en cotutela con el Instituto de Matemática y Estadística (IMERL) de la Universidad de la República, codirigidos por el Dr. Octavio Malherbe, con quien tenemos un proyecto en curso financiado enteramente por Uruguay. Este proyecto consiste en entender el modelo matemático, en teoría de categorías, ligado a la lógica cuántica que investigamos en mi grupo.

Recientemente, en colaboración con investigadores de Argentina, Uruguay y



Francia, hemos desarrollado *Lambda-S* y *L^S*, dos lenguajes que modelan la computación cuántica y exploran su conexión con la lógica lineal. Actualmente, estamos investigando la dualidad entre estos lenguajes y sus lógicas subyacentes, buscando comprender si la lógica lineal es un dual de la lógica cuántica definida por *Lambda-S*. Además, estamos extendiendo *Lambda-S* para poder representar diferentes formas de observar un sistema cuántico, lo que ampliaría aún más su capacidad para modelar la computación cuántica.

En 2022 tuve el privilegio de ser seleccionado para organizar la conferencia internacional “Quantum Physics and Logic” en Buenos Aires en 2024, en su 21a edición: QPL 2024.¹ Esta conferencia es la principal conferencia en el mundo en la intersección de la lógica y la física cuántica, y es un honor para mí poder organizarla en mi país.

A fines de 2023, con una nueva crisis económica en Argentina, se vislumbraba la posible llegada al poder de un candidato que abiertamente se manifestaba en contra de la ciencia, y que prometía desfinanciarla aún más, incluso prometía cerrar organismos como CONICET. Actualmente el desfinanciamiento de la ciencia es el más grave que me ha tocado vivir, con un presupuesto para ciencia que no llega al 0.2 % del PBI, y que a junio de 2024 sólo ha sido ejecutado menos del 2 % del presupuesto asignado.

Ante esta perspectiva, y con la posibilidad de que mis doctorandos no pudieran finalizar sus tesis, decidí buscar una sa-

lida en el extranjero. Luego de QPL 2024, volveré a Francia, al menos por algún tiempo hasta que Argentina vuelva a ser un lugar viable para desarrollar ciencia.

Mientras tanto, continúo trabajando en la investigación en computación cuántica, enfocándome especialmente en la relación entre la lógica y la física cuántica, y en la organización de QPL 2024, la cual espero sea un éxito. En Argentina, he establecido dos redes de investigadores: una en computación cuántica (LoCIC, Lógica, Computación e Información Cuántica) y otra en fundamentos de lenguajes de programación (FunLeP, Fundamentos de Lenguajes de Programación), que confío seguirán creciendo y fortaleciendo la investigación en computación en el país. Además, recientemente obtuve la aprobación de un proyecto del programa “Marie Skłodowska-Curie Actions - Staff Exchanges” de la Unión Europea, llamado “QCOMICAL: Quantum Computing and Its Calculi”, que facilitará la movilidad de investigadores y becarios doctorales entre Argentina, Uruguay, Francia e Italia, permitiendo así continuar la investigación en computación cuántica con un enfoque internacional.

Conclusión

En conclusión, mi trayectoria en el campo de la computación cuántica en Argentina ha sido un viaje lleno de desafíos y oportunidades. A pesar de las dificultades impuestas por la inestabilidad política y económica, he sido testigo de avances significativos en esta área, gracias al compromiso y la resiliencia de la

La financiación de la ciencia en Argentina no constituye una política de Estado que trascienda y se sostenga durante las sucesivas gestiones gubernamentales.

comunidad científica local y la colaboración internacional.

La creación de redes de investigación como LoCIC y FunLeP, así como la participación en proyectos internacionales como QCOMICAL, demuestran el potencial de crecimiento y desarrollo de la computación cuántica en Argentina. La organización de la conferencia QPL 2024 en Buenos Aires es un testimonio del reconocimiento internacional de los esfuerzos realizados en este campo en nuestro país.

A pesar de los obstáculos, sigo siendo optimista sobre el futuro de la computación cuántica en Argentina. Confío en que la política científica sea abordada en el debate social y político, para viabilizar la construcción de una política de Estado con la inversión necesaria para que nuestro país pueda consolidarse como un referente en ésta y otras disciplinas. La pasión y el talento de los científicos argentinos, combinados con la colaboración internacional, son la clave para superar los desafíos y construir un futuro prometedor para la computación cuántica en Argentina. ■

1 <http://qpl2024.dc.uba.ar>.



La investigación en Colombia:

Una visión desde los grupos de
investigación





CÉSAR COLLAZOS

Doctor en Ciencias mención Computación por la Universidad de Chile. Profesor Titular en la Universidad del Cauca (Colombia) y Coordinador del Grupo IDIS (Investigación y Desarrollo en Ingeniería de Software). Sus líneas de investigación son interacción humano-computador y sistemas colaborativos.

✉ ccollazo@unicauca.edu.co



JULIO HURTADO

Doctor en Ciencias mención Computación por la Universidad de Chile. Profesor Titular en la Universidad del Cauca (Colombia). Su línea de investigación es ingeniería de software.

✉ ahurtado@unicauca.edu.co



WILSON PANTOJA

Doctor en Ciencias de la Electrónica por la Universidad del Cauca (Colombia). Profesor Titular en la misma universidad. Sus áreas de investigación son ingeniería de software y sistemas colaborativos.

✉ wpantoja@unicauca.edu.co

RESUMEN. El presente artículo describe el sistema de investigación de Colombia, específicamente el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (MinCiencias) en Colombia, establecido por la Ley 2237 de 2022. Este ministerio se encarga de dirigir y coordinar la política estatal en ciencia, tecnología e innovación, promoviendo una cultura científica e involucrando a diversos sectores en actividades de investigación. Utiliza la plataforma ScienTI para registrar perfiles de personas, grupos de investigación e instituciones, facilitando la gestión de la actividad científica. La investigación en Colombia se estructura en Instituciones, Grupos e Investigadores, cuyos productos de investigación son evaluados y puntuados en la plataforma, determinando la clasificación del Grupo y su acceso a oportunidades en el ámbito científico y tecnológico. Finalmente, describe el grupo IDIS (Investigación y Desarrollo en Ingeniería del Software), su creación, proyectos y líneas de investigación.

Introducción

En Colombia, con la aprobación de la Ley 1286 de 2009 se crea el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias), cuya labor es la de promover las políticas públicas para fomentar la Ciencia, Tecnología e Innovación (CT+I), concertar políticas de fomento a la producción de conoci-

tos, construir capacidades para CT+I, y propiciar el desarrollo integral del país y el bienestar de los colombianos [1]. Posteriormente, de acuerdo a la Ley 2237 de 2022, se crea el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (MinCiencias), el cual es el organismo del Gobierno Nacional de Colombia para la gestión de la administración pública, rector del sector y del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SNCTI),

encargado de formular, orientar, dirigir, coordinar, ejecutar, implementar y controlar la política del Estado en esta materia, teniendo concordancia con los planes y programas de desarrollo.

Este Ministerio desarrolla las estrategias para que Colombia cuente con una cultura científica, tecnológica e innovadora; que su población, el sector productivo, profesionales, y no profesionales, estudiantes y docentes de básica, media, pregrado y postgrado, hagan presencia en las estrategias y actividades de investigación. Para esto, hace uso de la plataforma ScienTI, donde se registran los perfiles de las personas involucradas en actividades de investigación, los grupos de investigación y las instituciones que avalan dichos grupos e investigadores [1]. Esta plataforma es la Red Internacional de Fuentes de Información y Conocimiento para la gestión de la Ciencia, Tecnología e Innovación. Es una red pública internacional de fuentes de información y conocimiento que tiene el objetivo de contribuir a la gestión de la actividad



científica, tecnológica y de innovación [2]. En esta plataforma, el Ministerio registra, organiza y evalúa a las instituciones, grupos y personas que participan en actividades de investigación, públicas y privadas, académicas o del sector productivo. La estructura de la investigación en Colombia está enmarcada en estos tres elementos, Instituciones, Grupos e Investigadores. Una Institución puede avalar diferentes Grupos de Investigación, y cada Grupo está conformado por un número determinado de investigadores. Estos investigadores tienen la tarea de desarrollar actividades de investigación, de las cuales deben surgir como resultado los “Productos de Investigación”. Estos productos de investigación tienen un puntaje determinado en la plataforma, según el modelo de medición de grupos de investigación del Ministerio [3]. Cuando un Investigador genera Productos de Investigación, el puntaje ganado debido a estos, se refleja en el puntaje total del Grupo de Investigación. Este puntaje permite al Grupo ascender en la escala de clasificación de Grupos de Investigación de Colciencias definida en el modelo de medición de grupos [3], lo cual abre las puertas para que el Grupo y, por supuesto, la institución que lo avala participe en convocatorias, eventos científicos, alianzas, redes de investigación entre otros.

Componentes del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación

InstituLAC

InstituLAC es el perfil de investigación de una institución, registrado en la plataforma ScienTI de Colciencias. Su significado es “Directorio de Instituciones para Latinoamérica y el Caribe”. Una institución puede tener solamente un perfil InstituLAC, y desde este perfil se avalan los diferentes grupos de investigación que se creen en la Institución.

Cuando un investigador genera “productos de investigación”, el puntaje ganado [...] se refleja en el puntaje total del grupo de investigación, [permitiendo] al grupo ascender en la escala de clasificación de grupos.



Figura 1. Grupos de Investigación.

GrupLAC

GrupLAC es la aplicación donde se registra el perfil de un Grupo de Investigación en la plataforma ScienTI del Ministerio. Su significado es “Directorio de Grupos de Investigación para Latinoamérica y el Caribe”. Un grupo de investigación se define como el conjunto de personas que se reúnen para realizar investigación en una temática dada, formulan uno o varios problemas de su interés, trazan un plan estratégico de largo o mediano plazo para trabajar en él y producir unos resultados de conocimiento sobre el tema en cuestión [4].

En una institución puede existir un número ilimitado de Grupos, siempre y cuando reciban el aval desde el InstituLAC. El grupo lo lidera un investigador principal, que puede ser un funcionario de la Institución, y según Colciencias debe tener un mínimo de dos integrantes. Los requisitos de funcionamiento y la puntuación de los productos de investigación, se rigen por

el modelo de medición de Grupos de investigación de Colciencias [3].

Los Grupos de investigación se clasifican de mayor a menor acorde a su productividad en A1, A, B, C y reconocidos.

Para la medición/clasificación de la última convocatoria, entregada el 24 mayo de 2022, se presentaron 7.115 registros en la plataforma del Ministerio, de los que 6.812 fueron avalados, y 5.950 cumplen los criterios para ser grupos reconocidos. La distribución de los grupos medidos/clasificados, es la siguiente: Grupos A1: 849, Grupos A: 1.174, Grupos B: 1.330, Grupos C: 2.276 y Reconocido - Sin Clasificar: 531 (ver Figura 1).

CvLAC

Es la aplicación Curriculum Vitae para Latinoamérica y el Caribe. En esta aplicación que también hace parte de la plataforma ScienTI, se registra la hoja de vida



Figura 2. Investigadores.

de los investigadores. Cada persona que desee participar en actividades de investigación puede registrar libremente su CvLAC. Allí registra su información personal, profesional y productos de investigación generados como artículos, conferencias, ponencias, libros, patentes, normas, regulaciones, cursos dictados, tesis de pregrado o postgrado, participación en comités de evaluación, entre otras. La tipología de los productos de investigación aceptados por Colciencias se encuentra en el modelo de medición de grupos de investigación [3].

Investigadores

Los Investigadores se clasifican acorde a su productividad en Senior, Asociado, Junior y Emérito (Investigador que haya estado vinculado a instituciones colombianas y cuya trayectoria, aportes y producción científica-académica hayan sido significativas para la Ciencia, Tecnología e Innovación del país, con 65 o más años).

Los parámetros para la tipificación de investigadores e integrantes de Grupos de Investigación se aplicaron a 93.337 hojas

de vida registradas y certificadas en el aplicativo CvLAC; y avaladas por alguna institución del SNCTel. Una vez aplicados los criterios a estas hojas de vida certificadas y avaladas, cumplen los criterios para reconocer 21.094 currículos, distribuidos así: Investigador Senior: 3.040, Investigador Asociado: 4.601, Investigador Junior: 13.370. Adicionalmente, Investigador Emérito: 83 (ver Figura 2).

Fuentes de financiación

Colombia cuenta con una gran variedad de fuentes de financiación que incentivan la labor de los distintos actores del Sistema nacional de Ciencia Tecnología e Innovación (CTel) que deseen beneficiarse con recursos para la formulación de proyectos de investigación de alto impacto.

- **Ministerio de Ciencia y Tecnología (Minciencias).** Para el año 2023, se estructuró un plan compuesto por 19 convocatorias y dos mecanismos en temas de: vocaciones y formación de alto nivel, generación de conocimiento, desarrollo tecnológico e innovación, apropiación social del

conocimiento y fomento a la internacionalización de la Ciencia, Tecnología e Innovación (CTel).

- **Banco de la República.** A través de la Fundación para la Promoción de la Investigación y la Tecnología, se fomenta la promoción de investigaciones científicas que realicen profesionales colombianos o extranjeros que sean residentes, cuando no existan en el país mecanismos alternativos de financiación. La Fundación concentra su actividad en el sector de los proyectos científicos de menor tamaño. También, se financia parcialmente la organización de eventos científicos; la participación como ponentes, de científicos al servicio del país, en congresos y seminarios de muy reconocido nivel académico; y la traducción de tesis e investigaciones científicas sobre Colombia.
- **Ministerios.** Los ministerios son una fuente importante de información y recursos para la investigación. Cada ministerio tiene un enfoque específico, financia proyectos de I+D y produce datos, informes y estadísticas relevantes a su ámbito de acción. El Ministerio de Salud y Protección Social, el Ministerio de Educación Nacional, Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC), entre otros, publican periódicamente informes, estudios y bases de datos que son utilizados tanto por investigadores académicos como por profesionales de diversas áreas. Además, sus sitios web suelen ser accesibles al público, lo que facilita la consulta y descarga de documentos y estadísticas.¹
- **Fondo de Modernización e Innovación para la Micro, Pequeña y Mediana Empresa.** iNNpulsa Mipyme otorga recursos de cofinanciación a través de convocatorias.

¹ <https://www.minsalud.gov.co/Paginas/con-una-inversion-de-49000-millones-el-gobierno-nacional-financiara-programas-de-investigacion-y-desarrollo-en-salud.aspx>



El Grupo IDIS se creó en diciembre de 2004 y [...] fue clasificado entre los 10 mejores grupos de Ingeniería de Sistemas y Software en Latinoamérica (CEELAM).

Grupo IDIS

El Grupo IDIS (Investigación y Desarrollo en Ingeniería del Software), se creó en diciembre de 2004 y tiene la máxima categoría de investigación en Ciencias - Colombia (Categoría A1). Fue clasificado entre los 10 mejores grupos de Ingeniería de Sistemas y Software en Latinoamérica (CEELAM). En los últimos años ha sido seleccionado por Group Sapiens Research como uno de los 20 grupos de más productividad a nivel de Colombia. La investigación en el grupo IDIS corresponde al elemento central y es uno de los objetivos del grupo aunar esfuerzos para consolidarlo como líder en las temáticas que se trabajan, por eso se tiene como estrategia integrarse en pro de pocas líneas que permitan lograr una consolidación regional, nacional e internacional. El Grupo articula sus iniciativas en los tres componentes sustanciales de la vida universitaria: docencia, investigación y proyección social. En docencia, el Grupo soporta actividades en el Programa de Ingeniería de Sistemas (pregrado) y en postgrado, donde participa en dos programas dentro de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones; Maestría en Computación, Doctorado en Ciencias de la Electrónica, en el área de Computación [3].

En Investigación, el grupo trabaja en 5 líneas esenciales, las cuales se describen a continuación:

1. Interacción humano computador (usabilidad, accesibilidad, diseño centrado en el usuario). En esta línea de tiene como iniciativas las siguientes actividades:

- Evaluación de interfaces.
- Acompañamiento a la mejora de interfaces.

- Acompañamiento a la apropiación de técnicas y metodologías de diseño centrado en el usuario por parte de equipos de desarrollo de software.
- Acompañamiento a la internacionalización de software.

2. Ingeniería de la colaboración. Se trabaja particularmente en las siguientes temáticas:

- Acompañamiento en la definición de procesos colaborativos.
- Acompañamiento en la selección de herramientas para el soporte colaborativo.
- Evaluación de sistemas colaborativos.
- Acompañamiento en el diseño e implementación de sistema groupware.
- Diseño de entornos colaborativos que apoyen procesos de enseñanza-aprendizaje y procesos organizacionales.

3. Calidad y procesos de software. Se enfoca esencialmente en las siguientes acciones:

- Gestión e ingeniería de procesos de desarrollo de software, en esta línea se han creado XP/Architecture [4], AGATA [10], SmallSPL, Audaceous Freelance, y UP-VSE.
- Líneas de procesos de software: desarrollo marcos de construcción de procesos como CASPER [5], SpeTion-SPrL [11] y CoMeS [9].
- Acompañamiento en la adopción de metodologías de desarrollo como Scrum [16], XP, Proceso Unificado, TSP y PSP.
- Evaluación estática de procesos de software con AVISPA [6].

4. Métodos y técnicas de construcción de software. En esta línea se ha trabajado en:

- Aspectos de diseño de la arquitectura en tecnologías emergentes [13, 14,15].
- Evaluación de la calidad de las arquitecturas de software.
- Adopción de estrategias de reutilización de software con SmallSPL.

5. TIC y educación. Esta línea se ha venido enfocando en acciones como:

- Objetos de aprendizaje y uso de TICs en comunidades aisladas geográficamente.
- Acompañamiento en la incorporación de prácticas de desarrollo del pensamiento computacional en escuelas y colegios, así como en el diseño curricular de cursos para el desarrollo del pensamiento computacional.
- Construcción y adopción de la metodología ChildProgramming [7,8].
- Patrones de formación en arquitecturas de software [12].

En la Universidad del Cauca-Colombia, el Grupo IDIS ha concienciado de la importancia del área de HCI en el conocimiento, centrándose en un trabajo multidisciplinario, integrando ciencias de la computación, ingeniería electrónica y telecomunicaciones, comunicación social y diseño gráfico. A pesar del poco tiempo que lleva esta iniciativa los resultados comienzan a observarse. Para concienciar a la importancia del área, se estructuran charlas motivadoras, cursos que se han impartido como optativos en el programa de Ingeniería de Sistemas y Maestría en Computación en la Universidad del Cauca-Colombia. En particular se han ofrecido las asignaturas de (a) Interacción Humano Computador, en la cual se dan las bases fundamentales del proceso de diseño centrado en el usuario; (b) Ingeniería de la Colaboración, en la cual se trabaja en los principios fundamentales del trabajo colaborativo; (c) Interfaces Físicas: asignatura en la cual se trabaja en la construcción de dispositivos de interacción basados en esquemas de NUI (Natural User interfaces) y TUI (Tangible User Interfaces); (d) Ingeniería de la



Usabilidad, en la cual se fundamentan los conceptos asociados a la evaluación de aspectos de la usabilidad y experiencia de usuario. Estas iniciativas de docencia no sólo han sido trabajadas al interior de la Universidad del Cauca-Colombia, sino que han sido involucradas en programas académicos no sólo a nivel de Colombia sino de otros países Latinoamericanos como Panamá, Perú, Chile, Argentina, Costa Rica y México.

Tras este trabajo se ha generado un espacio de discusión global logrando crear un grupo de investigación nacional en el tema, lo que implicó la creación del primer capítulo colombiano de HCI, denominado CAFETEROS, enmarcado en los capítulos avalados por ACM SIGCHI. Esto ha permitido comenzar a definir políticas de trabajo tendientes a generar una masa crítica de investigadores a través de formación doctoral en algunos de los participantes de esta Red. Igualmente, el grupo IDIS ha establecido alianzas con grupos y asociaciones internacionales expertos en HCI que han permitido desarrollar colaborativamente proyectos de investigación, artículos, seminarios, direcciones de tesis (grado/postgrado), cursos, formulación de programas de maestría y doctorado en HCI. El grupo IDIS ha participado en la organización/coorganización de diversos eventos a nivel Iberoamericano en HCI (Interacción 2014; Interacción 2017; Las I, II, III, y IV Jornadas Iberoamericanas de HCI; CLIHC 2014; CLIHC 2019; Rehab 2019). Otra de las iniciativas ha sido la creación de una Red de especialistas en HCI que fomenten la enseñanza de HCI a nivel iberoamericano, iniciativa denominada hci-collab (www.haci-collab.com), la cual es liderada por el grupo IDIS y en la cual participan un grupo de instituciones y empresas a nivel Iberoamericano en HCI.

Algunos de los proyectos más relevantes en los que el Grupo IDIS ha participado son:

- **COMPETISOFT:** Mejora de procesos para fomentar la competitividad de

la pequeña y mediana industria del software de Iberoamérica, financiado por el programa CYTED, 2006-2009.

- **REVVIS:** Red de Especialistas en Verificación y Validación de Software, financiado por el programa CYTED, 2007-2010.
- **Red de Investigación en Software Experimental,** financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia de la República de Argentina, 2008.
- **H-NET Health Education Network,** financiado por CNPq (Brasil), 2008-2010.
- **A Digital Workbook Tool to Support Asynchronous Collaboration,** financiado por The Latin American and Caribbean Collaborative ICT Research (LACCIR), 2008.
- **U-CSCL:** Red Iberoamericana de apoyo a los procesos de enseñanza-aprendizaje de competencias profesionales a través de entornos ubicuos y colaborativos, financiado por CYTED, 2013-2016.

También se tiene dentro del grupo dos semilleros de investigación, donde se involucra alumnos desde los primeros años del programa de Ingeniería de Sistemas de la Universidad del Cauca para iniciar formación básica como investigadores en torno a las diferentes líneas de investigación en las cuales el grupo IDIS trabaja.

Visión de la investigación en Colombia desde la perspectiva del grupo IDIS

El sistema de investigación en Colombia, liderado por entidades como el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (MinCiencias), ha logrado avanzar signifi-

cativamente en la promoción y el fomento de la actividad científica y tecnológica en el país. La creación de políticas públicas y la implementación de programas de apoyo han contribuido a aumentar la participación en actividades de investigación, así como a mejorar la calidad y relevancia de los proyectos desarrollados. Además, la plataforma ScienTI proporciona una herramienta valiosa para la gestión y evaluación de la investigación, facilitando la identificación de talento y promoviendo la colaboración entre instituciones y grupos de investigación. Este enfoque estructurado y la promoción de una cultura científica e innovadora son aspectos positivos que han impulsado el progreso y el desarrollo en Colombia.

A pesar de los avances logrados, el sistema de investigación en Colombia enfrenta desafíos significativos que requieren atención. Uno de los principales problemas es la falta de recursos financieros y de infraestructura adecuada, lo que limita la capacidad de los investigadores para llevar a cabo proyectos de alta calidad y relevancia. Además, persisten brechas en cuanto al acceso a oportunidades de investigación, especialmente para regiones y comunidades marginadas. La burocracia y la falta de agilidad en los procesos de evaluación y financiamiento también pueden obstaculizar el desarrollo de la investigación. Mejorar la inversión en investigación, reducir las barreras de acceso y agilizar los procedimientos administrativos son aspectos clave que deben abordarse para fortalecer aún más el sistema de investigación en Colombia y potenciar su contribución al desarrollo sostenible del país. Algo no menos importante es el foco de los recursos de investigación centrados en resolver problemas sensibles a las necesidades temporales sin una apuesta de largo plazo, lo que deja fuera un gran potencial de investigación en las ciencias de la computación, ya que esta se considera como el soporte transversal a muchas iniciativas que en la mayoría de los casos no ofrecen retos de investigación en la disciplina.



Conclusiones

En conclusión, la creación del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (MinCiencias) en Colombia representa un paso significativo hacia el fortalecimiento del sector científico y tecnológico del país. MinCiencias desempeña un papel crucial en la formulación y ejecución de políticas destinadas a promover una cultura de investigación y desarrollo, así como en la coordinación de actividades relacio-

nadas con la ciencia, la tecnología y la innovación. La plataforma ScienTI emerge como una herramienta fundamental para la gestión eficiente de la actividad científica, facilitando la identificación y evaluación de personas, grupos de investigación e instituciones. Este enfoque estructurado en Instituciones, Grupos e Investigadores, junto con la evaluación de productos de investigación, contribuye a impulsar la calidad y la competitividad en el ámbito científico y tecnológico de Colombia, promoviendo así el progreso y el bienestar del país y de sus ciudadanos. El

grupo IDIS se ha enmarcado en este ecosistema científico y para cumplir su rol se apoya en las posibilidades que brinda la Universidad del Cauca a la cual pertenece y a sus redes de apoyo distribuidas alrededor del mundo y, aunque las ciencias de la computación no ocupen un lugar importante en la financiación, las necesidades de la industria y la transversalidad de la informática nos ha permitido participar de iniciativas en dominios empresariales y académicos específicos, fortaleciendo las investigaciones fundamentales en las líneas de investigación establecidas. ■

REFERENCIAS

- [1] MinCiencias «Página oficial Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación». [En línea]. Available: <https://minciencias.gov.co/>.
- [2] ScienTI, «Página oficial Red Internacional de fuentes de información y conocimiento para la gestión de la ciencia, tecnología e innovación.» 17 06 2016. [En línea]. Available: www.scienti.net.
- [3] Collazos C., Hurtado, J., Magé, P., Pino, F., Investigación de HCI en Colombia: Perspectiva del Grupo IDIS, Vol. 1 Núm. 1 (2020): Revista Interacción.
- [4] Muñoz, L. and Hurtado, J., "XA: An XP extension for supporting architecture practices," 2012 7th Colombian Computing Congress (CCC), Medellín, 2012, pp. 1-6.
- [5] Hurtado J., Bastarrica C., and Bergel, A. 2011. Analyzing software process models with AVISPA. In Proceedings of the 2011 International Conference on Software and Systems Process (ICSSP '11). ACM, New York, NY, USA, 23-32.
- [6] Hurtado, J. Bastarrica C., and Bergel, A. 2011. Analyzing software process models with AVISPA. In Proceedings of the 2011 International Conference on Software and Systems Process (ICSSP '11). ACM, New York, NY, USA, 23-32.
- [7] Hurtado, J. A.; Collazos, C. A.; Cruz, S. T.; Rojas, O. E. (2012). ChildProgramming: Una Estrategia de Aprendizaje y Construcción de Software Basada en la Lúdica, la Colaboración y la Agilidad. Rev. Univ. RUTIC, 1(1), 9-14.
- [8] Cruz, S., Rojas, E., Hurtado J. and Collazos, C. ChildProgramming process: A software development model for kids, 2013 8th Computing Colombian Conference (8CCC), Armenia, Colombia, 2013, pp. 1-6, doi: 10.1109/ColombianCC.2013.6637535.
- [9] Camacho, M.C.; Álvarez, F.; Collazos, C.A.; Leger, P.; Bermúdez, J.D.; Hurtado, J.A. A Collaborative Method for Scoping Software Product Lines: A Case Study in a Small Software Company. Appl. Sci. 2021, 11, 6820. <https://doi.org/10.3390/app11156820>.
- [10] Muñoz-Sanabria, L. F., Hurtado-Alegría, J. A., & Álvarez-Rodríguez, F. J. (2017). Agile Architecture in Action (AGATA). Ingeniería Y Universidad, 22(1), 33–51.
- [11] Ruiz, P.H., Agredo-Delgado, V., Mon, A., Collazos, C.A., Moreira, F., Hurtado, J.A. (2021). A Scoping Definition Experiment in Software Process Lines. In: Rocha, Á., Adeli, H., Dzemyda, G., Moreira, F., Ramalho Correia, A.M. (eds) Trends and Applications in Information Systems and Technologies. WorldCIST 2021. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1368. Springer, Cham.
- [12] Pantoja-Yepes, W., Hurtado J. and Kiweleker A. International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering 2023 33:03, 435-460.
- [13] Villarreal, E., García-Alonso, J, Moguel E. and Hurtado, J., "Blockchain for Healthcare Management Systems: A Survey on Interoperability and Security," in IEEE Access, vol. 11, pp. 5629-5652, 2023.
- [14] Bandi, A., Hurtado, J.A. (2022). Edge Computing as an Architectural Solution: An Umbrella Review. In: Patgiri, R., Bandyopadhyay, S., Borah, M.D., Emilia Balas, V. (eds) Edge Analytics. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 869. Springer, Singapore.
- [15] Ordoñez-Guerrero, C, Muñoz-Garzon J., Dulce, R. Bandi A. and Hurtado J., "Blockchain Architectural Concerns: A Systematic Mapping Study," 2022 IEEE 19th International Conference on Software Architecture Companion (ICSA-C), Honolulu, HI, USA, 2022.
- [16] Muñoz, C, Collazos, C y Hurtado, J, Desafíos de colaboración en la adopción de Scrum: un estudio en equipos de desarrollo de software del departamento del Cauca, Colombia, TecnoL., vol. 27, n.º 59, p. e2881, abr. 2024.



La interacción humano-computador en Ecuador:

Trabajando para demostrar valor más allá del diseño de interfaces





MARISOL WONG-VILLACRES

PhD en Human-Centered Computing por el Georgia Institute of Technology, Estados Unidos. Profesora Asociada de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), Ecuador. Líneas de investigación: tecnología y migración, prácticas de uso de datos y tecnologías por organizaciones de ayuda humanitaria, tecnologías y ciudades sostenibles.

✉ lvillacr@espol.edu.ec



GONZALO GABRIEL MÉNDEZ

PhD por la University of St Andrews, Reino Unido. Investigador en el Valencian Research Institute for Artificial Intelligence (VRAIN), Universidad Politécnica de Valencia, España. Líneas de investigación: interacción humano-computador y visualización de datos.

✉ ggmenco1@upv.es



KATHERINE CHILUIZA

PhD por la Ghent University, Bélgica. Profesora Principal 3 y directora del Centro de Tecnologías de Información de Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), Ecuador. Líneas de investigación: interacción humano-computador, learning analytics y learning technologies.

✉ kchilui@espol.edu.ec

RESUMEN. El campo de la Interacción Humano-Computador (IHC) ha venido creciendo con fuerza en Latinoamérica en los últimos 20 años. Actualmente la región cuenta con seis capítulos de la ACM SIGCHI, cuatro conferencias locales del área (MEXIHC, BRAZIL CHI, CLIHC y JIHC), tres comunidades nacionales en México, Brasil y Ecuador, y dos comunidades regionales (LAIHC y HCICollab). Ecuador, uno de los países más pequeños de Sudamérica, no es la excepción. Sin embargo, el crecimiento del área en el país sigue siendo marginal en comparación al que han tenido otras subdisciplinas de la computación, como son la inteligencia artificial y las ciencias de datos. Las barreras para lograr generar conocimiento en forma constante y planificada, y generar profesionales especializados en el área aún son muy grandes. Con el objetivo de informar acciones en otros países latinoamericanos que buscan fortalecer el área de IHC, en este artículo resumimos el estado actual del campo en Ecuador, describimos las barreras que aún lo limitan significativamente, y compartimos tres ejemplos de cómo los investigadores ecuatorianos navegan las barreras que limitan el crecimiento de la IHC en el país.

Ecuador: un país con una IHC en pleno ascenso

Sin lugar a dudas, el apoyo que los gobiernos ecuatorianos han dado a la formación de doctores en diversas áreas en los últimos 20 años, ha ayudado al Ecuador a incrementar significativamente su capacidad de investigación

en IHC. La Escuela Superior Politécnica del Litoral, la universidad número uno en Ciencias Computacionales en el país [1], por ejemplo, pasó de tener dos profesores trabajando en el área en el 2014 a contar con seis profesores, cuatro de ellos con doctorados específicamente en el área especializados en Estados Unidos, Europa y Oceanía, publicando en las conferencias más relevantes de la disciplina como son la ACM CHI

y CSCW. Este incremento en personal especializado ha hecho que Ecuador actualmente se encuentre entre los países latinoamericanos con mayor número de publicaciones en la ACM CHI [2] y se convierta en el primer país sudamericano en haber ganado la competencia de diseño de esta conferencia [3].

Así mismo, el contar con investigadores especializados en el extranjero ha



Este incremento en [académicos especializados en IHC] ha hecho que Ecuador actualmente se encuentre entre los países latinoamericanos con mayor número de publicaciones en la ACM CHI [la conferencia más relevante de la disciplina].

permitido que se fomenten aún mucho más las conexiones con comunidades regionales y globales de profesionales en el área. Ecuador cuenta actualmente con dos miembros activos en la red iberoamericana HCICollab y uno en la comunidad LAIHC a nivel latinoamericano. El país también tiene una mayor presencia en comunidades globales que proveen variadas formas de apoyo al desarrollo de IHC a nivel mundial como lo es la ACM SIGCHI. Al contar con un capítulo de la ACM SIGCHI y con un representante en el comité SIGCHI de Latinoamérica, los investigadores ecuatorianos tienen más formas de conocer acerca de fondos para organizar eventos locales y becas para poder asistir a las conferencias de la organización.

En términos del tipo de investigación en IHC que llevan a cabo los académicos en Ecuador, el tinte es fundamentalmente social. Una encuesta que realizamos a 18 académicos trabajando en temas relacionados a la IHC demostró que el interés investigativo de la mayoría yace en diseñar tecnologías que ataquen efectivamente problemas sociales en las áreas de educación, salud, y comunicación con un énfasis particular en el diseño y evaluación de tecnologías accesibles. Buena parte de estos trabajos se realizan directamente con comunidades vulnerables tales como adultos mayores y niños con capacidades especiales. Esta tendencia de diseñar para lo social es alimentada por el tipo de fondos que el gobierno promueve para desarrollo de innovación e investigación: el financiamiento para estos proyectos está fuertemente condicionado por la necesidad de ofrecer soluciones directas y tangibles a

problemas como el cambio climático, la reducción de la pobreza, la salud pública y la educación.

En forma paralela, pero no necesariamente conectada a los avances de la academia, la industria ecuatoriana también ha empezado a adoptar nociones y procesos relacionados a la IHC para el diseño y evaluación de software [4] bajo el paraguas de experiencia de usuario (UX). Si bien la contratación de personal de UX para empresas no está totalmente normalizada aún, hay algunas empresas grandes (especialmente de la banca ecuatoriana) que tienen departamentos de mediano y gran tamaño dedicados exclusivamente a trabajar en UX. La práctica de UX en el Ecuador, sin embargo, proviene mayormente de profesionales especializados en diseño gráfico, diseño industrial, y ciencias sociales, quienes no tienen formación en IHC ni conexión con las ciencias computacionales.

Los límites del crecimiento: el estigma de la interfaz bonita

En Ecuador, como en muchos países del Sur Global, se percibe a la IHC como la subdisciplina de computación que se limita a asegurar que las interfaces de usuario sean “bonitas”, determinando únicamente aspectos superficiales como los estilos y colores de las interfaces. Esta visión, que es más bien un estigma, subestima el verdadero alcance y profundidad de la IHC limitando de

varias formas el desarrollo del área en el país. Por un lado, al no crear espacios para que la IHC informe decisiones durante todo el proceso de diseño (e.g., desde el entendimiento del problema y comportamiento de los usuarios, hasta el manejo de problemas como carga cognitiva y la accesibilidad), resulta difícil demostrar el gran impacto que la disciplina puede tener en el desarrollo tecnológico del país. Como resultado, la gran mayoría de soluciones tecnológicas locales, aunque funcionales, terminan siendo fuentes de frustración e ineficiencia: son productos creados sin estudios de usuario ni pruebas iterativas y, por lo tanto, no están optimizados para sus usuarios finales.

Otro impacto del estigma de la IHC como un conjunto de prácticas para crear interfaces “bonitas” es la falta de apoyo financiero para motivar su investigación. Al no considerar a la IHC como un ámbito académico riguroso y serio, tanto agencias gubernamentales de manejo de fondos como la industria ecuatoriana desestiman el desarrollo de la disciplina en el país. No existen fondos solo para avanzar el conocimiento IHC y los investigadores en IHC deben buscar conectarse con expertos en otros ámbitos o áreas del conocimiento para desarrollar proyectos que sí sean prioridad para el Ecuador, centrándose en temas como clima, biología, biotecnología y agroindustria. Este hecho limita enormemente el tipo de conocimiento que la IHC en el Ecuador puede aportar a nivel internacional, puesto que no hay caminos directos para hacer contribuciones significativas al área tales como la creación de nuevas interfaces, el desarrollo de teorías avanzadas de interacción, y las metodologías de diseño.

La falta de aprecio hacia el área como válida y relevante para computación también afecta la posibilidad de los investigadores de conseguir posicionar su investigación en la comunidad global. Por ejemplo, en Ecuador los sitios de publicación que el gobierno e

El interés investigativo de la mayoría [de los académicos] yace en diseñar tecnologías que ataquen efectivamente problemas sociales en las áreas de educación, salud y comunicación.

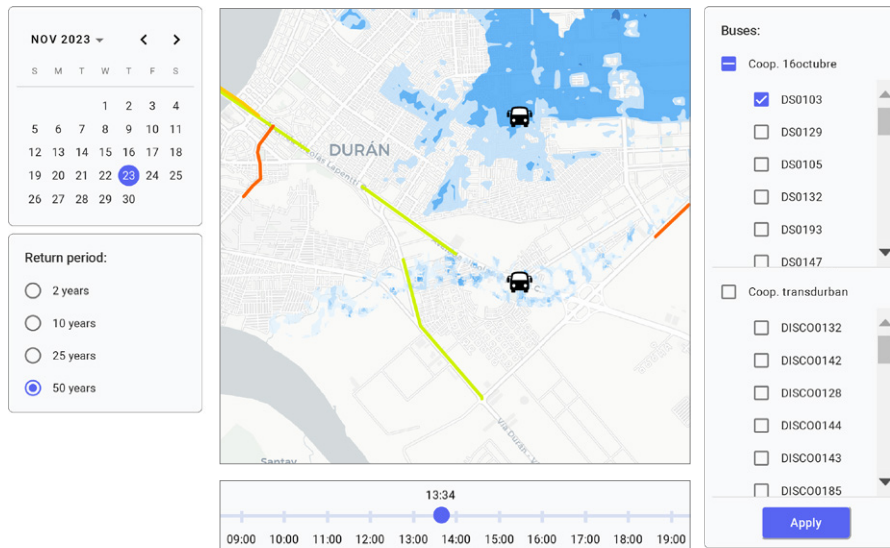


Figura 1. Plataforma de Prevención de Desastres desarrollada por el grupo de trabajo de Gonzalo Méndez.

instituciones educativas valoran y priorizan no contemplan las conferencias y revistas académicas relevantes para la IHC. Dada la falta de visibilidad que tiene la IHC en el país, resulta difícil para los investigadores en el área el motivar el cambio necesario en estas políticas.

Finalmente, el estigma del IHC como la ciencia de lo estético también limita la capacidad del área de crecer hacia maestrías y doctorados. Los estudiantes de postgrado en computación no logran aún entender la importancia de la IHC en la sociedad y el contexto que nos rodea. Por consiguiente, rara vez buscan especializarse en el área. Además, la falta de conexión entre la IHC y la industria hace que aquellos interesados en seguir un postgrado no consideren a la IHC como una opción, puesto

que no está claro cómo ésta les brindará oportunidades de trabajo. Como consecuencia, en Ecuador aún no hay programas de maestría ni doctorado exclusivos para desarrollar la IHC como sí existen en Estados Unidos y Europa.

Para lograr un cambio radical que permita a la IHC crecer como una disciplina válida e importante en la región, es importante que se dé más diálogo entre la academia, la industria y el Estado. Las empresas y los financiadores de proyectos tecnológicos deben reconocer el valor de invertir en IHC no sólo como un elemento estético, sino como una estrategia fundamental para mejorar la experiencia del usuario y, por ende, el éxito de cualquier producto tecnológico. Adicionalmente, para que se valore tanto la investigación apli-

cada como la teórica, es relevante que las partes pertinentes en Ecuador implementen programas que respalden también la investigación básica en IHC. De esta forma, Ecuador podría desarrollar un ecosistema de investigación en IHC más diverso y fuerte, que no sólo atienda las necesidades inmediatas, sino que también conduzca a futuras innovaciones y que cuente con individuos formándose localmente.

Navegando las barreras: tres ejemplos de IHC en Ecuador

Usando nuestro trabajo de investigación y experiencias como base, ofrecemos tres ejemplos de las estrategias que los investigadores ecuatorianos en IHC utilizamos para impulsar el área a pesar de las barreras existentes. Nuestras experiencias ilustran cómo los investigadores de IHC en Ecuador trabajan fuertemente hacia la diversificación de sus áreas de aplicación, el apalancamiento de conexiones internacionales, y las relaciones con instituciones donde puedan desarrollar líneas de trabajo sólidas.

Luego de sus estudios en Escocia, Gonzalo Gabriel Méndez regresó al Ecuador a trabajar en la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). La investigación de Gonzalo se sitúa en la intersección de la IHC y la visualización de datos. Puntualmente, él usa sus habilidades de investigación cualitativa y de diseño de representaciones visuales para ayudar a las personas a entender fenómenos complejos de manera más efectiva. El énfasis del país en soluciones inmediatas para el desarrollo social, sin embargo, llevó a Gonzalo a buscar colaboraciones con expertos en inteligencia artificial y diversificar altamente las áreas de aplicación en las que trabaja. Entre las líneas que ha abarcado se encuentran el ámbito legislativo, diseñando herramientas para



Figura 2. Elementos del reporte en tableros interactivos que reciben estudiantes participantes de tareas colaborativas en línea y sus profesores.

entender las votaciones del parlamento ecuatoriano, la educación superior, estudiando el impacto que las visualizaciones de modelos predictivos sobre rendimiento académico pueden tener en los estudiantes, y el manejo preventivo de crisis y desastres utilizando datos de movilidad histórica para modelar el impacto de eventos adversos en rutas de evacuación (ver Figura 1).

Marisol Wong-Villacres, profesora de la ESPOL con un doctorado en Computación Centrada en el Humano en Estados Unidos, también se ha visto obligada a diversificar sus áreas de trabajo. Marisol se especializó en métodos de co-diseño con poblaciones vulnerables—como grupos inmigrantes—para crear iniciativas

que impulsen transformaciones en las instituciones que proveen servicios a estas poblaciones. En su caso, la falta de estudiantes de doctorado y de fondos para contratar asistentes de investigación la han llevado a maximizar sus colaboraciones con colegas extranjeros, lo cual también ha ocasionado que diversifique sus áreas de aplicación. Con colegas de IBM, la Universidad de Pittsburgh e Irvine, ella explora mecanismos para ayudar a organizaciones en el sector humanitario a usar datos de forma responsable, inclusiva y efectiva. Con la Universidad de Toronto, Marisol tiene una colaboración para estudiar cómo la tecnología puede ayudar de mejor manera a que los inmigrantes venezolanos en Ecuador conserven su cultura y sus

recuerdos familiares. Marisol trabaja pocos temas por su cuenta, puesto que es más difícil sin contar con estudiantes de doctorado y teniendo sólo a disposición estudiantes de pregrado. Entre estos temas figuran proyectos con diversas comunidades locales, diseñando alternativas que potencialicen enfoques como el *crowdsourcing* y *gamification* para asegurar ciudades sostenibles.

Para evitar esa diversificación de áreas de aplicación, Katherine Chiluiza, quien hizo un doctorado en educación en Bélgica, ha desarrollado una relación sólida y productiva entre su investigación y su universidad, la ESPOL. Específicamente, ella ha trabajado en proyectos de diseño que generen soluciones para los



Otro impacto del estigma de la IHC como un conjunto de prácticas para crear interfaces “bonitas” es la falta de apoyo financiero para motivar su investigación.

estudiantes y profesores de la ESPOL. Esto, de cierta manera, garantiza un área de impacto, y por lo tanto asegura apoyo institucional y permite una cierta flexibilidad al decidir cómo aplicar la IHC. La investigación de Katherine se especializa específicamente en el diseño de soluciones que den apoyo a la colaboración para el aprendizaje. Dentro de ese nicho, Katherine y su grupo han trabajado varios frentes. Por ejemplo, han usado una mezcla de métodos cuantitativos y cualitativos para entender cómo los estudiantes y profesores de computación entienden una buena colaboración y desde allí, han diseñado herramientas de reportería como tableros interactivos (ver Figura 2). También han investigado sobre el uso de tecnologías que habili-



tan cursos híbridos, donde ciertos estudiantes se conectan a distancia y otros asisten presencialmente, para entender mejores formas de apoyo a los profesores en estos contextos. Las implicaciones de sus investigaciones han logrado informar estrategias de uso y diseño de tecnología que garantiza la participación activa de parte de los estudiantes.

Estas tres historias demuestran el compromiso de los investigadores ecuatorianos en IHC de buscar recursos y hacer que el progreso suceda contra corriente. Sin embargo, también demuestran la importancia de que gobierno, industria, y academia trabajen más con los investigadores para encontrar caminos que beneficien al país. ■

REFERENCIAS

- [1] ESPOL (2024, Jun 13) La ESPOL se mantiene como la mejor universidad ecuatoriana en el ranking SCImago 2024. ESPOL website.
- [2] Candello, H., Griggio, C. F., López Herrera, G, Reynolds-Cuéllar, P., Tibau, J., Wong-Villacres, M. (2024, Jun 13) Latin America in SIGCHI: Where are we and what are we doing?. SIGCHI Medium Blog.
- [3] ESPOL (2024, Jun 13) Estudiantes de la ESPOL ganan competencia en Alemania. ESPOL Website.
- [4] Del Río, M. S., & Linares, F. (2022). UX Latam: historias sobre definición y diseño de servicios digitales.



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. ■



Desafíos y oportunidades de la computación en Paraguay





BENJAMÍN BARÁN

Doctor en Ciencias, en Sistemas y Computación por la Universidad Federal de Río de Janeiro, Brasil y Magíster en Ingeniería Eléctrica por la Northeastern University, Estados Unidos. Actualmente se desempeña como Ministro, Presidente del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) de Paraguay y como Decano de la Universidad Comunera (UCOM). Sus líneas de investigación son: inteligencia artificial, optimización, redes ópticas, computación en la nube, computación cuántica y ciencia de datos. Cuenta con más de un centenar de publicaciones científicas. Sus trabajos han recibido distinciones como el Premio Nacional de Ciencias del Paraguay (1996 y 2018), el Honor al Mérito Latinoamericano en Informática otorgado por el CLEI (2013) y el Premio Panamericano en Computación Científica (2012), así como tres Doctorado Honoris Causa en 2012, 2022 y en 2023.

✉ bbaran@cba.com.py



CYNTHIA DELGADO

Ingeniera en Informática por la Universidad del Cono Sur de las Américas (UCSA), Paraguay y Magíster en Gestión de la Ciencia y la Innovación por la Universidad Politécnica de Valencia (UPV), España. Actualmente ocupa el cargo de Secretaria Ejecutiva del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) de Paraguay y realiza, además, actividades de docencia. Sus áreas de actuación se centran en el análisis de políticas públicas y la gestión de proyectos estratégicos en el ámbito de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI).

✉ cynthia.delgado@gmail.com



OMAR DARÍO ROLÓN DÍAZ

Ingeniero en Ecología Humana por la Universidad Nacional de Asunción (UNA), Paraguay y candidato a Magíster en Gestión de Proyectos por la Universidad Americana, Paraguay. Actualmente trabaja en el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) de Paraguay como especialista en planificación, monitoreo, evaluación y aprendizaje (PMEL), donde también ha ocupado otros roles clave. Sus áreas de actuación se centran en la evaluación de políticas públicas, análisis de datos y gestión de proyectos estratégicos en el ámbito de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI). Además, ha colaborado en proyectos educativos, sociales y ambientales con instituciones como la Universidad Americana, Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF) y Amigos de las Américas.

✉ dariomarolon@gmail.com



NATHALIE ALDERETE TROCHE

Doctora en Administración por la Universidad Columbia del Paraguay (UCP) y Magíster en Gestión y Políticas Públicas por la Universidad de Chile. Actualmente se desempeña como Directora de Información Científica y Estadística del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) de Paraguay, además de estar afiliada a la Universidad Americana. Ha liderado la Encuestas de Percepción de la Ciencia y la Tecnología, la Encuesta sobre Actividades en Ciencia y Tecnología y la Encuesta de Innovación Empresarial año 2021. Su línea de investigación son las ciencias sociales y/o empresariales.

✉ nathalie.alderete@gmail.com



Un nuevo horizonte

En el escenario latinoamericano, Paraguay ha sido históricamente conocido como un productor de alimentos, desempeñando un papel relevante en la producción agrícola y ganadera de la región. También se lo conoce como exportador de energía hidroeléctrica. Sin embargo, en los últimos años, Paraguay ha comenzado a trazar un nuevo camino que lo posiciona no sólo como un productor de electricidad limpia, granos o carne, sino también como un centro emergente de conocimiento y tecnología. Esto, gracias al ascenso de Paraguay en el ámbito de las ciencias en general y muy particularmente en el área de computación, una disciplina que promete transformar su economía y su posición en el mapa global del conocimiento.

Un prometedor despertar

El sendero de Paraguay para ir convirtiéndose en un actor relevante en el ámbito de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI) es impulsado por instrumentos de política pública liderados por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Esta institución autárquica dependiente de la Presidencia de la República, creada por ley en 1997 y ampliada en sus funciones en 2003, coordina, orienta y evalúa el Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SNCTI) así como el Sistema Nacional de Calidad (SNC) [1].

Considerando los datos relacionados con Investigación y Desarrollo Experimental (I+D) de la Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología (RICYT) del año 2022, la inversión de Paraguay fue del 0,12% del Producto Interno Bruto (PIB), una mejora apreciable respecto

al 0,08% del PIB en 2014, pero aún por debajo de países como Brasil (1,17%), Argentina (0,52%), Uruguay (0,44%) y Chile (0,34%) [2].

El número de investigadores por cada mil integrantes de la fuerza laboral se mantuvo relativamente constante entre 2020 y 2022, promediando 0,25 [3]. A su vez, la producción científica en la Web of Science y Scopus durante el referido periodo 2020-2022 promedió 475 y 524 publicaciones respectivamente, posicionando a Paraguay en el puesto 16 de entre los 51 países de la región [4,5].

CONACYT no sólo ha formulado y coordinado políticas de CTI, sino que también ha desempeñado un rol fundamental como responsable de la promoción y financiación de proyectos de investigación e innovación. Actualmente, cuenta con una Política Nacional de CTI alineada al Plan Nacional de Desarrollo 2030, con metas ambiciosas para el año 2030, incluyendo aumentar la inversión en I+D al 0,50% del PIB, contar con 1,5 investigadores por cada mil integrantes de la fuerza laboral, incorporar al menos 150 doctores por cada millón de integrantes de la fuerza laboral, quintuplicar el número de publicaciones científicas por cada 100.000 habitantes, quintuplicar el número de patentes otorgadas a residentes en el país, lograr financiamiento de la I+D por parte del sector empresas equivalente al 35% del total, así como duplicar la participación de productos de media y alta tecnología en la matriz de exportación, entre otros [6].

Según Espínola [7], desde el año 2006, se han impulsado diversos instrumentos de políticas públicas en materia de CTI para contribuir al logro de las metas arriba citadas, implementando programas y proyectos de CTI como:

- **2006 – 2013**
Programa de apoyo al desarrollo de la ciencia, tecnología e innovación (PROCIT).

- **2009 – 2017**
Proyecto de Desarrollo Tecnológico, Innovación y Evaluación de Conformidad (DETIEC).
- **2014 – 2027**
Programa Paraguayo para el desarrollo de la Ciencia y la Tecnología (PROCIENCIA), en sus dos fases.
- **2015 – 2030**
Programa nacional de becas de postgrado en el exterior para el fortalecimiento de la investigación, la innovación y la educación (BECAL), en sus dos fases.
- **2017 – 2025**
Proyecto de Innovación en Empresas Paraguayas (PROINNOVA).

Cabe mencionar, que el programa BECAL es ejecutado por el Ministerio de Economía y Finanzas (MEF), mientras que los demás programas mencionados son implementados por CONACYT [8].

Desde el año 2023, también se cuenta con una “Agenda Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación” en la cual se identifican seis desafíos para el Sistema Nacional de CTI, abordándose treinta y cuatro preguntas clasificadas en estos seis desafíos que pueden ser respondidas desde las ciencias de la computación [9].

Construyendo cimientos: incentivos para fortalecer la I+D en computación

Los instrumentos de políticas públicas ofertados por el gobierno paraguayo están dirigidos de manera horizontal a todas las instituciones, grupos e investigadores de los diferentes campos científicos [9]. A continuación, se detallan los apoyos e incentivos estatales que han sido fundamentales para los actores vin-



En el escenario latinoamericano, Paraguay ha sido históricamente conocido como un productor de alimentos [...] Sin embargo, en los últimos años [...] ha comenzado a trazar un nuevo camino que lo posiciona [...] como un centro emergente de conocimiento y tecnología.



culados específicamente a los diversos campos de la computación:

- **Apoyo a maestrías y doctorados de excelencia:** uno de los principales enfoques ha sido el apoyo a programas de doctorado y maestría, ya sea para la creación o fortalecimiento de cohortes, sobre todo los programas de maestrías y doctorados en Computación de la Facultad Politécnica de la Universidad Nacional de Asunción (FPUNA) [10].

El doctorado en Ciencias de la Computación ha recibido apoyo en varias cohortes. Inicialmente, el PROCIT financió dos cohortes. Posteriormente, el programa PROCIENCIA I respaldó otras dos cohortes. Con la fase II de PROCIENCIA en marcha, ya se está apoyando a una cohorte adicional, con planes de iniciar una segunda en 2024 y otra más en 2025. En total,

siete cohortes del doctorado en Ciencias de la Computación han sido o serán financiadas por CONACYT [11].

En el caso de la maestría en Ciencias de la Computación de la FPUNA, CONACYT ha apoyado cuatro cohortes. Una cohorte fue financiada por PROCIT, dos por PROCIENCIA I y una más por PROCIENCIA II. Este apoyo es crucial para garantizar la formación de investigadores altamente capacitados en el país [11].

- **Becas nacionales y para el estudio en el exterior:** se han otorgado 191 becas de computación de 2.274 becas a estudiantes y profesionales paraguayos. De estas, 59 de 731 son becas nacionales y 132 de 1.543 son para estudios de postgrado en el exterior. Estas becas permiten a estudiantes y profesionales paraguayos formarse en programas académicos

de excelencia a nivel nacional o en instituciones extranjeras de alto prestigio, con el objetivo de traer de vuelta al país conocimientos avanzados y actualizados [12,13].

- **Sistema Nacional de Investigadores del Paraguay (SISNI):** 45 investigadores en el área de la computación se encuentran categorizados de entre los 709 investigadores científicos que integran el SISNI. Este sistema fortalece la capacidad de investigación del país y reconoce y financia a los investigadores más destacados [14].
- **Proyectos de I+D:** de un total de 903 proyectos de investigación de iniciación, básica y aplicada, 92 proyectos del área de computación han sido financiados buscando desarrollar conocimiento fundamental y soluciones prácticas para la resolución de problemas locales [15].
- **Eventos científicos y programas de vinculación de científicos:** se han apoyado 2 eventos de computación de 71 eventos científicos financiados, así como 16 de 326 estancias de investigación para facilitar la organización y participación, en conferencias, talleres y otras actividades internacionales en el ámbito de la computación, fomentando el intercambio de conocimientos y la creación de redes de colaboración [15].
- **Fortalecimiento de infraestructura:** de 23 proyectos para la provisión de equipamiento y mejora de la infraestructura para la investigación sólo uno corresponde al área de la computación, lo que resulta crucial para realizar estudios de alta calidad [15].
- **Oficinas de Transferencia Tecnológica (OTT):** que facilitan la transferencia de conocimientos y tecnologías desde los centros de investigación hacia el sector productivo, promoviendo la innovación y el desarrollo económico [16].



Actualmente [Paraguay], cuenta con una Política Nacional de CTI [...] con metas ambiciosas para el año 2030, incluyendo aumentar la inversión en I+D al 0,50% del PIB [y] contar con 1,5 investigadores por cada mil integrantes de la fuerza laboral.

Financiamiento de la I+D en computación

Los proyectos de investigación en computación en Paraguay se financian a través de diversas fuentes, con una fuerte dependencia de los fondos gubernamentales. A continuación, se detallan las principales fuentes de financiamiento:

- **Fondos gubernamentales:** el 83,33% del financiamiento proviene principalmente del Presupuesto General de la Nación, que incluye los recursos del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología [3].
- **Instituciones privadas sin fines de lucro:** un 12,06% del financiamiento es proporcionado por universidades privadas y organizaciones no gubernamentales (ONGs) [3].
- **Entidades binacionales:** las entidades binacionales, como Itaipú Binacional, contribuyen con un 2,87% del financiamiento de I+D vinculada con la computación [3].
- **Cooperación internacional:** la cooperación internacional aporta un 1,15% del financiamiento, a través de diversas agencias y programas de cooperación [3].
- **Empresas privadas:** las empresas privadas aportan un 0,57% del financiamiento de manera muy marginal. Aunque este porcentaje es relativamente bajo, representa una oportunidad para que las empresas interesadas en de-

sarrollar tecnologías innovadoras colaboren más activamente con el sector académico y de investigación [3].

Principales barreras

A pesar de los significativos apoyos recibidos, los investigadores en Paraguay enfrentan varios desafíos críticos. El estudio reciente realizado por el Centro Nacional de Inteligencia Artificial sobre el Índice Latinoamericano de Inteligencia Artificial (ILIA) de año base 2023, destaca estas dificultades. Según el ILIA, Paraguay ocupa la última posición entre los países latinoamericanos en diversas áreas clave para el desarrollo de la inteligencia artificial (IA), incluyendo infraestructura, desarrollo de talento, investigación, I+D, adopción y gobernanza. No obstante, estos desafíos también representan oportunidades para mejorar y aprovechar el potencial de la comunidad científica paraguaya para impulsar la adopción tecnológica [17].

Paraguay tiene el potencial para desarrollar una sólida infraestructura, pero actualmente se encuentra por debajo del promedio de América Latina en conectividad. En términos de cómputo, el país muestra una situación mixta: aunque posee una buena posición en el subindicador de nube, carece de supercomputadoras y cuenta con pocos *datacenters* especializados. Respecto a los dispositivos, Paraguay está cerca del promedio regional en suscripciones a dispositivos móviles, pero el porcentaje de hogares con computadora está significativamente por debajo de la media regional, lo que refleja una baja

penetración digital. En el Barómetro de Datos, la mayoría de los subindicadores están por debajo del promedio latinoamericano, salvo en uso e impacto. Además, la gobernanza de los datos necesita mejoras sustanciales en disponibilidad, capacidades y gobernanza para avanzar [17].

El desarrollo de talento es otro desafío importante. Paraguay necesita generar cursos abiertos y aprovechar la inclusión de Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en el currículo nacional. Los indicadores muestran que Paraguay tiene los valores más bajos en formación profesional en la región, lo que sugiere amplias posibilidades de mejora y aprendizaje. En términos de capital humano avanzado, el país presenta una debilidad estructural que está siendo abordada para crear las condiciones necesarias [17].

Instituciones y grupos de investigación

En Paraguay, 25 de las 364 instituciones dedicadas a I+D están vinculadas al área de computación. De éstas, 14 son privadas y 10 son públicas, con una participación adicional de un organismo de composición binacional entre Brasil y Paraguay, el Parque Tecnológico Itaipú (PTI). De estas instituciones tres se destacan por contar con grupos de investigación categorizados [18,19].

- **Universidad Nacional de Asunción (UNA):** la universidad pública más antigua del país cuenta con una notable infraestructura para la investigación en computación y tecnología, a través de la Facultad Politécnica y la Facultad de Ingeniería (FIUNA), que albergan nueve grupos de investigación categorizados. Además, esta universidad cuenta con un Centro Nacional de Computación y una Facultad de Arquitectura, Diseño y Arte, entre otras unidades académicas y centros de investigación, totalizando así cuatro



instituciones con líneas de investigación directamente vinculadas a las ciencias de la computación [20].

- **Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción (UC):** la universidad privada con mayor trayectoria en el área albergando dos centros de investigación dedicados a la computación y la innovación tecnológica, el Laboratorio de Electrónica Digital (LED) y el Centro de Ingeniería para la Investigación, Desarrollo e Innovación Tecnológica (CIDIT) que cuenta con un grupo de investigación categorizado [21].
- **Universidad Comunera:** esta novel universidad en actividades científicas, sobresale en el campo de Ciencias de Datos e Inteligencia Artificial. Tiene un grupo de investigación categorizado y ofrece innovadores programas de postgrado en el área de Computación [22].

Se detallan a continuación los 11 grupos de investigación en computación, distribuidos entre las instituciones arriba mencionadas [18, 19]:

- **TIC e Innovación Medioambiental:** dirigido por Derlis Orlando Gregor Recalde que lidera este grupo en la FIUNA y cuenta con 14 investigadores.
- **Grupo de Ciencia de Datos e Instrumentación Científica Aplicadas a la Ingeniería y la Física:** liderado por Jorge Andrés Molina Insfrán en FIUNA, con 17 investigadores.

- **Grupo de Investigación en Sistemas Robóticos Móviles:** Mario Eduardo Arzamendia López lidera este grupo en FIUNA, con 12 investigadores.
- **Grupo de Bioinformática:** liderado por María José Fernández De Nestosa que dirige este grupo en la FPUNA, cuenta con 7 investigadores.
- **Grupo de Investigación en Bio y Materiales:** Magna María Monteiro lidera este grupo en la FPUNA, contando con 19 investigadores.
- **Grupo de Investigación en Computación Científica y Matemática Aplicada:** dirigido por Christian Emilio Schaerer Serra en la FPUNA, con 27 investigadores.
- **Grupo de Investigación en Procesamiento Digital de Imágenes:** bajo la dirección de Horacio Andrés Legal Ayala en la FPUNA, con 11 investigadores.
- **Grupo de Investigación en Teoría de la Computación:** Marcos Villagra lidera este grupo consolidado en la FPUNA, con 7 investigadores.
- **Grupo de Investigación en Algoritmos y Optimización:** dirigido por Christian Daniel von Lücken Martínez en la FPUNA, con 4 investigadores.
- **Neuroingeniería:** liderado por Fernando Brunetti en la UC, con 15 investigadores.

- **SmartDataLab:** este grupo liderado por Benjamín Barán, forma parte de la Universidad Comunera y cuenta con dos investigadores.

Líneas de investigación

Según los datos disponibles en CONACYT [3], los grupos de investigación en computación arriba citados se enfocan en una amplia gama de áreas y problemas de investigación, como ser:

- Inteligencia artificial y machine learning
- Ciencia de los datos (data science)
- Ingeniería de software
- Informática social
- Matemática computacional
- Desarrollo informático
- Mapeo con software libre
- Informática educativa
- Tecnologías de la información y comunicación (TIC)
- Robótica y sistemas robóticos móviles
- Smart grids & smart metering
- Seguridad informática
- Big data y análisis de datos

Principales avances

En el ámbito de la investigación, Paraguay muestra indicadores prometedores con oportunidades de mejora. La productividad e impacto de la investigación



El porcentaje de hogares con computadora está significativamente por debajo de la media regional, lo que refleja una baja penetración digital.



Equipo de trabajo Facultad de Ingeniería: el Dr. Raúl Gregor de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Asunción (FIUNA), acompañado de su equipo de investigación.

en computación son relativamente altos, lo que indica que la producción científica local tiene una calidad superior al promedio regional [17].

En términos de I+D, Paraguay presenta una productividad en código abierto superior al promedio de América Latina. Al mismo tiempo, existen muestras auspiciosas de apoyo gubernamental para fomentar la investigación y la innovación en este campo [17].

Publicaciones y productividad

La producción científica en computación en Paraguay ha mostrado un crecimiento notable, desde 2011 hasta 2021. El país ascendió del puesto 16 al 12 en producción científica. La cantidad de documentos citables ha aumentado, aun-

que con variaciones anuales en citas, así como al considerar el *h-index* [23]. Según datos de Clarivate y Elsevier, seis investigadores vinculados a la computación destacan entre los 25 más productivos del país, sobresaliendo por sus publicaciones en Scopus y Web of Science:

- *Diego Pedro Pinto Roa*: 38 publicaciones en Scopus, 12 en Web of Science.
- *José Vázquez Noguera*: 30 publicaciones en Scopus, 20 en Web of Science.
- *Jorge Molina Insfrán*: 26 publicaciones en Scopus, 19 en Web of Science.
- *Benjamín Barán*: 21 publicaciones en Scopus, 7 en Web of Science.
- *Horacio Legal Ayala*: 20 publicaciones en Scopus, 6 en Web of Science.
- *Mario Arzamendía López*: 19 publicaciones en Scopus, 6 en Web of Science.

Los grupos de investigación han logrado avances significativos, tanto en el ámbito académico como en aplicaciones

prácticas. Algunos de los logros más destacados incluyen:

- **Proyectos financiados internacionalmente:** La obtención de fondos de organizaciones internacionales para desarrollar proyectos con impacto social.
- **Transferencia tecnológica:** Desarrollo de soluciones prácticas como sistemas de monitoreo agrícola utilizando IA y aplicaciones móviles para la traducción en tiempo real entre español y el idioma guaraní.
- **Publicaciones en revistas indexadas:** Aumento en la cantidad y calidad de publicaciones científicas, lo que ha elevado el perfil académico de Paraguay en la región.

Un futuro alentador

El panorama de la computación en Paraguay resulta prometedor, pero enfrenta todavía desafíos significativos. Apoyos del estado, a través de CONACYT y otros programas, son cruciales para el desarrollo de la investigación ante una falta de inversión de la industria y otras actividades productivas en I+D. Aunque todavía es necesario superar barreras como la falta de infraestructura y el desarrollo de talento, los logros de los principales grupos de investigación demuestran que, con el apoyo adecuado y la colaboración internacional, es posible avanzar significativamente en ciencia y tecnología en Paraguay.

El futuro de la investigación en computación en el país dependerá de la capacidad para fortalecer las instituciones de investigación, formar, atraer y retener talento, así como, fomentar la innovación en un mundo altamente competitivo donde los investigadores del área reciben atractivas propuestas para realizar sus actividades profesionales en el exterior. ■



REFERENCIAS

- [1] Honorable Cámara de Senadores. (2003). Ley 2279: que modifica y amplía artículos de la Ley 1028/97 general de ciencia y tecnología. https://www.conacyt.gov.py/sites/default/files/LEY2279_0.pdf.
- [2] Red Iberoamericana de Indicadores de Ciencia y Tecnología. (2022). *Gasto en I+D con relación al PIB 2012-2021*. Consultado el 30 de mayo de 2024. https://app.riicyt.org/ui/v3/comparative.html?indicator=GASTOxPBI&start_year=2012&end_year=2021.
- [3] Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. (2024). *Indicadores de Ciencia y Tecnología 2022*. https://www.conacyt.gov.py/sites/default/files/upload_editores/u489/01-Resultados%20ACT2023-Indicadores%20de%20CyT_Paraguay%20p_%20publicar%20%281%29.pdf.
- [4] Clarivate. (2023). Incites journal citation reports. <https://access.clarivate.com/>.
- [5] Elsevier. (2023). *SciVal: research performance assessment solution*. <https://id.elsevier.com/>.
- [6] Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. (2017). Política Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Paraguay 2017-2030. <https://www.conacyt.gov.py/politica-cti-2018>.
- [7] Espínola, F. (2022). *Consultoría para la Evaluación Final del Programa PROCIENCIA. Informe final*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología del Paraguay. https://www.conacyt.gov.py/sites/default/files/upload_editores/u274/evaluacion-final_PROCIENCIA.pdf.
- [8] Fondo de Excelencia para la Educación y la Investigación. (2024). *Programas y proyectos aprobados*. <https://feei.gov.py/programas-y-proyectos/>.
- [9] Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. (2022). Agenda Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación 2022 – 2030. https://www.conacyt.gov.py/sites/default/files/upload_editores/u489/Agenda-Nacional-CTI.pdf.
- [10] Lemaitre, M., Baeza, V., Jana, D. (2020). *Modelo de selección de postgrados con orientación académica strictu sensu*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- [11] Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. (2023). Nómina de programas de postgrados seleccionados en el marco del instrumento “Proyectos de creación y fortalecimiento de maestrías y doctorados de excelencia”, primera convocatoria, del programa PROCIENCIA II. <https://www.conacyt.gov.py/sites/default/files/resoluciones/Res%2023-320-Seleccion-programas-postgrados%20%282%29.pdf>.
- [12] Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. (2024). *Becas*. <https://datos.conacyt.gov.py/becas>.
- [13] Ministerio de Economía y Finanzas. (2024). *Lista de becarios*. <https://becal.gov.py/v2/lista-de-becarios/>.
- [14] Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. (2024). *Beneficiarios del PRONII*. <https://datos.conacyt.gov.py/proniis>.
- [15] Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. (2024). *Proyectos/Postgrados*. <https://datos.conacyt.gov.py/proyectos>.
- [16] Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología del Paraguay. (2021). *Programa Paraguayo para el Desarrollo de la Ciencia la Tecnología PROCIENCIA II*. <https://www.conacyt.gov.py/documentos-aprobados-prociencia>.
- [17] Centro Nacional de Inteligencia Artificial. (2023). *Índice Latinoamericano de Inteligencia Artificial*. <https://indicelatam.cl/wp-content/uploads/2023/08/ILIA-2023.pdf>.
- [18] Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. (2024). *Por la cual se establece la nómina de Grupos de Investigación Categorizados, con base en sus Curriculum Vitae (CV Grupo) en el marco del Programa Paraguayo para el Desarrollo de la Ciencia y Tecnología (PROCIENCIA II)*. https://www.conacyt.gov.py/sites/default/files/upload_editores/u454/RES%20108-2024%20%281%29.pdf.
- [19] Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. (2024). *Acta de Reunión del Consejo N°658*. https://www.conacyt.gov.py/sites/default/files/actas/Acta_658_2.pdf.
- [20] Universidad Nacional de Asunción (2024). *Unidades Académicas*. Consultado el 30 de mayo de 2024. <https://www.una.py/la-universidad/unidades-academicas>.
- [21] Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción. (2024). *Investigación*. Consultado el 30 de mayo de 2024. <https://www.universidadcatolica.edu.py/investigacion/>.
- [22] Universidad Comunera (2024). *Sobre la UCOM*. Consultado el 30 de mayo de 2024. <https://ucom.edu.py/sobre-la-ucom/>.
- [23] Scimago Journal & Country Rank. (2024). *International science ranking*. <https://www.scimagojr.com/countryrank.php?area=1700>.



Investigación en Computación en Uruguay:

Una perspectiva desde el Instituto
de Computación de la Facultad
de Ingeniería



LORENA ETCHEBERRY

Doctora en Informática por la Universidad de la República (PEDECIBA-UdelaR), Uruguay. Actualmente es Profesora Adjunta en el Instituto de Computación de la Facultad de Ingeniería (FING-UdelaR) e investigadora del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) y del PEDECIBA Informática. Además, coordina la Maestría en Ciencias de Datos y Aprendizaje Automático de la FING e integra el Centro Interdisciplinario en Ciencia de Datos de la UdelaR (CICADA.uy). Su área de interés es la gestión de datos, especialmente las bases de datos de grafos, los grafos de conocimiento y los sistemas de análisis de datos. Más recientemente, se ha dedicado a aspectos éticos y de privacidad en la ciencia de datos, específicamente a la anonimización de datos y a técnicas analíticas que preservan la privacidad, así como a la detección y mitigación de sesgos algorítmicos.

✉ lorenae@fing.edu.uy



El Instituto de Computación (INCO) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República en Uruguay es uno de los pilares en el desarrollo de la investigación en el área de la Computación en el país. Desde su creación, ha sido un referente tanto a nivel nacional como regional, contribuyendo al avance del conocimiento y la innovación tecnológica. Hoy el INCO cuenta con aproximadamente 50 magísteres y 40 doctores en su cuerpo docente, que representan un 60% de su planilla, y con muchos docentes más en formación de postgrado.

Este artículo relata cómo es la experiencia de realizar investigación desde el INCO y, en particular, desde el grupo que coordina. Esta experiencia tiene sus luces y sus sombras, y la investigación en computación se enfrenta a un panorama mixto de oportunidades y desafíos. Por el lado de los desafíos están aquellos vinculados a la financiación y la retención y captación de talento, mientras que del lado de las oportunidades cabe mencionar el gran espacio para actividades de I+D que existe en nuestro país en casi cualquier rama de actividad y, en particular, en aquellas que tienen que ver con los sectores productivos.

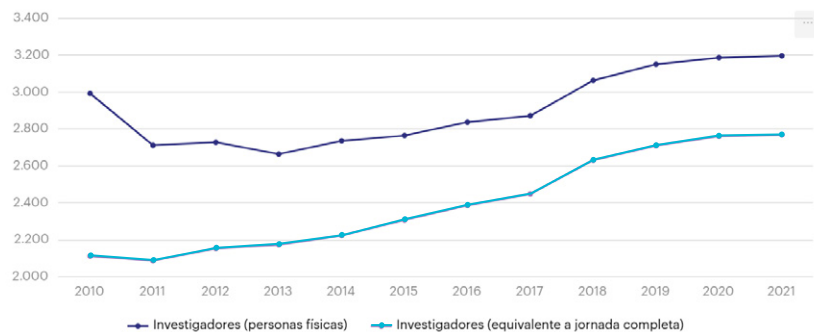
Funcionamiento de los grupos de investigación

Los grupos de investigación en el INCO se organizan en torno a diversas áreas temáticas, que incluyen inteligencia artificial, gestión de datos, sistemas distribuidos, ingeniería de software y teoría de la computación, entre otras. Estos grupos están conformados por profesores investigadores, estudiantes de postgrado y, en algunos casos, estudiantes de grado que participan como asistentes de investigación.

Cabe mencionar el gran espacio para actividades de I+D que existe en nuestro país [...] en particular, en aquellas [ramas] que tienen que ver con los sectores productivos.

Evolución de los investigadores uruguayos

Periodo 2010 - 2022.



Fuente: CVuy y Encuesta de Actividades de Innovación

Fecha de actualización: 24/06/2022



Fuente: PRISMA [1]

Figura 1. Evolución de la cantidad total de investigadores uruguayos.

Como medida de las capacidades en Ciencia y Tecnología (CyT) del país, la Agencia Nacional de Investigación e Innovación (ANII), además de gestionar el Sistema Nacional de Investigadores, operativiza el concepto de investigador en base a una serie de características y provee a través del portal PRISMA [1] la evolución anual de la cantidad de investigadores. Según los datos allí disponibles en 2021 (ver Figura 1) se registraba un total de 3.200 investigadores en todas las áreas del conocimiento. De estos, aproximadamente 50 (1,6%) tenían filiación en el INCO. Pese a que la proporción respecto al total de investigadores del país es pequeña, estas 50 personas representan la amplia mayoría de las personas que investigan en computación en nuestro país.

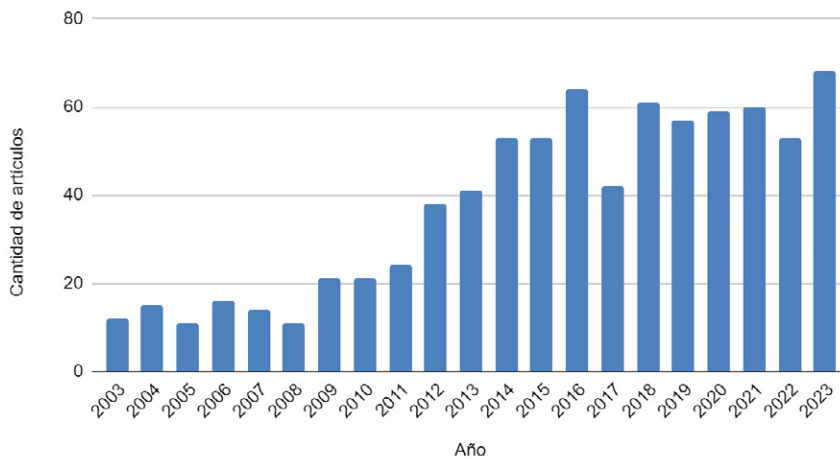
Si observamos la evolución de la producción científica de los grupos de investigación del INCO, podemos ver cómo esta se ha ido incrementando a lo largo del tiempo, con un aumento notorio a partir de mediados del 2000. Esto está directamente vinculado con el impacto de los planes de formación de recursos humanos en el exterior que se desarrollaron a partir de 1985 con el retorno de la democracia al país y el fin de la intervención de la UdelaR [2,3,4].

La Figura 2 permite observar la cantidad de artículos publicados por año. Se consideran aquellas publicaciones catalogadas en OpenAlex como artículos, donde alguno de los autores sea docente del INCO y que cumpla con los criterios de definición de investigador de ANII¹.

¹ Al momento de realizar esta nota el número de investigadores del INCO según estos criterios es de 48 personas.



Cantidad de artículos por año



Fuente: elaboración propia en base a datos obtenidos de OpenAlex

Figura 2. Cantidad de artículos científicos publicados por investigadores del INCO.

Considerando esta población los investigadores del INCO publicamos en promedio alrededor de 1.2 documentos por investigador por año (promedio 2015-2023). Este indicador está bastante por encima del valor computado para todas las ramas del conocimiento en Uruguay. (0.78 de acuerdo con lo reportado por Investiga.uy) [6].

Apoyos e incentivos para la investigación

En Uruguay la mayoría de las fuentes de financiamiento para la investigación provienen del sector público y, en particular, del estado. La Agencia Nacional de Investigación e Innovación implementa llamados periódicos para acceder a fondos para proyectos de investigación y becas de postgrado, y también cuenta con diversos instrumentos y mecanismos que buscan promover actividades de relacionamiento con el sector productivo. Además, la Universidad de la

República realiza convocatorias concursables para que sus investigadores postulen a fondos para proyectos de investigación, ofreciendo también becas de postgrado y brindando apoyo para la publicación de resultados y la participación en eventos internacionales.

El INCO también colabora con diversas instituciones y empresas, tanto a nivel nacional como internacional, lo que muchas veces da origen a actividades de investigación con financiamiento. En muchos casos estas alianzas permiten a los investigadores acceder a recursos adicionales y a una red amplia de contactos en el mundo académico y empresarial.

El INCO también se beneficia de la colaboración con otras universidades y centros de investigación en América Latina y el mundo, lo que facilita el acceso a recursos y conocimiento globales. Mediante estos vínculos y alianzas se ha logrado acceder a fondos por convocatorias internacionales, en particular a proyectos europeos.

Los investigadores del INCO publicamos, en promedio, alrededor de 1.2 documentos por investigador por año.

Barreras y desafíos

A pesar de los apoyos disponibles, los investigadores en computación en Uruguay también enfrentan varios obstáculos, y realizar investigación en computación desde un país periférico como Uruguay presenta desafíos adicionales.

Una de las principales barreras es la limitación de recursos financieros en comparación con países más desarrollados, lo cual restringe el alcance y la escala de los proyectos de investigación, dificultando muchas veces su continuidad.

No contamos con indicadores específicos de los recursos financieros otorgados por organismos a proyectos de investigación del INCO. Más allá de esto, los indicadores generales permiten dimensionar estos apoyos y compararlos con otros países. La Figura 3 presenta la inversión nacional total en actividades de Actividades de Ciencia y Tecnología (ACT) desarrolladas en instituciones de investigación superior.

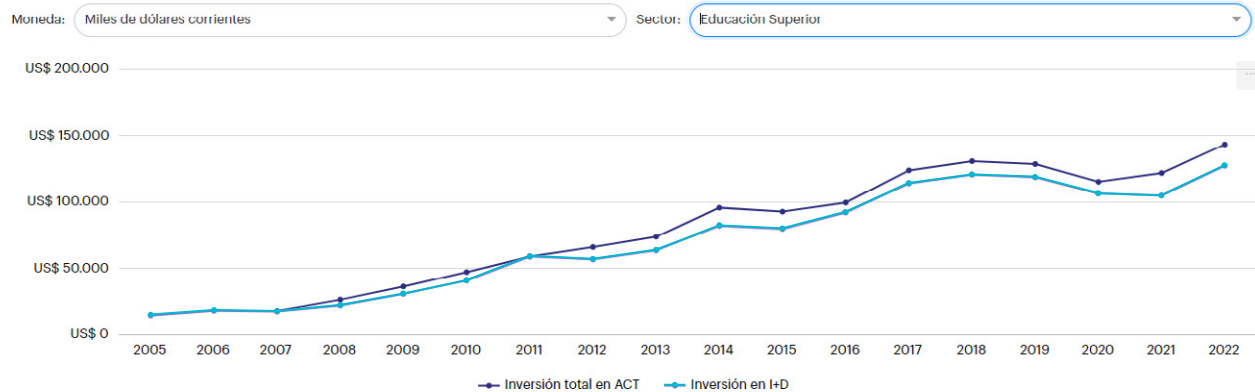
Captación y retención de talento

Uno de los desafíos más significativos que enfrenta el INCO es la captación y retención de talento para la carrera académica. La industria tecnológica en Uruguay ha experimentado un crecimiento considerable en los últimos años, ofreciendo salarios y beneficios competitivos que en la mayoría de los



Inversión total en ACT e inversión en I+D

Período 2005 - 2022.



Fuente: Elaborado por ANII

Fecha de actualización: 19/03/2024

Fuente: PRISMA [1]

Figura 3. Inversión total en actividades de ciencia y tecnología en Uruguay.

casos superan lo que puede ofrecer el ámbito académico. Esta situación genera una competencia constante entre la academia y la industria por los profesionales más capacitados.

Es conocido el rol fundamental de los estudiantes de postgrado, y en particular los estudiantes de doctorado, en los proyectos de investigación. Sin ellas y ellos es muy difícil alcanzar resultados, y en nuestro caso esta dificultad de captar talento condiciona fuertemente los resultados que podemos alcanzar.

Muchos estudiantes talentosos optan por ingresar directamente al mercado laboral, atraídos por las oportunidades y las condiciones económicas más favorables. Para mitigar esta situación, el INCO implementa estrategias para fomentar la vocación académica, tales como programas de mentoría, proyectos de investigación para estudiantes de grado y la promoción de becas de postgrado, así como la postulación a fondos para la incorpora-

ción de postdocs a los equipos de investigación. También creemos imprescindible fomentar la dirección de estudiantes de doctorado en cotutela con universidades de otros países, buscando de esta forma aumentar la masa crítica y haciendo más atractiva y diversa la oferta.

Otras limitaciones

Otro desafío significativo es el acceso a recursos computacionales avanzados. En particular, la investigación utilizando técnicas de inteligencia artificial (IA), especialmente aquellos proyectos que requieren del uso y entrenamiento de modelos (por ejemplo, los modelos de lenguaje a gran escala también conocidos como LLMs por su sigla en inglés), demandan una infraestructura computacional robusta y costosa. En Uruguay, el acceso a tales recursos es limitado, lo que puede restringir el desarrollo y la implementación de proyectos de IA de vanguardia.

Asimismo, el costo de las publicaciones en revistas de acceso abierto (Open Access) se posiciona como una restricción importante a la hora de comunicar resultados de publicación. Este modelo editorial que se ha extendido en los últimos años plantea tarifas que pueden ser prohibitivas, limitando la capacidad de los investigadores para publicar y difundir sus resultados de manera accesible a la comunidad global.

Carga de enseñanza de grado

Además de sus actividades de investigación, el INCO tiene una carga significativa en la enseñanza de grado. Actualmente, el instituto atiende a más de 4.000 estudiantes en diversas carreras de ingeniería y computación. La oferta de cursos es amplia, abarcando desde los fundamentos de la



Otro desafío significativo es el acceso a recursos computacionales avanzados [en particular aquellos utilizados en] inteligencia artificial [para el] entrenamiento de [grandes] modelos.

programación hasta áreas avanzadas como inteligencia artificial y sistemas distribuidos [6].

El volumen de trabajo para el cuerpo docente es considerable, ya que además de dictar clases y supervisar proyectos de investigación, los profesores también están involucrados en la actualización continua del currículo y en actividades de extensión. Esta carga docente a veces puede limitar el tiempo disponible para la investigación, creando un desa-

fío adicional en el balance entre enseñanza y actividad investigativa.

Conclusión

La investigación en computación en Uruguay, y específicamente en el INCO de la Facultad de Ingeniería, es una combinación de desafíos y oportunidades. A pesar de las limitaciones de recursos, el compromiso de los investiga-

dores y el apoyo estatal e internacional han permitido avances significativos en diversas áreas de la computación. Sin embargo, la competencia con la industria para captar y retener talento, junto con la alta carga de enseñanza y los desafíos específicos de un país periférico, son retos constantes que exigen estrategias innovadoras para mantener el nivel de excelencia académica.

El INCO sigue siendo un referente en la región, contribuyendo al desarrollo tecnológico y la formación de profesionales altamente capacitados. Esta experiencia demuestra que, con dedicación y colaboración, es posible superar las barreras y alcanzar resultados de investigación destacados, incluso en contextos con recursos limitados. ■

REFERENCIAS

- [1] ANII, PRISMA, <https://prisma.uy/indicadores/recursos-humanos/investigadores> (última consulta mayo 2024).
- [2] Bermúdez, L., Cabezas, J., Urquhart, M. "De Clementina al e-mail; una aproximación a la historia de la computación en la Universidad de la República, Uruguay". Reportes Técnicos 08-17. UR. FI – INCO, 2008.
- [3] Defranco, Federico; Rasner, Jorge (2023). El desarrollo de la informática y la computación en Uruguay desde 1990. (Serie Documentos de Trabajo; 1/23). Montevideo, Uruguay: Universidad de la República. Facultad de Ingeniería, Departamento de Inserción Social del Ingeniero. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/38007>.
- [4] Vidart, J. "De la investigación científica a la exportación de software en el Uruguay". Reportes Técnicos 08-16. UR. FI – INCO, 2008.
- [5] Grampin, E. "Computación 2020: los nuevos planes de estudio y el ecosistema de egresados". La diaria, noviembre 2017 <https://www.fing.edu.uy/es/noticias/area-de-comunicacion/computacion-2020-los-nuevos-planes-de-estudio-y-el-ecosistema-de-egres>.
- [6] Quijano, C., Tancredi, G., Scorza, C., Alonso Suárez, R., Paruelo, J. Russi, P. ¿Somos los investigadores uruguayos "poco productivos"? https://www.investiga.uy/_files/ugd/1d38e2_c39a79cba6354c1cb3fe131a722bba99.pdf.



Random UChile

Aleatoriedad transparente
en procesos públicos





CAMILO GÓMEZ

Magíster en Ciencias mención Computación por la Universidad de Chile. Coordinador Operativo de Random UChile.

✉ cjgomez@uchile.cl



ALEJANDRO HEVIA

Doctor en Computación por la University of California, San Diego. Profesor Asociado del Departamento de Ciencias de la Computación de la Universidad de Chile. Director del Laboratorio de Criptografía Aplicada y Ciberseguridad (CLCERT). Sus áreas de investigación incluyen criptografía aplicada y seguridad computacional.

✉ ahevia@dcc.uchile.cl



BRYAN ORTIZ

Estudiante de Magíster en Ciencias mención Computación en la Universidad de Chile. Desarrollador en el proyecto Random UChile.

✉ bortiz@dcc.uchile.cl

RESUMEN. El “azar” (o aleatoriedad) forma parte de nuestra vida cotidiana. Un evento aleatorio puede surgir, por ejemplo, cuando participamos en un concurso o se nos asigna una tarea. Por lo general, estos eventos involucran el lanzamiento de una moneda o un dado o, en casos más complejos, una consulta a un algoritmo computacional que genera bits “aleatorios”. Sin embargo, dicha consulta es opaca para el exterior y puede ser insuficiente en contextos donde se requiere mayor transparencia. Los procesos públicos, en particular, como la asignación de auditorías o la selección de vocales de mesa, hoy en día parecen requerir plena confianza en la entidad que realiza el sorteo, a fin de garantizar que el resultado no haya sido manipulado. Un faro de aleatoriedad es un servicio que busca cambiar este escenario, aportando con aleatoriedad pública y verificable. Un faro produce de forma periódica valores impredecibles pero públicamente disponibles y verificables. Desde el 2017, el Laboratorio de Criptografía Aplicada y Ciberseguridad, cuenta con Random UChile, un faro de aleatoriedad desde Chile para el mundo.

¿Qué es la aleatoriedad pública y para qué sirve?

Probablemente, todos hemos participado alguna vez en un sorteo. La emoción y las ganas de participar residen en que todos los participantes tenemos las mismas posibilidades de ganar. Cuando nos involucramos en una rifa en el colegio, un lanzamiento de ruleta en un casino, un concurso en redes sociales o in-

cluso al decidir quién paga la cuenta en un almuerzo, deseamos que el resultado sea verdaderamente al azar. Vivimos constantemente rodeados de procesos aleatorios, sistemas cuyo resultado final debiese ser impredecible. De hecho, dicha impredecibilidad intrínseca es lo que a menudo nos impulsa a participar en ellos, es la garantía que nos hace ver el proceso como justo.

Ahora bien, notemos que si el proceso aleatorio es totalmente impredecible,

significa que cualquier resultado es plausible. Entonces, ¿cómo podemos asegurar que el resultado no fue elegido anteriormente de forma deliberada? ¿Es posible distinguir entre un resultado aleatorio o un resultado definido “a dedo”? En escenarios como los antes descritos, esto puede llegar a ser un problema serio. Tal vez @pedritomaster77 no ganó el sorteo de esos chocolates por mera suerte, después de todo. Esto se vuelve más crítico en procesos de alta connotación, con



implicancias más importantes, como ser elegido para que auditen mis impuestos, ser seleccionado como vocal de mesa o perder una adjudicación aleatoria de fondos públicos. Las consecuencias de la desconfianza en tales escenarios pueden conllevar tiempo y costos significativos, además de un daño permanente a la confianza y a la reputación pública. Traer transparencia a dichos procesos de selección se ve necesario, pero a priori no es claro cómo lograrlo.

La aleatoriedad pública y verificable apunta a resolver dicho problema. Permite que cualquier persona pueda verificar el resultado y quedar así convencida de la correctitud del proceso —que nadie “metió mano”. El proyecto Random UChile se dedica a esta tarea, mediante el servicio denominado *faro de aleatoriedad*. El faro genera, cada minuto, un valor público e impredecible de 512 bits de largo, denominado *pulso aleatorio*.

¿Cómo funciona? Semillas y generadores pseudoaleatorios

Cuando uno solicita a un computador un número aleatorio, en realidad estamos solicitando un valor *pseudoaleatorio*. Este valor *pseudoaleatorio* es generado utilizando un algoritmo de generación pseudoaleatoria (o *Pseudo-Random Number Generator, PRNG*), el cual utiliza un valor inicial denominado semilla (ver Figura 1). Si el valor específico de la semilla es secreto, los números generados por dicho generador serán *impredecibles*. Sin embargo, si repetimos el mismo proceso en otro equipo, utilizando la misma semilla, los resultados generados serán exactamente los mismos. Por lo tanto, si se conoce la semilla utilizada, la impredecibilidad es sólo una ilusión. En particular, podría ocurrir que quien realiza el sorteo eligiese una semilla

Si el proceso aleatorio es totalmente impredecible, significa que cualquier resultado es plausible. Entonces, ¿cómo podemos asegurar que el resultado no fue elegido anteriormente de forma deliberada?



Figura 1. Descripción gráfica del funcionamiento de un generador pseudoaleatorio PRNG (*pseudorandom number generator*).

conveniente (previamente probada) que produzca el resultado que desea obtener. La elección y uso de una buena semilla es entonces crucial. Para usar un PRNG, los computadores intentan generar una buena semilla recolectando información aleatoria de su ambiente como, por ejemplo, los milisegundos entre teclas presionadas, la velocidad del ventilador, o la frecuencia de llegada de los paquetes de red, entre otros.

La idea de la aleatoriedad verificable es simple: en vez de establecer su propia semilla, la persona a cargo del sorteo se compromete a utilizar como semilla un futuro pulso aleatorio del faro de aleatoriedad. Si el valor de dicha semilla es impredecible, el resultado será también impredecible. Más aún, si el valor de la semilla del faro es subsecuentemente publicado, cualquiera podrá verificar dicho resultado. Esto impide que, de antemano, la persona a cargo del sorteo ajuste el resultado a un valor específico.

Origen de Random UChile

El proyecto Random UChile surge el año 2017, buscando implementar un servicio del tipo *randomness beacon*, siguiendo los lineamientos del National Institute of Standards and Technology (NIST), la principal agencia de estándares y tecnología de los Estados Unidos. El equipo investigador de NIST ya había puesto en marcha el primer faro de aleatoriedad un poco tiempo antes y buscaba levantar otros faros de aleatoriedad, en otras partes del mundo, con el objetivo de formar una red mundial distribuida y resiliente. Acogiendo esta llamada, el Laboratorio de Ciberseguridad y Criptografía Aplicada de la Universidad de Chile (CLCERT), en cooperación con NIST, crea Random UChile, el cual se diferencia del proyecto de NIST en dos aspectos importantes: (1) prioriza el uso de fuentes externas de

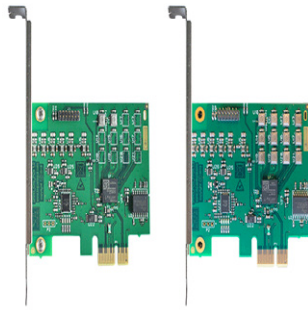


Figura 2. Un ejemplo de TRNG: un generador cuántico de números aleatorios (QRNG) con interfaz PCIe.

aleatoriedad, y (2) incorpora en su desarrollo el identificar activamente escenarios donde utilizar la aleatoriedad pública generada.

Fuentes de aleatoriedad

El faro de aleatoriedad basa su funcionamiento en una recolección continua de datos aleatorios a partir de distintas fuentes de entropía. La *entropía* es una medida matemática para saber “qué tan aleatorio es un proceso”, y se mide en bits. Por ejemplo, el lanzamiento de una moneda sin sesgo es un proceso aleatorio que contiene 1 bit de entropía (cara o sello). Por ello diremos que una persona que lanza una moneda sin sesgo, es una fuente que genera 1 bit de entropía cada vez que un lanzamiento ocurre. En general, las fuentes a utilizar son clasificadas en internas y externas.

Las fuentes internas son aquellas que residen dentro del servicio, como el dado por un módulo de *hardware* denominado *true random number generator* (TRNG), presentado en la Figura 2. Usando un proceso cuántico basado en la detección de fotones [1], este dispositivo produce un valor aleatorio cada vez que es invocado. Otra fuente interna es un *hardware security module* (HSM), el



Figura 3. Recolección y procesamiento de entropía a partir de fuentes externas.

cual contiene un generador basado en procesos físicos para generar valores aleatorios, en forma similar.

Las fuentes externas residen fuera y son completamente independientes del servicio. Por ejemplo, el faro recolecta entropía a partir del Centro Sismológico Nacional, vía su sitio web, observando las características del último sismo de magnitud superior a 2.5 registrado en Chile. También, el faro obtiene aleatoriedad del *streaming* de la Radio Universidad de Chile, capturando extractos de aproximadamente 5 segundos (aprox. 100 *kilobytes*) en base a un criterio de recolección fijo. La última fuente externa de aleatoriedad del faro es la *blockchain* de la criptomoneda Ethereum, desde donde extrae el *hash* asociado al último bloque registrado en la cadena. Para cada una de las fuentes, se calcula el valor procesado como el hash del valor “bruto” obtenido desde la fuente. La Figura 3 ilustra el proceso de extracción de entropía desde las tres fuentes externas.

El uso de fuentes externas entrega impredecibilidad. En palabras simples, “si no se puede predecir lo que se extrae de las fuentes, entonces no se puede predecir lo generado por el faro de aleatoriedad”. La información de sismos es (bajo ciertas condiciones) considerada impredecible, y similarmente la del últi-

mo bloque de una *blockchain* como la de Ethereum. El uso de la radio como fuente externa viene de la dificultad de predecir exactamente los bytes que emitirá el streaming durante una transmisión en vivo. Formalizar y cuantificar esta “dificultad de predecir” es un desafío importante y toma la forma de una estimación de la entropía asociada a cada fuente, por minuto. Este indicador, actualmente un trabajo en desarrollo, busca robustecer el sistema dando garantías en tiempo real del nivel de aleatoriedad de cada pulso generado.

Los datos aleatorios recolectados, tanto internos como externos, son combinados mediante un algoritmo criptográfico, para generar un único valor de salida, denominado *pulso aleatorio*. La impredecibilidad de todos estos eventos proporcionan una garantía de aleatoriedad (alta entropía) al pulso generado cada minuto.

Además de la generación de valores aleatorios y públicos, el faro de aleatoriedad implementa mecanismos que permiten la inmutabilidad de los valores generados, ofreciendo la posibilidad de verificar, en el futuro, la correcta generación de valores pasados, así como también poder consultar cualquier valor generado desde el principio de los tiempos.



El uso de fuentes externas entrega impredecibilidad. En palabras simples, “si no se puede predecir lo que se extrae de las fuentes, entonces no se puede predecir lo generado por el faro de aleatoriedad”.

¿Dónde utilizar la aleatoriedad pública?

Aplicaciones simples

En la vida cotidiana, la aleatoriedad producida por el faro puede ser utilizada para escoger una opción al azar dentro de un grupo de opciones, realizar sorteos por medio de redes sociales, o incluso como un dado de N caras en juegos de mesa. La principal ventaja de optar por esta fuente de aleatoriedad es que brinda legitimidad al proceso, permitiendo que cualquier persona pueda verificar el resultado. En el sitio web de Random UChile contamos con estas y otras aplicaciones, permitiendo la verificación del resultado por medio de un enlace o código QR.

Investigaciones científicas

El uso de aleatoriedad en investigaciones científicas es una práctica común para llevar a cabo experimentos o muestreos representativos. Sin embargo, la utilización de aleatoriedad “opaca”, o no transparente, dificulta la reproducción de resultados precisos. Peor aún, existe la posibilidad de que los datos utilizados hayan sido seleccionados de manera sesgada con el propósito de alterar los resultados en favor de ciertas conclusiones. Un ejemplo claro de esto se observa en la partición de un dataset para el entrenamiento y evaluación de modelos de *machine learning*, donde la falta de aleatoriedad puede influir en los resultados finales de manera injusta. En este contexto,

utilizar una fuente de aleatoriedad verificable y pública en el proceso de selección implica tomar una posición *activamente transparente*, al brindar una validación amplia y pública al proceso de experimentación, lo cual ayuda a mitigar posibles sesgos o manipulaciones indebidas de los datos.

Asignación de jueces y resolución de conflictos

La aleatoriedad verificable tiene un papel crucial en la prevención activa de conflictos de intereses en procesos públicos, evitando así los gérmenes de la desconfianza en tales procedimientos. Tomemos, como ejemplo, la asignación de jueces en casos judiciales: la posibilidad de que un juez tenga conexiones personales con una de las partes puede comprometer su imparcialidad. Sin embargo, al emplear la aleatoriedad verificable en este proceso, se garantiza transparencia y se asegura a la ciudadanía que la asignación se realizó de manera imparcial y objetiva. Un efecto similar tendría la asignación de jueces en la resolución de conflictos entre distintas entidades que desean, por ejemplo, registrar el mismo dominio web. En ambos casos, la presencia de un mecanismo público y verificable de aleatoriedad fortalece la legitimidad del proceso aleatorio y, en consecuencia, la confianza en su integridad.

Trabajos desarrollados

Dentro de las principales motivaciones de la generación de aleatoriedad verificable está el garantizar la correctitud

de procesos públicos, particularmente aquellos que utilizan el azar para la toma de decisiones de alta connotación. Random UChile ha sido partícipe de tres proyectos de esta categoría. El primero, está relacionado con la selección de auditorías fiscales en la principal entidad fiscalizadora estatal chilena. El segundo, buscó modificar la selección de vocales de mesa en votaciones, y, el tercero, dió credibilidad a la selección de ciudadanos para un proceso de deliberación pública. Los tres proyectos se describen a continuación.

Selección de Auditorías (CGR). La Contraloría General de la República (CGR) es el organismo encargado de fiscalizar el gasto fiscal en el país. Como tal, debe seleccionar periódicamente, y aplicando un factor aleatorio, a los empleados públicos que deben rendir auditoría y ser fiscalizados. Previamente a nuestro proyecto, al utilizar un método cerrado, no existían garantías de la aleatoriedad del proceso, por lo que los resultados bien podrían ser desacreditados como persecución política. En el marco del trabajo de tesis de Constanza Csori [2], Random UChile implementó un prototipo que apoyaba el proceso llevado a cabo por la CGR, seleccionando empleados públicos para ser auditados con base a la aleatoriedad pública del faro.

Vocales de Mesa (SERVEL). En procesos electorales recientes, la selección de vocales de mesa no ha estado exenta de polémica [3]. Si bien se supone que son seleccionados incorporando el azar dentro de cada junta electoral, en muchas de ellas el proceso no es transparente ni público. Considerando que una selección partidista para estos cargos puede generar desconfianza en el proceso e incluso abrir la puerta a corrupción, resulta imperativo brindar transparencia al proceso. En el marco de la memoria de título de Franco Pino [4], y con la colaboración de la junta electoral de Macul, se desarrolló un prototipo de selección verificable de voca-



Figura 4. Ilustración de “Las y Los 400: Chile Delibera”, por Fundación Tribu.



Figura 5. Diseño hecho por Cloudflare en 2019 para los miembros fundadores de la Liga de la Entropía. De izquierda a derecha se encuentran *ChaChaRand* de Kudelski Security, *Interplanetary Girl* de Protocol Labs, *LavaRand* de Cloudflare, *Seismic Girl* de Random UChile, y *URand* de EPFL.

les de mesa, utilizando como fuente de aleatoriedad el faro de Random UChile. La solución propuesta dotaría de transparencia al proceso de selección y ofrecería además un método de verificación público, de modo que cualquier ciudadano podría confirmar el nombramiento justo de los vocales de una mesa.

LXS 400. En 2019, la Fundación Tribu, en conjunto con el Centro para la Democracia Deliberativa de la Universidad de Stanford, impulsaron un proceso de deliberación pública donde alrededor de 400 personas discutieron temáticas de contingencia nacional (ver Figura 4).

El proceso de selección se llevó a cabo utilizando el faro de aleatoriedad de Random UChile, apuntando a obtener independencia, transversalidad y representatividad de los ciudadanos elegidos. En particular, se realizaron dos sorteos: primero, se seleccionó aleatoriamente 30.000 manzanas a lo largo de todo el territorio nacional, cuyos resultados se encuentran públicamente disponibles [5]; el segundo sorteo se realizó en conjunto con el Centro de Microdatos de la Universidad de Chile, el cuál definió las viviendas específicas que fueron seleccionadas para ser invitadas a participar de esta instancia.

Este último paso se realizó de forma privada, con el fin de mantener la privacidad de las personas invitadas.¹

Colaboraciones actuales

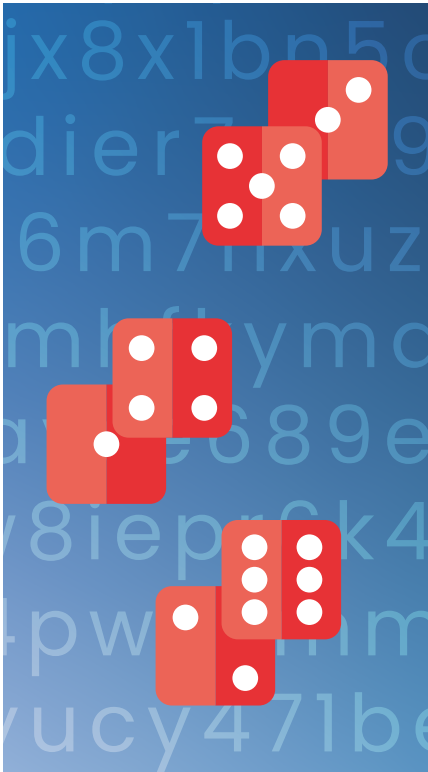
NIST

NIST publicó en 2019 el borrador de la referencia para faros de aleatoriedad [6], definiendo una versión 2.0 que apunta, principalmente, a la interoperabilidad entre distintos faros de esta índole. En la actualidad, tanto Random UChile como el Instituto Inmetro de Brasil y NIST, nos encontramos en un proceso de colaboración continua con el fin de impulsar una nueva versión de este documento. Esta nueva versión apunta a definir un estándar a largo plazo para guiar el surgimiento de nuevos faros de aleatoriedad en el mundo.

DRAND - Liga de la Entropía

DRAND (pronunciado *di-rand*) es un faro de aleatoriedad distribuido desarrollado en el laboratorio DEDIS de École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL). Este faro tiene la particularidad de que la generación de aleatoriedad se realiza de manera distribuida, donde cada uno de los participantes interactúa con los otros para ir generando, de manera periódica valores aleatorios. La instancia más importante de DRAND es La Liga de la Entropía, la cual está conformada por un conjunto de servidores alrededor del mundo, administrados cada uno por diversas organizaciones, que corren una instancia del protocolo DRAND. Cada uno de los nodos participantes contribuye con sus fuentes individuales de alta entropía para poder así generar números aleatorios, impredecibles y verificables. Random UChile forma parte de esta red desde sus inicios en 2019 (ver Figura 5).

¹ Aún así, la semilla aleatoria utilizada para esta parte era auditable en caso de que ello hubiera sido requerido y autorizado.



Tomemos, como ejemplo, la asignación de jueces en casos judiciales [...] Al emplear la aleatoriedad verificable en este proceso, se garantiza transparencia y se asegura a la ciudadanía que la asignación se realizó de manera imparcial.

Conclusiones finales

Muchos procesos aleatorios que encontramos en nuestra vida diaria utilizan una forma de aleatoriedad que no es fácil de verificar (valores escogidos al azar en forma opaca), lo que imposibilita disipar las dudas sobre si el resultado fue realmente aleatorio o si hubo manipulación. Esta falta de transparencia puede ser especialmente problemática en situaciones públicas o donde el resultado es de gran importancia, ya que

posibles conflictos de interés pueden sembrar desconfianza tanto entre los participantes como entre los observadores del proceso. Los faros de aleatoriedad, como el que ofrece Random UChile, buscan mitigar este problema proporcionando una fuente de aleatoriedad pública y verificable, llenando un vacío existente en nuestra infraestructura digital. Su existencia provee nuevos mecanismos para proveer transparencia e imparcialidad (y finalmente legitimidad) a procesos digitales previamente opacos, algo fundamental para construir confianza en nuestra sociedad digital. ■

BIBLIOGRAFÍA:

- [1] Quantis, "Redefining Randomness, True Random Number Generator". <https://www.idquantique.com/random-number-generation/products/quantis-random-number-generator/> (accedido 22 de mayo 2024).
- [2] Constanza Csori, "Achieving transparency in public decision making processes via verifiable randomness", Repositorio de tesis UChile, 2019. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/175080/Achieving-transparency-in-public-decision-making.pdf>.
- [3] Francisca Rivas, "Consejera del Servel explica por qué hay vocales de mesa que se han repetido tantas veces". Bío Bío Chile. 17 de diciembre 2023. <https://www.biobiochile.cl/noticias/sociedad/debate/2023/12/17/consejera-del-servel-explica-por-que-hay-vocales-de-mesa-que-se-han-repetido-tantas-veces.shtml>.
- [4] Franco Pino, "Elección de vocales de mesa con aleatoriedad verificable", Repositorio de tesis UChile, 2019. https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/173971/cf-pino_fc.pdf.
- [5] Resultados sorteo Lxs 400. Realizado 9 de diciembre 2020. <https://clcert.github.io/lxs400-sitio-resultados/>.
- [6] John Kelsey, Luís Brandão, René Peralta, Harold Booth, "A Reference for Randomness Beacons", Draft NISTIR 8213, 2019. <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/ir/2019/NIST.IR.8213-draft.pdf>.



Dataclima:

Avanzando en la gestión de datos
climáticos



FRANCISCA MUÑOZ BRAVO

Magister en Ciencias de la Computación por la Vrije Universiteit Brussel, Bélgica. Actualmente se desempeña como Jefa de Datos y Cómputos del Centro de Ciencia del Clima y Resiliencia (CR2) de la Universidad de Chile. Sus líneas de especialización son: gobernanza de datos climáticos, datos climáticos abiertos, acción climática basada en evidencia, visualización de datos y recuperación de datos históricos.

✉ franmuno@uchile.cl



MARÍA CECILIA BASTARRICA

PhD Computer Science and Engineering, University of Connecticut. Profesora Asociada del Departamento de Ciencias de la Computación de la Universidad de Chile. Académica a cargo del curso Proyecto de Software. Líneas de investigación: ingeniería de software, líneas de productos de software, mejora de procesos de software, desarrollo de software dirigido por modelos.

✉ cecilia@dcc.uchile.cl



RESUMEN. El Centro de Ciencia del Clima y Resiliencia (CR2) es un centro de investigación avanzado localizado en la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Alumnos de Ingeniería Civil en Computación han desarrollado una herramienta basada en un ChatBot implementado en Llama 3 que le permite disponibilizar sus bases de datos y herramientas a toda la comunidad científica y encargados de tomar decisiones de políticas públicas.

Centro de Ciencia del Clima y Resiliencia CR2

El Centro de Ciencia del Clima y Resiliencia CR2 (www.cr2.cl) financiado por ANID a través de su programa de centros de excelencia en áreas prioritarias (FONDAP), inició sus actividades el año 2013 y se espera que continúe por los próximos 5-10 años. Con la Universidad de Chile como institución patrocinante, y la Universidad Austral y la Universidad de Concepción como asociadas, el CR2 se ha establecido como un referente en la investigación climática y ambiental en Chile.

La investigación del CR2 está orientada a profundizar la comprensión del sistema terrestre a través de la ciencia, contribuir a aumentar la capacidad de resiliencia en Chile y apoyar la formulación de políticas públicas y decisiones informadas por evidencia científica. El Centro aborda cinco líneas de investigación: agua y extremos, cambio de uso de suelo, ciudades resilientes, gobernanza e interfaz ciencia-política, y zona costera. Además, maneja temas integrativos transversales, entre los cuales destaca actualmente la "carbono neutralidad". Recientemente, el centro ha completado proyectos sobre floraciones algales nocivas, seguridad hídrica, e incendios.



Figura 1. Plataformas públicas de CR2.

Además de generar publicaciones científicas, el CR2 contribuye abiertamente a la comunidad con la creación y mantenimiento de bases de datos y aplicaciones para servicios climáticos abiertos. Actualmente, el centro cuenta con más de 20 plataformas y bases de datos que contienen información sobre riesgos climáticos, mitigación y adaptación desde una perspectiva tanto física como social, disponibles para investigadores, tomadores de decisiones y el público general. Estas herramientas son un aporte para facilitar el acceso a datos relevantes al clima, resultados de investigación y apoyar las estrategias de adaptación y mitigación en respuesta a los desafíos del cambio climático.

Bases de datos

El trabajo de investigación demanda la gestión de grandes volúmenes de datos para su visualización y análisis, especialmente en el campo de las ciencias de la tierra.

En el caso de las ciencias sociales, los datos suelen ser muy complejos y difíciles de estandarizar. Estos datos están muchas veces dispersos y en una multiplicidad de formatos, lo que ha motivado al CR2 a compilarlos, etiquetarlos apropiadamente, estandarizarlos cuando es posible, y generar productos que los pongan a disposición del público en repositorios especializados.

Servicios climáticos

En el CR2 se han hecho importantes esfuerzos para comunicar la información e investigación científica a través de productos y aplicaciones útiles para diversos tipos de usuarios a nivel nacional. Estas plataformas no sólo proporcionan herramientas valiosas para los académicos del CR2, sino que también han sido abiertas a toda la comunidad. Constituyen uno de los legados más valiosos del centro y son un ejemplo

La investigación [climática] del CR2 está orientada a [...] apoyar la formulación de políticas públicas y decisiones informadas por evidencia científica.

destacado de interfaz ciencia-política y ciencia-sociedad civil. Estas plataformas son ampliamente utilizadas tanto por investigadores, servicios operativos y la comunidad en general, facilitando la comunicación entre estos distintos usuarios (ver Figura 1).

Destacamos el VisMet (vismet.cr2.cl) y el R-Explorer (reexplorer.cr2.cl), desarrollados por estudiantes de años anteriores del curso Proyecto de Software del Departamento de Ciencias de la Computación de la Universidad de Chile. VisMet (ver Figura 2) permite el acceso y visualización de datos meteorológicos en tiempo real (desde el año 2000 en adelante) provenientes de más de 800 estaciones en territorio nacional, operadas por diversas instituciones como DMC, DGA, AgroMet y CEAZA. Esta plataforma recibe más de 4000 visitas mensuales. Por su parte, R-Explorer es una herramienta más especializada que permite visualizar y descargar variables atmosféricas para momentos y áreas específicas, obtenidas del reanálisis atmosférico ERA5/ECMWF. Ambas plataformas se consideran referentes a nivel nacional en la publicación de datos climáticos relevantes con posibilidad de generar estadísticas, mapas y series de tiempo relacionados.

Dataclima

La gestión eficiente de datos climáticos es una parte fundamental para implementar las acciones dirigidas a mitigar y adaptarse al cambio climático.

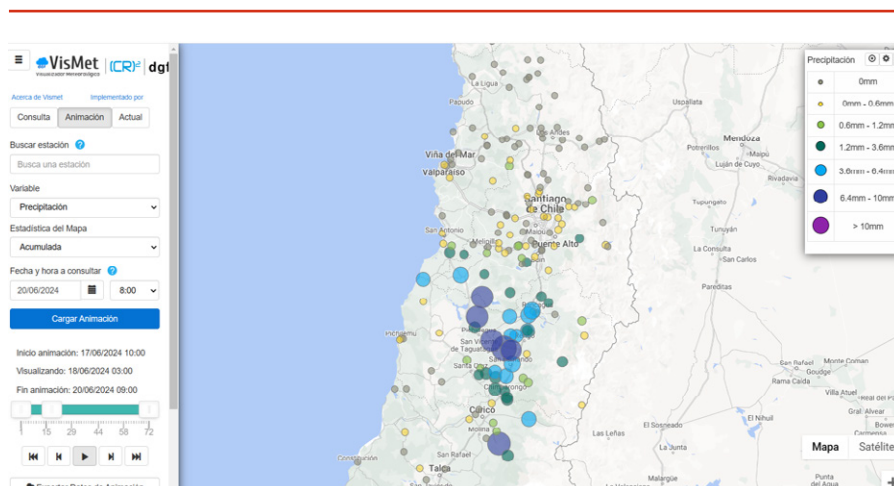


Figura 2. Plataforma VisMet.

Los datos relevantes incluyen no sólo aquellos que describen los cambios promedios del sistema terrestre o la caracterización de eventos extremos, sino también los que apoyan acciones climáticas como la evaluación, planificación y respuesta al cambio climático. Tradicionalmente debido a la complejidad y multiplicidad de actores, se ha observado la fragmentación y a veces duplicidad de esfuerzos, junto con falta de actualización y asignación de metadatos adecuados. Esto dificulta significativamente el acceso y la usabilidad (o reutilización) de la información.

A lo largo de sus 10 años de existencia, el CR2 ha contribuido al panorama con numerosas plataformas y bases de datos, que se suman a las ya existentes. Esta abundancia, sin embargo, puede resultar abrumadora, dificultando que tanto el público general como los investigadores de diversas disciplinas, encuentren la información que les permita trabajar de manera efectiva en la investigación o en el apoyo a la toma de decisiones.

En este contexto, es crucial simplificar la conexión entre las preguntas sobre los distintos ámbitos del cambio

climático, los riesgos asociados, las medidas de mitigación y adaptación relacionadas, y la información científica disponible. Además, identificar qué plataformas tienen objetivos similares o complementarios, y qué preguntas aún no pueden responderse con los datos o plataformas existentes, permite descubrir áreas clave a revisar o potenciar en investigaciones futuras.

De qué se trata el sistema

En primavera de 2023, un nuevo equipo del curso Proyecto de Software del Departamento de Ciencias de la Computación formado por Cristóbal Alcaíno, Lucas Amiión, Felipe Escárte, Christopher Marín, Michael Scott, Álvaro Toro y Néstor Valenzuela, abordó el diseño y construcción de esta herramienta en conjunto con el área de Datos y Cómputos del CR2.

Dataclima es una plataforma diseñada para mejorar la accesibilidad y comprensión de datos climáticos mediante la estandarización y compilación de metadatos, y el uso de un chatbot especializado. Este sistema facilita la exploración y análisis de datos climá-

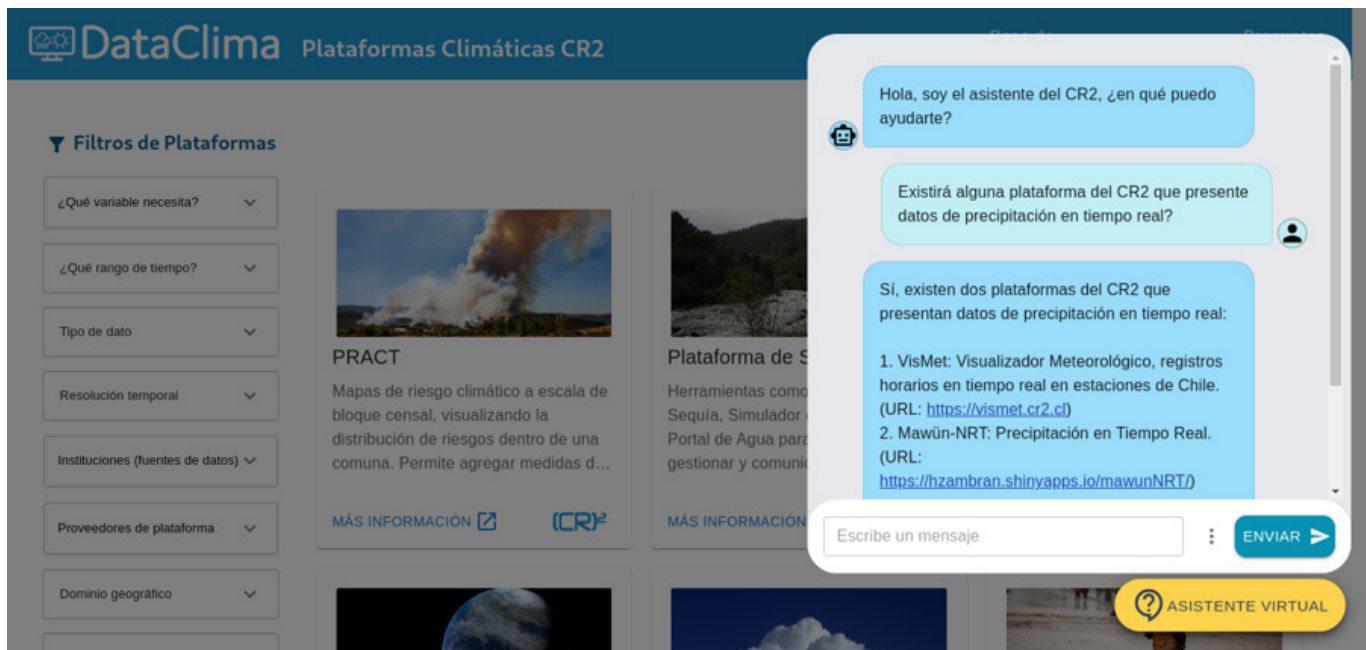


Figura 3. Chatbot de la plataforma Dataclima.

Dataclima es una plataforma diseñada para mejorar la accesibilidad y comprensión de datos climáticos.

ticos a través de la asignación y revisión de metadatos predefinidos, permitiendo a los usuarios relacionar sus áreas de interés específicas con bases de datos y plataformas relevantes. El chatbot ofrece recomendaciones personalizadas, mejorando la interacción y el aprovechamiento de los recursos disponibles (ver Figura 3).

La plataforma se enfoca en simplificar la búsqueda y el filtrado de fuentes importantes de datos climáticos, tanto nacionales como internacionales, contribuyendo a un proceso más amplio que busca optimizar el acceso a información pertinente sobre el cambio climático en Chile. Para la sección del chatbot interactivo, Dataclima.cl incorpora herramientas avanzadas de machine learning, como algoritmos que clasifican y agrupan contenido por similitud y

técnicas de procesamiento de lenguaje natural, para proporcionar recomendaciones precisas y adaptadas a las necesidades de los usuarios, facilitando así una interfaz más intuitiva y accesible para una amplia diversidad de usuarios.

Cómo está construido el sistema

Para implementar el chatbot de Dataclima se experimentó con diferentes modelos de lenguaje (LLMs), incluyendo APIs externas como la de OpenAI. Finalmente, se optó por el recientemente presentado Llama 3, desarrollado por Meta, ya que es de código abierto y se puede ejecutar de manera local. Sin embargo, esto requirió la adquisición de una nueva tarjeta gráfica Nvidia T4 que se pudiera dedicar exclusivamente a la ejecución

del modelo de lenguaje. Esto resulta indispensable para poder usar el modelo Llama 3 de forma fluida.

Se utiliza la técnica de Retrieval Augmented Generation (RAG) para lograr que el chatbot responda adecuadamente a las preguntas de los usuarios, utilizando como bases una serie de documentos de texto que contienen la información sobre las plataformas y bases de datos climáticas almacenadas en Dataclima. Esta técnica se basa en primero calcular los *embeddings* de cada uno de los documentos, es decir, estructuras vectoriales multidimensionales que capturan el significado semántico de los datos. Estos *embeddings* son almacenados en una base de datos vectorial diseñada para recuperar rápidamente los documentos más relacionados con cada consulta del usuario, disminuyendo así la cantidad de información relevante que debe considerar el modelo de lenguaje natural para elaborar su respuesta. En este caso se utilizó el modelo



[Dataclima] también apunta a fomentar la transparencia y trazabilidad en la toma de decisiones.

Multilingual-E5-large para el cálculo de *embeddings* y FAISS como base de datos vectorial, ya que ambos son de código abierto. Toda esta lógica es manejada mediante la librería Langchain.

Cómo luce la plataforma

Una de las características destacadas de la plataforma es la herramienta de filtro, ubicada a la izquierda de la pantalla, que permite a los usuarios mejorar la información de las plataformas seleccionadas, ya que se pueden escoger múltiples criterios a partir de la información requerida, actualizando en tiempo real las plataformas que cumplen con dichos criterios.

Además, Dataclima cuenta con un WebSocket que se conecta directamente

al chatbot, el cual está preconfigurado para manejar consultas específicas sobre las plataformas y bases de datos del CR2 y sus instituciones asociadas. Esta funcionalidad enriquece la experiencia de los usuarios, entregando recomendaciones interactivas, permitiendo a los usuarios ajustar y refinar sus consultas en tiempo real para explorar diferentes aspectos en los temas de interés.

Valor e impacto

Dataclima espera facilitar el acceso a un subconjunto relevante dentro de un repositorio “curado” de información climática. También apunta a fomentar la transparencia y trazabilidad en la toma de decisiones. Al consolidar datos de diversas fuentes en un repositorio estandarizado, la plataforma espera que cada usuario pueda comprender el origen y la metodología detrás de los datos que consulta. Esto no sólo promueve la reutilización e integración de datos, sino que también facilita la identificación de oportunidades de colaboración en diversas disciplinas y en distintos niveles, desde lo local hasta lo internacional.

Curso Proyecto de Software

Dataclima es una herramienta de alta relevancia para potenciar el impacto del CR2 en la comunidad científica. Tal como ocurre con Dataclima, cada semestre, alumnos del último año de la carrera de Ingeniería Civil en Computación abordan la construcción de herramientas de software de distintas organizaciones (portalpsw.dcc.uchile.cl). Desde hace más de 20 años, los equipos de alumnos han desarrollado aplicaciones para empresas públicas o privadas, fundaciones, institutos de investigación o distintas reparticiones de la Universidad de Chile.

El Departamento de Ciencias de la Computación está involucrado de forma permanente con la industria chilena del software desarrollando soluciones de muy alta calidad, complejidad e impacto. ■

Agradecimientos.

Agradecemos a Sebastián Villalón y Lucas Amián, ingenieros de datos y plataformas de CR2, por su participación en el trabajo y escritura del artículo.



Colonialismo de Datos



CLAUDIO GUTIÉRREZ

Ph.D. Computer Science por la Wesleyan University. Magíster en Lógica Matemática por la Pontificia Universidad Católica de Chile. Licenciado en Matemáticas por la Universidad de Chile. Profesor Titular del Departamento de Ciencias de la Computación de la Universidad de Chile. Investigador Senior del Instituto Milenio Fundamentos de los Datos. Líneas de investigación: fundamentos de los datos, ciencia de datos, lógica aplicada a la computación, semántica de la Web.

✉ cgutierr@dcc.uchile.cl



RESUMEN. El siguiente artículo analiza cómo las grandes empresas de datos, como Google y Meta, actúan de manera similar a los estados coloniales al capturar y explotar datos personales. Este “colonialismo de datos” se caracteriza por la centralización y el uso de datos humanos, a menudo sin el conocimiento de quienes les proveen los datos, reflejando los métodos de explotación del modelo colonial. También describe la infraestructura que estas empresas han desarrollado para capturar, almacenar y analizar datos, y la falta de regulación y la asimetría de poder entre estas compañías y de quienes les proveen los datos. Se sugiere la necesidad de modelos alternativos y regulaciones que devuelvan el control de los datos a las personas, con iniciativas como el proyecto SOLID de Tim Berners-Lee, que busca mejorar la privacidad y la propiedad de los datos personales.

“Colonialismo” parece ser un término sacado de una discusión política sesentera. La RAE lo define como “régimen político y económico en el que un Estado controla y explota un territorio ajeno al suyo”. La noción es fácil de ejemplificar con casos icónicos: los tres siglos coloniales de España en Latinoamérica; Inglaterra en la India; Francia, Alemania, Bélgica y varios más en África; etc.

Este modelo de apropiación, uso y centralización de recursos ajenos ayuda

mucho a entender un fenómeno muy actual: la lógica de funcionamiento de grandes compañías de datos, organizaciones muy diferentes a los Estados, aunque más poderosos que muchos de ellos.¹ Es la metáfora que aprovechan Couldry y Mejías en su tesis de “colonialismo de datos” [1] y que presentamos en este artículo.

Datos y compañías de datos

Una compañía o empresa de datos (ED) es aquella donde los datos están al centro de sus operaciones, cuya fuente de negocios es la captura, almacenamiento, análisis y generación de valor a partir de datos de las personas y sus actividades. Buenos ejemplos de grandes EDs son Google, Amazon, Meta, Oracle, Microsoft, Apple, Alibaba, Tencent, Baidu, etc.²

La empresa tradicional es una organización que combina un conjunto de factores para producir un bien o servicio para la venta en el mercado. Esos factores tradicionalmente son la tierra, el trabajo y el capital; muy pronto se le agregó la “capacidad empresarial” (tecnología, conocimientos, organización). Las empresas de datos como las mencionadas, aparentemente destacan por esto último (de hecho, ellas se autopromocionan así). Sin embargo, su característica principal es su “materia prima”: los datos, que conforman la esencia de su flujo productivo y de servicios. Y técnicamente los datos los generan los usuarios. Entonces, ¿a qué factor productivo corresponden los datos? Son

“tierra” o “trabajo” o “capital”? Mucho del debate sobre cómo considerarlos tiene que ver con esta pregunta.

Tradicionalmente los datos eran “naturaleza” (“tierra” en lenguaje de los factores de producción). Obtener conocimiento por medio de datos (llamadas “observaciones”) está en el corazón de los inicios del método científico y de la tecnología en la producción industrial. Francis Bacon, uno de sus impulsores, sostenía por ello que “el conocimiento (obtenido de los datos) es poder”. El método se desarrolló durante varios siglos siempre considerando los datos como un asunto “natural”, una propiedad de la naturaleza que los científicos lograban “arrancarle”.

Bastante más tarde, durante el siglo XX, se comenzó a “recoger” (y procesar) sistemáticamente datos sociales y de humanos, esto es, estadísticas de Estado y población.³ Se desarrollan métodos estadísticos, así como preocupaciones técnicas y metodológicas para tratarlos. Y entrado el siglo XX comienzan tímidamente las preocupaciones éticas (con el mundo de las encuestas, los “trabajos en terreno” de los antropólogos, etc.) [4].

Pero el gran salto comienza con la “automatización” del tratamiento de datos, debido a avances tecnológicos como computadores, sensores, redes, digitalización de imágenes, audio y video, etc. Sin embargo, el real “boom” de los datos tiene que ver con la creación de la Web a comienzos de 1990, un espacio que posibilitó y facilitó que diferentes personas y organizaciones pudieran comunicarse por medio de ella en relaciones de amistad, comerciales, de

- 1 No abordamos aquí las facetas de soberanía (a nivel de naciones) que involucra este fenómeno, tanto de los datos como de las grandes empresas de datos. Ver por ejemplo [2,3].
- 2 Cuando hablamos de grandes, hablamos de su infraestructura de hardware, software y de su personal. Por ejemplo, Meta tiene 80.000 empleados full time. Amazon emplea sólo en Estados Unidos alrededor de un millón de personas.
- 3 Desde siempre los Estados recogieron datos de su población para impuestos, fines militares, etc., pero no eran objetos que recibieran atención sistemática per se.



Entonces los datos más requeridos por las grandes empresas de datos comenzaron a ser los de humanos.

trabajo, etc. En esa infraestructura universal circulaba la “sangre” de esas comunicaciones: los datos. El paso siguiente consistió en capturarlos y almacenarlos y así nacieron las grandes empresas de datos (ver Figura 1).

La novedad es que el grueso de la actividad de estas empresas de datos se ha concentrado en cierto tipo de datos. Para efectos pedagógicos (la realidad es más sutil) podemos organizarlos en dos dimensiones: datos de la naturaleza versus datos (de los) humanos por un lado⁴, y datos explícitos versus datos tácitos por el otro.⁵

Los datos más requeridos por las grandes ED comenzaron a ser los de humanos y tácitos. Primero, no es gran sorpresa que todos los datos interesantes giren alrededor de lo humano, directa o indirectamente. Un dato geográfico —piénsese en las grandes exploraciones— es “valioso” en tanto sirva para mapear el territorio; un dato meteorológico para la actividad diaria o indirectamente para la agricultura, el transporte, etc., esto es, usos o impacto finales sobre los humanos. Sin embargo, son los datos humanos, aquellos que permiten “conocer” e incidir directamente sobre los humanos, los que han ido tomando

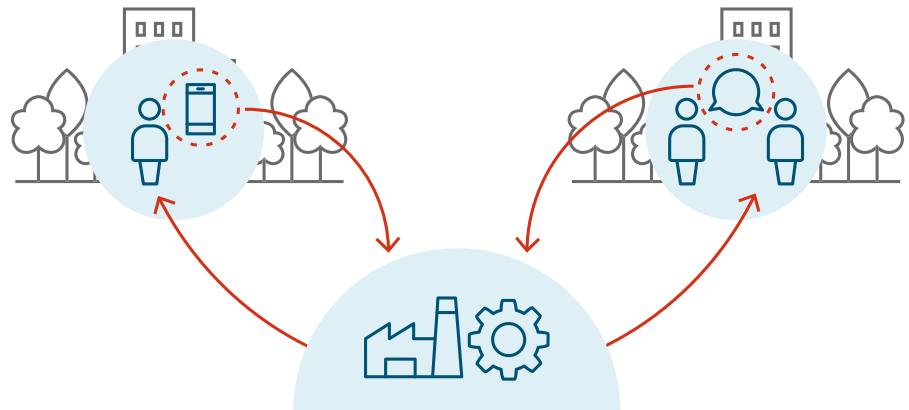


Figura 1. Las grandes empresas de datos y sus “materias primas”.

el centro de la atención. Y mejor si son tácitos, esto es, capturados sin que los sujetos lo adviertan, pues de esa forma capturan el “funcionamiento en modo automático” de personas y grupos sociales, los hábitos, las costumbres, su interacción con aparatos (el Internet de las cosas), etc. sin tener el sesgo de la respuesta “pensada”, “consciente”. Esos datos son realmente el “nuevo petróleo” de las grandes compañías y son complementados con los de transacciones comerciales, financieras, administrativas y legales.⁶ Y los siguen aquellos que directamente inciden en la sociedad y la economía humanas (datos agrícolas, meteorológicos, geográficos, de recursos naturales, etc.). A todo lo anterior, podríamos agregarle una tercera dimensión: datos estructurales o estáticos, versus datos funcionales o dinámicos. Los primeros son relevantes, pero absolutamente insufi-

cientes pues se necesita su dinámica, su “fisiología”.

Para aprovechar este “nuevo petróleo” (los datos), una ED requiere una infraestructura que revisaremos brevemente. No abordamos aquí el relevante tema de las regulaciones, sobre todo de los datos de humanos, que son una materia que sólo recientemente se ha comenzado a incorporar.

Cuatro facetas esenciales de una ED

Veamos cómo los datos ocurren en el flujo de producción de esas compañías (y en muchas otras de menor envergadura). Como decíamos, su modelo de negocio es la creciente captura, control

4 En lo que sigue hablaremos directamente de “datos naturales” y “datos humanos”. Esto puede confundir, pero queremos resaltar la contraposición natural–humano. Los datos de humanos realmente se refieren a datos que involucran o son generados —conscientemente o no— por los humanos (su cuerpo, su mente, sus actividades) directamente: datos biométricos, datos de actividad corporal, de gustos, de sentimientos, razonamiento, relaciones sociales, etc. Particularmente los datos del lenguaje son hoy cruciales para los modelos de inteligencia artificial generativos.

5 No confundir esta dimensión con el consentimiento. Dar consentimiento es permitir consciente y expresamente la entrega de datos. Ese consentimiento puede ser para captura de datos explícita (ejemplo: responder una encuesta) o tácita (ejemplo: permitir que lo filmen mientras desarrolla alguna actividad).

6 Sobre la deriva de cómo las grandes ED consideran estos datos, ver [5].



y explotación de los datos de las personas, grupos sociales y organizaciones. En esta lógica, una empresa de datos consta de cuatro unidades indispensables (ver Figura 2).

1. Infraestructura para capturar, conseguir, datos.

Dada la centralidad de los datos de humanos, desde el punto de vista técnico esto significa, por una parte, la posibilidad de llegar a cada una de las personas (su individualidad), y por otra, capturar sus interacciones. Veámos que la red universal (Internet y la Web) es clave pues allí circula una gran (cada día mayor) parte de las interacciones humanas y datos de individuos. Las grandes ED comenzaron sus negocios ofreciendo servicios para aplicaciones en la Web. De capturar en sus inicios datos de sus usuarios para mejorar sus procesos y servicios, muy pronto advirtieron que hacerse de esos datos que circulaban era un tremendo negocio. Y poco a poco cambió su eje de actividades: de capturar datos para mejorar servicios a desarrollar servicios para capturar datos.

Así, de esos orígenes “modestos” se escaló a la idea de capturar digitalmente toda posible faceta de la realidad y de la interacción social, sea dato simple, texto, imagen, sonido, video. Las apps y los aparatos digitales, que resuelven problemas de la gente u ofrecen nuevas actividades, en ese proceso capturan sus interacciones con ellos, esto es, sus maneras de comportarse ante diferentes situaciones, como vitrinear un producto, el proceso de compra, de elección, los horarios de actividad, los

Y poco a poco cambió su eje de actividades: de capturar datos para mejorar servicios a desarrollar servicios para capturar datos.

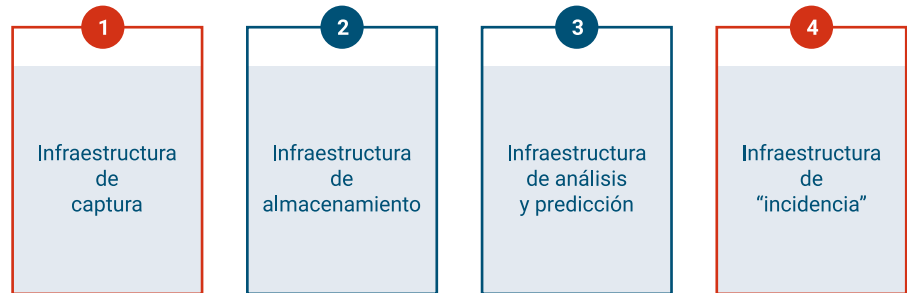


Figura 2. De estas cuatro facetas, la (1) y la (4) son las claves, las que hacen la novedad y son las que “rozan” con la legislación; (2) y (3) son indispensables, pero son soporte para las otras dos.

gustos, las relaciones sociales de amistad, de trabajo, de amor, las expresiones artísticas, científicas o políticas, los juegos y distracciones, etc.⁷

Las presiones por parte de estas ED sobre la neutralidad de la red (de Internet) y de los protocolos y estándares de la Web han sido brutales.⁸ Aquí se confabulan empresas de datos con proveedores de servicios de internet (ISP) y compañías telefónicas [6].

2. Infraestructura para integrar, almacenar, organizar y disponibilizar datos.

Estas grandes EDs no serían posibles sin una integración de los datos capturados. Esta centralización descomunal

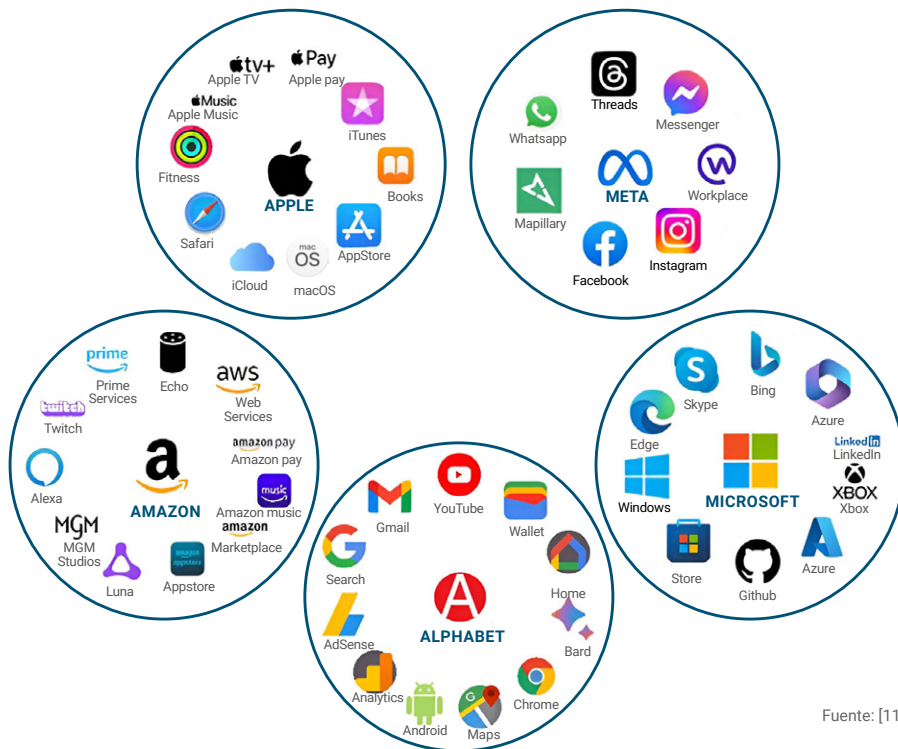
se da tanto a nivel privado (por ejemplo, Estados Unidos) como a nivel estatal (por ejemplo, China). Se requiere una capacidad casi inimaginable de hardware, software y sistemas para coordinar las miles de millones de fuentes, de integrarlas coherentemente, de organizarlas para sus diferentes usos.⁹

Esas colosales infraestructuras muestran el abismo que se ha ido creando entre las grandes compañías y el resto de las organizaciones como universidades, agencias de gobierno, empresas medianas y pequeñas, y por supuesto, los usuarios finales. Sus centros de datos son un buen ejemplo: son una red global que involucra millones de servidores distribuidos en todo el mundo (en decenas de países) para asegurar baja latencia y alta disponibilidad. Esta

7 Shoshana Zuboff le ha llamado a este proceso el paso al “capitalismo de vigilancia” [7, 8]. Destaca 5 maneras de extraer datos hoy: (1) de transacciones económicas mediadas por computadores; (2) sensores incrustados en objetos, cuerpos y lugares; (3) bases de datos de corporaciones y agencias de gobierno; (4) vigilancia pública y privada a través de cámaras, celulares, satélites; y (5) actividades de usuarios de juegos, búsquedas, música, redes sociales, etc.

8 El principio de neutralidad de la red establece que los ISPs (Proveedores de Servicios de Internet) traten todo el tráfico en línea igual y de manera abierta, sin discriminación, bloqueo, limitación o priorización.

9 <https://www.statista.com/topics/4213/google-apple-facebook-amazon-and-microsoft-gafam/>.



Fuente: [11]

Figura 3. Infraestructura digital de servicios provista por las grandes EDs.

“nube” de centros de datos también es usada para prestar servicios a empresas y gobiernos en todo el mundo. Almacenan y trabajan con datos del orden de los exabaytes.¹⁰ A todo ello hay que sumarle la gestión y organización del almacenamiento, la redes de comunicaciones, la capacidad de disponibilizar estos datos.

Sobre esta faceta de infraestructura, existen también iniciativas públicas (algo más modestas) que provienen sobre todo del mundo de los sistemas de

información, en la forma de repositorios abiertos de organizaciones y de gobiernos.¹¹ La idea es disponibilizar datos con las correspondientes regulaciones para que cumplan estándares de calidad y queden al servicio de todos y no sólo de quienes tengan poderes particulares. Se han generado muchos estándares para ello como FAIR,¹² OASIS,¹³ certificaciones como CoreTrustSeal,¹⁴ y los principios TRUST (transparencia, responsabilidad, foco en usuarios, sostenibilidad, tecnología adecuada) [9].

3. Analítica para predecir (futuro) en diferentes facetas.

No basta con almacenar los datos. Las grandes EDs usan sofisticadas técnicas estadísticas, de optimización y computacionales para analizar esos datos en lo que se conoce como “analítica” de datos. Es una combinación de poderosa infraestructura computacional de hardware y software, con sofisticadas técnicas de optimización y herramientas estadísticas que han permitido “entrenar” gigantescas redes neuronales con complejas arquitecturas y fantásticas cantidades de datos de entrenamiento.

Un buen ejemplo son los datos necesarios para entrenar LLMs (*Large Language Models*). La iniciativa Common Crawl ha sido muy relevante en ello.¹⁵

El software base que usan es generalmente abierto (sus servidores corren Linux y Apache), sus centros de datos usan MySQL y otros lenguajes abiertos, el software de procesamiento de datos como Hadoop, Spark, etc. es conocido y abierto. Aunque todo esto está teóricamente al alcance de todos, la escala que se requiere está lejos de poder alcanzarse por cualquier organización o universidad hoy día. También aquí las grandes EDs lideran en sus servicios [10].

4. Infraestructura de servicios para “aplicar” esas predicciones en diferentes ámbitos.

De lo que trata el negocio es una vez analizados los datos, poder “volver” a

10 Un notebook tiene capacidad para almacenar varios terabytes; para almacenar un petabyte necesita 1.000 de esos notebooks; para almacenar un exabyte necesitaría un millón de notebooks adecuadamente integrados. Un data center está limitado por capacidades físicas de refrigeración y energía.

11 Un buen ejemplo es el European Open Science Cloud (EOSC): <https://eosc-portal.eu/>.

12 Wilkinson, M. D. et al. The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. *Sci. Data* 3, 160018 (2016).

13 Reference Model for an Open Archival Information System (OAIS). Recommended Practice CCSDS 650.0-M-2. Consultative Committee for Space Data Systems, (2012).

14 CoreTrustSeal, <https://www.coretrustseal.org/why-certification/certified-repositories/> (2020).

15 <https://commoncrawl.org/>.



De lo que trata el negocio es una vez analizados los datos, poder “volver” a los usuarios con recomendaciones y sutiles maneras de conducirlos y orientarlos.

los usuarios ya sea con recomendaciones y sutiles maneras de conducirlos y orientarlos. Esta es la característica que materializa el “poder” de los datos. Estos “servicios” se enlazan con el sistema de captura de datos. En la Figura 3 se muestra la infraestructura digital de servicios provista por las grandes EDs.

Todo lo anterior comenzó de una manera “ingenua”: en Google y Amazon usando los clicks de los usuarios para determinar de mejor manera preferencias. En Facebook y Twitter usando las relaciones y comunidades que se iban formando entre los usuarios para mejorar el servicio y atraer más usuarios. En los diversos juegos, aprovechando los datos que dejaban los jugadores para diseñar nuevas funcionalidades. Todo muy “ingenuo” y “sano”... Pero en paralelo fue creciendo la industria del aprovechamiento de ese conocimiento del comportamiento de los usuarios para otros fines: desde la creación de nuevos productos, la ubicación y formas adecuada de la propaganda; hasta los usos políticos como en el escándalo de Cambridge Analítica.¹⁶

En una primera época, todo este proceso se realizaba sin ninguna regulación pues los datos eran asunto nuevo. Hoy se dan fuertes disputas con las empresas de la competencia, con las regulaciones de Estados (como las de la EU),¹⁷ y con las organizaciones de usuarios que están haciéndose conscientes del tema. Suficiente para los datos. Vamos al colonialismo (de datos).

Colonialismo de datos

La expresión “colonialismo de datos” fue popularizada por los investigadores Couldry y Mejías [1, 12]. La resumen así: “Se está construyendo un nuevo orden a través de la extracción continua de datos de nuestras vidas sociales”. Y entonces sostienen que este proceso, “esta cuantificación de lo social representa un nuevo movimiento colonial. Aunque los modos, intensidades, escalas y contextos de desposesión han cambiado, el impulso subyacente del colonialismo de datos actual sigue siendo el mismo: adquirir “territorio” y recursos de los que el capital pueda extraer valor económico” [1].

Lo crucial del colonialismo es la diferencia entre el colonizador y el colonizado, entre quien ejerce el poder y se apodera de los recursos, y quienes tienen pocos recursos y poder y permanecen desposeídos. En el ámbito digital, es una dimensión mucho más profunda que la “brecha digital”, que se definía como una “desigualdad en el acceso” entre grupos sociales, pero donde aparentemente quienes tenían más acceso no “explotaban”, no vivían de, quienes tenían menos acceso. Hay brecha entre quienes tienen acceso a los grandes conciertos en una ciudad capital, y los habitantes de un pueblo donde no llega nadie. Pero es difícil argumentar que aquellos explotan a éstos, que desarrollan su actividad “gracias” a la desposesión de los otros.

En el terreno de lo colonial, el “éxito” del colonizador no puede realizarse sin los recursos del colonizado y el uso de la coacción, sea física o económica. Es una relación directa, inmediata. El éxito de una compañía azucarera belga estaba en directa relación con la miseria, la desposesión y la sujeción de los esclavos en las colonias caribeñas. El éxito de las compañías inglesas del estaño estaba directamente ligado a la explotación de los mineros bolivianos.

Lo novedoso de las compañías coloniales de datos es que, aunque viven de los datos de sus “usuarios”, se enmarcan en un tipo de “contrato” donde pareciera haber un acuerdo entre quien entrega sus datos y quien se los apropia. A cambio del uso de una app, del correo, de una red social, etc. el “usuario” acuerda entregar sus datos a la compañía. El “éxito” de la compañía no está (al menos inmediatamente) relacionada con la desposesión del usuario. Algunas veces al contrario: el usuario parece salir beneficiado con este “contrato” (pongo las comillas, pues es un contrato muy asimétrico: no hay negociación, sino reglas que deben ser aceptadas si uno quiere entrar en ese sistema). Esto es lo complejo del nuevo modelo.

El gran “truco” de magia¹⁸ de esas compañías consiste en aprovechar la esencia de lo que es un dato: una marca, algo inocuo, muchas veces inservible, que no afecta (directamente) la materialidad del objeto del que se obtiene, pero que en contextos adecuados, obtiene todo su valor. Así la empresa aparece recogiendo “basura” (marcas “inútiles”), que una vez reunidas con otras, con contextos adecuados, y procesados con técnicas estadísticas y analíticas sofisticadas, sus resultados pueden ser aprovechables para incidir o para afectar (negativa

16 <https://bipartisanpolicy.org/blog/cambridge-analytica-controversy/>.

17 La más conocida de las regulaciones directamente aplicables a los datos es la GDPR europea, que es de 2018. https://commission.europa.eu/law/law-topic/data-protection/data-protection-eu_es.

18 La esencia del arte del mago es distraer la atención con algo llamativo, para así poder hacer pasar desapercibido lo relevante que está haciendo y producir el efecto “mágico” cuyo proceso de generación nadie advertirá.



Couldry y Mejías sostienen que el colonialismo “tradicional” posee cuatro características claves [...]. No es difícil advertir que es exactamente lo que ocurre hoy en el mundo digital de los datos sociales.

o positivamente) al objeto del cual se obtuvieron. En tiempos del método científico “natural” nada de esto importaba. Sacar las muestras de un árbol para estudiar sus propiedades, analizarlas, y luego volver con algún producto o técnica para incidir sobre su crecimiento, producción, etc. no aparece como abusivo. Cuando en vez de árboles, tratamos con humanos, el asunto cambia.

Desde siempre está mal o prohibido por ley “afectar” a otras personas. ¿Cómo se logra esquivar esto en el mundo de los datos? Aprovechando (y desarrollando) el sentido común (de otra época) de que los datos no son relevantes, una “ideología” que permite que esta actividad se vea como una más, e inocua para las personas. Más aún, que esto se vea como “natural”. Ello se aprovechaba usando la asimetría de información y poder. El jurista nazi Carl Schmitt justificaba así el colonialismo: “El descubrimiento europeo de un nuevo mundo en los siglos XV y XVI no se produjo, pues, por casualidad [...] fue un logro del recién despertado racionalismo occidental [...]. Los indios carecían del poder científico de la racionalidad cristiano-europea. La ventaja intelectual estaba totalmente del lado europeo, hasta el punto de que el Nuevo Mundo pudo ser simplemente ‘tomado’ “ [12]. Nos interesa quedarnos con el fondo del argumento: en algunos momentos de la historia, ciertos grupos, organizaciones o países tienen alguna “ventaja” por sobre otros, lo que les per-



mite simplemente “tomar” los recursos de otros. Hoy, las grandes ED quienes tienen los recursos, usan el “sentido común” de la gente y no perturban “aparentemente” a nadie, y de esa forma pueden hacer sentir que sus actividades son naturales. Más aún, para muchos (como para Schmitt el colonialismo) sería un “premio” a sus “logros” tecnológicos.

Couldry y Mejías sostienen que el colonialismo “tradicional” posee cuatro características claves: (I) la apropiación de recursos; (II) la formación de nuevos órdenes sociales; (III) una concentración extrema de la riqueza; y (IV) la creación de ideologías para justificar las prácticas de apropiación. No es difícil advertir que es exactamente lo que ocurre hoy en el mundo digital de los datos sociales. Sostienen que lo que está en juego hoy es la apropiación de la vida social más que territorios y riquezas materiales como antes. Y concluyen: “Aunque los modos, intensidades, escalas y contextos de desposesión han cambiado, el impulso subyacente del colonialismo de datos actual sigue siendo el mismo: adquirir “territorio” y recursos de los que el capital pueda extraer valor económico” [1]

(traducción realizada gratuitamente con el traductor DeepL.com, previa entrega de mis datos...).

A manera de conclusiones

Estamos viviendo tiempos interesantes (como dice el adagio chino). Entrando en un nuevo mundo lleno de posibilidades, pero amenazados también por prácticas conocidas que apropian esas posibilidades para dirigir las en función de intereses estrechos.

Hemos mostrado los problemas derivados del colonialismo de datos. ¿Cuáles son las alternativas no sólo para evitarlo sino para desarrollar modelos alternativos? Hay iniciativas muy interesantes al respecto. Una de ellas es el proyecto SOLID que lidera Tim Berners-Lee, el creador de la Web como espacio universal distribuido. SOLID es un proyecto que apunta a “cambiar radicalmente la manera en que las aplicaciones en la Web funcionan hoy, para que se tenga una real propiedad de los datos (personales) y



una mejora de la privacidad”.¹⁹ Esencialmente es “un conjunto de convenciones y herramientas para construir aplicaciones descentralizadas basados en principios de datos enlazados”. Hay muchas iniciativas como éstas, pero son bastante desconocidas por el gran público.

Es importante recordar que el modelo colonial no sólo conlleva la extracción de recursos, sino un marco de poder para impedir el desarrollo de otros modelos. Por ello es importante preguntarse: ¿cuáles son los desarrollos en que podemos ayudar? Probablemente lo central son aplicaciones que permitan que los usuarios (personas, organizaciones, comunidades) tengan control sobre sus propios “recursos”, esto es, sus datos. En salud, la ficha única electrónica;

en política y administración, el gobierno de datos y las infraestructuras distribuidas, en inteligencia artificial, los LLMs abiertos; en publicación de datos, los mecanismos de lo abierto, de lo común, de la privacidad diferencial, etc.

Para terminar, van aquí algunas sugerencias sobre maneras de enfrentar el colonialismo de datos²⁰:

1. Identificar las maneras en las cuales los procesos de datificación están operando en su vida diaria.
2. Aborde el mundo de los datos como un bien común y eduque a sus comunidades en las posibilidades y las limitaciones y peligros del nuevo mundo de los datos.

3. Apoye las legislaciones y políticas que regulen los abusos de las plataformas, la concentración de mercados en el área, la profundización de las brechas digitales.
4. Promueva alternativas de gobernanza sobre los datos a nivel de organizaciones, comunidades y gobierno.
5. Desarrolle herramientas y modelos alternativos que aborden los problemas que generan para la población las arquitecturas centralizadas de las grandes compañías.
6. Preocúpese de los trabajadores que quedan en desventaja debido a los cambios que genera la economía de datos. ■

REFERENCIAS

- [1] Couldry, Nick; Mejías, Ulises. The Costs of Connection How Data Is Colonizing Human Life and Appropriating It for Capitalism. En castellano: El costo de la conexión. Edic. Godot.
- [2] Ávila Pinto, Renata. (2018). Digital sovereignty or digital colonialism. *Sur International Journal on Human Rights*, 15(27), 15-28.
- [3] Gu, H. Data, Big Tech, and the New Concept of Sovereignty. *J OF CHIN POLIT SCI* (2023). <https://doi.org/10.1007/s11366-023-09855-1>.
- [4] Alain Desrosieres. *The Politics of Large Numbers. A History of Statistical Reasoning*. Harvard Univ. Press, 1998.
- [5] Birch, K., Cochrane, D., & Ward, C. (2021). Data as asset? The measurement, governance, and valuation of digital personal data by Big Tech. *Big Data & Society*, 8(1). <https://doi.org/10.1177/20539517211017308>.
- [6] La batalla por un Internet abierto. Políticas de la FCC y sus efectos. <https://fastercapital.com/es/contenido/La-batalla-por-un-internet-abierto-politicas-de-FCC-y-sus-efectos.html>.
- [7] Zuboff, Shoshana. Big Other: surveillance capitalism and the prospects of an information civilization. *Journal of Information Technology* (2015) 30, 75-89.
- [8] Zuboff, Shoshana. *La Era del Capitalismo de Vigilancia*. Paidós, 2020.
- [9] Lin, D., Crabtree, J., Dillo, I. et al. The TRUST Principles for digital repositories. *Sci Data* 7, 144 (2020).
- [10] Berisha, B., Mëziu, E. & Shabani, I. Big data analytics in Cloud computing: an overview. *J Cloud Comp* 11, 24 (2022). <https://doi.org/10.1186/s13677-022-00301-w>.
- [11] Shaleen Khanal, Hongzhou Zhang, Araz Taeihagh, Why and how is the power of Big Tech increasing in the policy process? The case of generative AI. *Policy and Society*, 2024; <https://doi.org/10.1093/polsoc/puae012>.
- [12] Couldry, N. & Mejías, U. A. (2019). Making data colonialism liveable: how might data's social order be regulated?. *Internet Policy Review*, 8(2). <https://doi.org/10.14763/2019.2.1411>.
- [13] Ricaurte Quijano, Paola. Resisting Data Colonialism: What Lies Ahead. En: *Tierra Común Network. Resisting Data Colonialism – A Practical Intervention*. Institute of Network Cultures, Amsterdam, 2023. <https://networkcultures.org/blog/publication/tod-50-resisting-data-colonialism-a-practical-intervention/>

19 Project SOLID <https://solid.mit.edu/>.

20 Tomamos algunos puntos del “decálogo” en [13], p. 97.



Computación y Golpe de Estado:

Continuidades y rupturas



JUAN ÁLVAREZ

Académico del Departamento de Ciencias de la Computación de la Universidad de Chile. Master of Mathematics (Computer Science) por la Universidad de Waterloo, Canadá. Ingeniero de Ejecución en Procesamiento de la Información por la Universidad de Chile. Junto a su labor como docente, trabaja en reconstruir la historia de la computación en Chile.

✉ jalvarez@dcc.uchile.cl



RESUMEN. El año 2023 se conmemoraron cincuenta años del violento Golpe de Estado que derrocó al presidente Salvador Allende y que dio inicio a la larga y opresiva dictadura militar y civil. Durante el año se realizaron numerosos actos y se escribieron muchos artículos centrados principalmente en el ámbito político. Sin embargo, hubo muy pocos eventos y escritos que dieran cuenta de las repercusiones del golpe en las diversas disciplinas científicas y tecnológicas. Este artículo tiene el propósito de presentar las principales rupturas y continuidades que se produjeron en el área de Computación e Informática.

Los inicios de la computación en Chile

Los primeros computadores llegaron a Valparaíso, Santiago y Concepción a fines de los años cincuenta y comienzos de los sesenta [1] para apoyar la administración de varias instituciones y servicios del Estado y de un par de empresas privadas. En algunas organizaciones los computadores reemplazaron a las máquinas Hollerith o Unit Record que realizaban algunos procesos sencillos con información perforada en tarjetas y que fueron utilizadas desde el censo de 1930.

Las aplicaciones científicas y de ingeniería comenzaron en la década del sesenta con la llegada de los primeros computadores a las universidades [2] y la consiguiente creación de centros que los administraban, operaban y enseñaban sus capacidades. Seguidamente, se dictaron los primeros cursos de Computación en las carreras de ingeniería y, en el contexto de los procesos de reforma, modernización y democratización de las universidades, se crearon las primeras carreras especializadas (programación en 1968 e ingeniería de

ejecución en 1971) cuando ya se contaba con el legendario computador IBM/360 en la Universidad de Chile [3].

La Empresa Nacional de Computación

La rápida expansión de las aplicaciones computacionales en las instituciones del Estado gatilló la creación en 1968 de la “Empresa de Servicio de Computación” (EMCO) como filial de la “Corporación de Fomento” (CORFO). Para cumplir con el propósito de proporcionar servicios computacionales y de capacitación a organismos estatales, EMCO adquirió tres máquinas IBM/360 (las más poderosas de la época en Chile) [4] (ver Figura 1).

A partir de diciembre de 1970, la “Empresa Nacional de Computación e Informática” (ECOM como su nueva sigla) emprendió también el desarrollo de grandes proyectos de ingeniería computacional: registro nacional de población, registro electoral, censo de población y vivienda, y la construcción de sistemas genéricos orientados principalmente a las empresas y bancos estatizados. Adicionalmente, se creó la subgerencia Biobío para atender las necesidades regionales, incluyendo proyectos de informatización de las empresas del carbón, del acero y textil [5].

Indudablemente, el proyecto computacional emblemático durante el gobierno de Salvador Allende fue el sistema Cybersyn o Synco [5]. Surgió en CORFO ante la necesidad de aplicar principios cibernéticos en la gestión y coordinación de las numerosas industrias del área de propiedad social. El componente de software Cyberstride (ver Figura 2), que residía en uno de los computadores de ECOM, recibía la información de las industrias (a través de la red de télex Cybernet) y enviaba retroalimentación basada en los resultados de la aplicación del Modelo de Sistema Viable (del inglés



Figura 1. Presidente Eduardo Frei en inauguración de EMCO (1969).

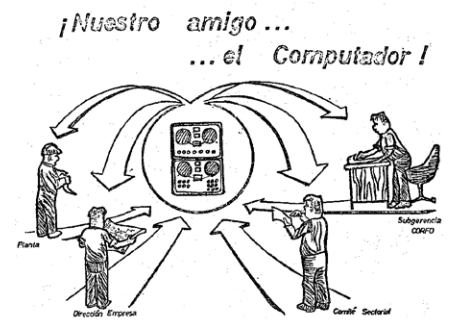


Figura 2. Difusión de componente Cyberstride de proyecto Cybersyn (1973).

Stafford Beer). Por su parte, el componente CHECO simulaba la dinámica de la macroeconomía y la espectacular y futurista sala de operaciones (OPSRROOM) se diseñó para tomar las decisiones económicas sectoriales y nacionales.

El Golpe de Estado produjo drásticas rupturas en ECOM: se canceló el proyecto Synco, se despidió y degradó a directivos y personal técnico y administrativo, se designó un nuevo gerente general y un presidente del directorio, se canceló la compra de computadores franceses y algunos de los empleados que estaban en capacitación en Francia tuvieron que exiliarse. Años más tarde, y después de la inundación de ECOM de 1982, sus trabajadores se vieron obligados a comprar la empresa. Finalmente, ECOM cerró a comienzos de los años noventa.



El Golpe afectó severamente a las universidades. Todas ellas fueron intervenidas.

Las universidades

El Golpe afectó severamente a las universidades. Todas ellas fueron intervenidas y se nombraron rectores delegados provenientes de las diferentes ramas de las fuerzas armadas quienes designaron nuevas autoridades en las facultades y departamentos. En la Universidad Técnica del Estado, después del violento ataque militar contra sus dependencias (ver Figura 3), se tomó prisioneros y expulsó a estudiantes, funcionarios y profesores, entre ellos al rector de la universidad y al director del Centro de Computación y creador de la carrera de Computación e Informática.

A pesar del fuerte control político y administrativo, y de la drástica reducción del presupuesto que afectó a todas las disciplinas, la computación universitaria continuó su evolución y a partir del año 1975 se crearon departamentos de Ciencia(s) de la Computación [3] con labores académicas de investigación, extensión y docencia de pregrado (ingeniería de ejecución y licenciatura) y postgrado (magíster). Las carreras de ingeniería civil en el área se crearon después de la promulgación de la ley general de universidades de 1981, que estratificó, tanto a las carreras, como a las instituciones de educación superior.

Por su parte, un grupo de académicos del área fundaron en 1984 la Sociedad Chilena de Ciencia de la Computación [6]. Otro grupo de profesores se incorporó a las Asociaciones de Académicos de sus universidades y/o a la "Asociación Universitaria y Cultural Andrés Bello" (que agrupaba académicos y a exonerados



Figura 3. Edificio central de la Universidad Técnica del Estado (1973).

de todas las universidades) rechazando la intervención universitaria y la fuerte rebaja presupuestaria.

Las/los especialistas

Antes de la formación universitaria de especialistas, el diseño y programación de los sistemas computacionales fue realizado por profesionales y técnicos, principalmente ingenieros provenientes de otras áreas. Sólo a mediados de los años setenta egresaron los primeros ingenieros de ejecución en computación, que fueron claves en el notable desarrollo del área, la mayoría de los cuales comenzaron a trabajar mientras eran estudiantes.

En 1974, y como un adelanto de las políticas económicas posteriores, se decretó una drástica reducción temporal de los impuestos de importación de computadores, lo que produjo un masivo ingreso de máquinas principalmente a instituciones privadas. Para paliar el déficit de especialistas, ECOM, en conjunto con algunas universidades, implementaron un "Plan Nacional de Capacitación" (PLANACAP) preparando provisoria e intensivamente analistas de sistemas, programadores y operadores. Cabe señalar, que un apologista del régimen

consideró este hito como la "prehistoria" del sector y parte esencial de una "revolución silenciosa", ignorando la historia previa, principalmente en el Estado.

Respecto de los ingenieros, en 1981 se promulgó la Ley de Asociaciones Gremiales para sustituir forzosamente a los Colegios Profesionales, quitándoles la afiliación obligatoria y el control de la ética y fomentando el paralelismo gremial. A pesar de los desincentivos y riesgos, un grupo de profesionales fundaron la especialidad de Computación e Informática del "Colegio de Ingenieros de Ejecución AG" con el propósito principal de defender la carrera y las universidades y empresas estatales, y, muy decididamente, los derechos humanos (ver Figura 4). Consecuentemente, participaron en las iniciativas para recuperar la democracia, incorporándose a la Federación de Colegios Profesionales y a la Asamblea de la Civilidad [8].

Años después, un grupo de egresados de Ingeniería Civil en Computación (con la colaboración de estudiantes de los últimos años) construyeron el Sistema Computacional de Recuento Paralelo del Plebiscito de 1988, lo que permitió asegurar el triunfo sobre la dictadura impidiendo un nuevo fraude electoral [9]. Muchos de los integrantes del equipo de desarrollo, provenientes de



Figura 4. Encuentro Nacional Ingenieros de Ejecución en Computación (1985).



Figura 5. Equipo Sistema Recuento Paralelo Plebiscito (1988).



Figura 6. Prisioneros en Estadio Nacional (1973).

El golpe de Estado tuvo efectos en la disciplina de Computación produciendo rupturas que no detuvieron su evolución.

la Universidad de Chile, habían participado anteriormente en el movimiento que destituyó, tanto a un decano interviniente en Ingeniería, como al rector delegado civil que lo había designado (ver Figura 5).

Los servicios de “inteligencia”

El análisis de los efectos del Golpe de Estado no puede concluir sin mencionar la desigual “batalla informática” en el área de los derechos humanos [10]. La masiva represión desatada después del Golpe, y la cuantiosa información relacionada, obligó a la dictadura a usar apoyo computacional. Por ejemplo, existe la evidencia de un listado computacional, elaborado en noviembre de 1973, con 200 páginas que incluyen a 11.826 nombres en 20 “campamentos de prisioneros”, 9.440 de ellos en el Estadio Nacional (ver Figura 6). Posteriormente, en un libro del militar encargado de la “Dirección de Inteligencia Nacional” (DINA), se publicaron listados computacionales de “prisioneros”, “buscados”, “peligrosos”, “militantes” y “guerrilleros”.

Más tarde, en noviembre de 1975, por iniciativa de la DINA se crea la “Red Cóndor” para la “coordinación e intercambio de información y experiencias” inicialmente entre los servicios de “inteligencia” de Chile, Argentina, Uruguay, Paraguay y Bolivia. El nombre “Cóndor” fue sugerido por los delegados extranjeros como un reconocimiento a las facilidades que ofreció Chile: un poderoso computador central, un banco de datos y una red de télex.



La masiva violación de los derechos humanos obligó, tanto a los servicios de “inteligencia” del Estado, como a los organismos de defensa de los derechos, a usar tecnología computacional para registrar y procesar grandes volúmenes de información.

A partir de 1977, y después del asesinato en Estados Unidos del ex ministro Orlando Letelier, la “Central Nacional de Informaciones” (CNI) sustituyó a la DINA pero continuó con la misma misión. Años después, modificó su estructura incluyendo una Brigada Informática con una Unidad de Computación y otra de Programadores.

Los organismos de defensa de los derechos humanos

Para poder registrar y procesar la información de la gran cantidad de personas que sufrieron la violación de sus derechos, diversos organismos de defensa se vieron también obligados a usar tecnología computacional. A partir de 1978, se iniciaron proyectos informáticos en la Vicaría de la Solidaridad de la Iglesia Católica, la Fundación de Ayuda Social de las Iglesias Cristianas (FASIC), la Comisión Chilena de Derechos Humanos y el Comité de Defensa de los Derechos del Pueblo (CODEPU).

En contraste con los grandes computadores de los servicios de Inteligencia, y por razones de seguridad y de presupuesto, estos organismos fueron pioneros en el uso de microcomputadores (ver Figura 7), desarrollando sistemas



Figura 7. Microcomputador Vector, similar al utilizado por la Vicaría de la Solidaridad.



Figura 8. Seminario Latinoamericano de DDHH e Informática (1989).

de información, conformando una red de instituciones, organizando un “Primer Seminario Latinoamericano de DDHH e Informática” (ver Figura 8), y elaborando una taxonomía de todos los tipos de violaciones que se cometieron (“Glosario de las definiciones operacionales de las violaciones a los derechos humanos”). Lamentablemente, el trabajo con información tan delicada le costó la vida al coordinador de la unidad informática de la Vicaría de la Solidaridad en 1985.

El minucioso registro y proceso de la información realizada por estos organis-

mos de defensa fue fundamental para la elaboración de los Informes Rettig y Valech que, una vez iniciada la transición a la democracia, sirvieron para reparar en parte la violación de los derechos que sufrieron decenas de miles de chilenos y chilenas.

A modo de conclusión

El Golpe de Estado tuvo efectos en la disciplina de Computación produciendo rupturas que no detuvieron su evolución.



Figura 9. Afiche de difusión Charla “Computación y Golpe de Estado” (2023)

Las principales repercusiones ocurrieron en la Empresa Nacional de Computación y en las universidades estatales. A pesar de todos los inconvenientes político-administrativos y presupuestarios, la inercia y continuidad histórica de la disciplina permitió su consolidación y progreso.

Por otra parte, los ingenieros especialistas, además de aportar significativamente en el desarrollo del área, se organizaron en un colegio profesional y se sumaron a las iniciativas por recuperar la democracia. El relevo lo tomó un grupo de jóvenes egresados que construyó el sistema que garantizó el triunfo en el plebiscito que terminó con la dictadura.

Por último, resulta dramático comprobar que la masiva violación de los derechos humanos obligó, tanto a los servicios de “inteligencia” del Estado, como a los organismos de defensa de los derechos, a usar tecnología computacional para registrar y procesar grandes volúmenes de información.

Queda pendiente averiguar los efectos del Golpe en otras instituciones del Estado y en las universidades y las empresas privadas. Por otra parte, si bien se analizaron principalmente las continuidades y rupturas institucionales, es importante considerar que personas que trabajaron en el área también fueron afectadas y sufrieron importantes quiebres en sus vidas. En síntesis, falta aún completar la historia del Golpe y sus repercusiones en la disciplina de Computación e Informática en sus dimensiones institucionales y humanas. ■

Agradecimiento

A Claudio Gutiérrez, por sugerir el título de este artículo y por presentar el tema de “Cybersyn”, como parte de la charla “Computación y Golpe de Estado: continuidades y rupturas” que expusimos en conjunto en la Universidad de Chile en agosto de 2023 [Figura 9], Universidad de Santiago de Chile (USACH) en octubre y Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM) en noviembre.

REFERENCIAS

La mayoría de los temas tratados en este artículo han sido presentados por el autor en Revista Bits y se encuentran disponibles digitalmente.

- [1] El primer computador digital en Chile: aduana de Valparaíso, diciembre de 1961. <https://revistasdex.uchile.cl/index.php/bits/article/view/1774/1719>.
- [2] El primer computador universitario en Chile: “el hogar desde donde salió y se repartió la luz”. <https://revistasdex.uchile.cl/index.php/bits/article/view/1834/1778>.
- [3] Antecedentes, creación y primeros años del Departamento de Ciencias de la Computación de la Universidad de Chile. <https://revistasdex.uchile.cl/index.php/bits/article/view/1650/1605>.
- [4] Empresa Nacional de Computación: antecedentes, creación y primeros años. <https://revistasdex.uchile.cl/index.php/bits/article/view/1893/1837>.
- [5] Empresa Nacional de Computación e Informática (ECOM), 1971-1973. <https://revistasdex.uchile.cl/index.php/bits/article/view/1935/1878>.
- [6] El proyecto Cybersyn: sus antecedentes técnicos (con Claudio Gutiérrez en Revista Cuadernos de Beauchef). <https://revistasdex.uchile.cl/index.php/cdb/article/view/3354/3290>
- [7] Sociedad Chilena de Ciencia de la Computación: orígenes, fundación (1984) y primeros años. <https://revistasdex.uchile.cl/index.php/bits/article/view/1907/1850>.
- [8] Mujeres en los orígenes y primeros años de la Computación en Chile. 2016. <https://www.dcc.uchile.cl/media/bits/pdfs/bits16.18-mujeres-en-los-origenes-y-primeros-anos.pdf>
- [9] La hazaña del recuento paralelo del plebiscito de 1988. <https://revistasdex.uchile.cl/index.php/bits/article/view/2057/1999>.
- [10] Computadores, ¿amigos o enemigos?: Informática en la violación y la defensa de los derechos humanos en Chile, 1973-1989. <https://revistasdex.uchile.cl/index.php/bits/article/view/2119/2060>.



Estudiantes DCC



En esta sección de la Revista estudiantes recientemente graduados del Departamento de Ciencias de la Computación (Universidad de Chile) nos cuentan, junto a sus profesores guías, sobre sus trabajos de memoria y/o tesis.



Empirical foundation for memory usage analysis through software visualizations

Estudiante: Alison Fernández Blanco
Profesores guías: Alexandre Bergel
y Juan Pablo Sandoval



Estudié Ingeniería Informática en la Universidad Mayor de San Simón en Cochabamba, Bolivia. Durante mi carrera, conocí a Alexandre Bergel, quien se interesó en uno de mis proyectos y me propuso investigar más del área, a lo cual accedí. De esta forma continúe investigando con Alexandre. Tras graduarme, trabajé en Semantics con Juan Pablo y me interesé por crear herramientas que ayudaran a mis colegas a desarrollar aplicaciones de software. Especialmente, me intrigó lo desafiante que era lidiar con problemas relacionados con el manejo de la memoria, los cuales suelen afectar el rendimiento y causar fallas en las aplicaciones de software. Motivada por mi curiosidad, opté por realizar un doctorado, con Alexandre y Juan Pablo como tutores.

En 2018, empecé el Doctorado en Computación en la Universidad de Chile. A lo largo del tiempo, me enfrenté a distintos retos, como refinar mi tema de investigación, tomar decisiones sobre evaluaciones e implementaciones, y presentar mi trabajo realizado en conferencias o revistas. Realicé varios estudios con usuarios, lo cual además de requerir bastante tiempo, me proporcionó valiosa información cualitativa. Para cumplir con mi planificación, aprendí a anticipar contratiempos y mejoré mis habilidades de organización. También, mejore mis habilidades de comunicación al realizar varias presentaciones orales para mis tutores y compañeros del IS-CLab. En cuanto a la escritura de artículos, destaco la ayuda de Renato Cerro, quien proporcionó comentarios sobre mis manuscritos en inglés y valiosos consejos para redactar artículos atractivos para los lectores.

Mi tesis doctoral se titula “Empirical foundation for memory usage analysis through software visualizations”. En el doctorado, me enfoqué en visualizaciones interactivas enfocadas en brindar soporte durante el análisis del uso de memoria de un programa. La amplia gama de técnicas visuales, los mecanismos de interacción y la información que proporcionaban

despertó mi curiosidad sobre su efectividad en la práctica. Sin embargo, noté que había poca información sobre cómo los usuarios usaban las herramientas visuales y las necesidades de los programadores al analizar el uso de la memoria. Por lo tanto, mi tesis presenta tres contribuciones principales:

- Una revisión sistemática que destaca las principales características de las herramientas visuales de análisis de memoria, los desafíos del campo y áreas de investigación prometedoras.
- La implementación de Vismep, un prototipo visual para analizar la memoria de programas en Python, junto con un estudio con usuarios para comprender cómo los programadores utilizan y perciben Vismep.
- Un estudio observacional que presenta un catálogo de 34 preguntas que los programadores plantean al analizar el consumo de memoria, además del análisis detallado del uso de las herramientas para responder a estas preguntas y las dificultades que enfrentan los profesionales en el proceso.

En mi opinión, realizar un doctorado es reconfortante, divertido y desafiante. Al tomar esta decisión, se deben considerar varios aspectos, como el área de investigación y el tutor, entre otros. En mi caso, ya tenía áreas de investigación favoritas, como *software visualization* y *software performance*. Además, fue natural elegir a Alexandre y Juan Pablo como tutores debido a nuestra buena relación en el trabajo. Sin embargo, siempre existieron desafíos, lo cual es normal cuando se trabaja en una solución innovadora y eso es lo que lo hace interesante.

Actualmente, soy profesora part-time en la Pontificia Universidad Católica de Chile y miembro del laboratorio SEISLab donde continúo investigando en mis áreas preferidas.



A domain-independent and language-agnostic approach for crisis event detection and understanding

Estudiante: Hernán Sarmiento
Profesores guías: Felipe Bravo Márquez y Bárbara Poblete



Estudié Ingeniería Civil Informática en la Universidad Técnica Federico Santa María. Tras titularme, decidí ejercer mi profesión trabajando de manera independiente, combinado con labores de docencia a nivel universitario y formativo. Luego de 2 años, el 2015 decidí que era hora de retomar mis estudios por lo que me matriculé en el Magíster en Ciencias mención Computación del Departamento de Ciencias de la Computación (DCC) de la Universidad de Chile. Posteriormente en el 2018, inicié el Doctorado en Computación en el mismo departamento.

Mi tesis de doctorado “A domain-independent and language-agnostic approach for crisis event detection and understanding”, se enmarca en el área de minería de datos aplicada al análisis de redes sociales durante situaciones de crisis. La investigación se centró en adquirir mayor conocimiento sobre las técnicas que permitieran comprender emergencias al combinar distintos idiomas y tipos de eventos. En esta línea, el estudio se enfocó principalmente en detectar y caracterizar estos eventos con un enfoque independiente del dominio (o tipo de evento), así como agnóstico al lenguaje.

En la gran mayoría de los trabajos publicados hasta el desarrollo de mi investigación, predominaba el uso de mensajes escritos en inglés publicados en la plataforma X (previamente llamada Twitter). Si bien estas metodologías obtenían buenos resultados para la clasificación y caracterización de eventos de crisis, existía un vacío en proponer métodos para otros idiomas donde la cantidad de recursos existentes fuera limitada. Desde el punto de vista práctico, esto incorporaba barreras extras para el análisis en redes sociales por parte de agencias de emergencias, pues en lugares donde el inglés no es la lengua nativa no era factible la incorporación de estas tecnologías.

Más allá de los desafíos algorítmicos y computacionales existentes durante la investigación desarrollada, gran parte de los problemas estaban asociados a la limitada cantidad de datos publicados durante eventos que ocurrieron en zonas geográficas donde el idioma principal fuera distinto al inglés. Afortunadamente, contamos con el apoyo del DCC y del Instituto Milenio Fundamentos de los Datos (IMFD), los cuales proveyeron la infraestructura necesaria para recolectar y almacenar nuestros propios conjuntos de datos para los distintos estudios propuestos.

Mi primer contacto con el DCC fue con colegas que habían realizado sus estudios en esta institución. Esto me motivó a querer formar nuevas redes de colaboración y conocer distintas maneras de trabajo con relación a mi formación profesional. Cuando entré a realizar el magíster, me llamó mucho la atención los estudios que había publicado Bárbara Poblete, mi profesora durante toda mi estadía de postgrado en el DCC. Principalmente aquellos que analizaban grandes volúmenes de datos en Twitter. De esta manera, consolidé ideas que quería realizar durante el magíster las cuales se profundizaron durante el doctorado. Posteriormente, el profesor Felipe Bravo Márquez se sumó como parte de la guía de mi doctorado, lo cual me ayudó a tener una mirada más profunda del análisis de redes sociales, con un enfoque ligado a diversas técnicas del área de Procesamiento de Lenguaje Natural.

A lo largo de mi doctorado tuve la posibilidad de asistir a diferentes conferencias y workshops del área, lo cual me permitió conocer investigadores connotados, así como comprender la relevancia de sus trabajos. Sin el apoyo del DCC y del IMFD esto no habría sido posible. Más allá del apoyo para la asistencia a conferencias, el rol de estas instituciones se basó en la red investigadores y colaboradores de estas instituciones, las cuales promovieron el envío de publicaciones de excelencia que me permitieron asistir a estos eventos.

Personalmente pienso que el rol de la investigación en el desarrollo de nuestra era y cultura es fundamental. Por esta razón decidí iniciar el doctorado en el DCC, pues pude conocer la relevancia que tenían sus investigaciones a nivel mundial. Por otro lado, también siempre tuve la necesidad de conectar esas investigaciones con aplicaciones que pudieran apoyar a diversas instituciones de forma práctica. Esto gatilló que encontrara el equilibrio entre ambas labores, por lo que actualmente me desempeño como Ingeniero de Transferencia en la Dirección de Innovación y Transferencia Tecnológica del IMFD. Principalmente busco en forma constante la potencialidad de generar proyectos de investigación aplicada, por lo que tener una perspectiva y dotes de investigación me ha ayudado a plantear y planificar de mejor manera los distintos desafíos que se presentan.



Computational models for network societies

Estudiante: Francisco Plana
Profesores guías: Andrés Abeliuk y Jorge Pérez



Después de recibirme de ingeniero civil matemático y magíster en ciencias mención computación en la Universidad de Chile, seguí trabajando en un proyecto de investigación con mi profesor guía del magíster, Jorge Pérez, mientras en paralelo desarrollaba otros proyectos. Siempre he tenido interés en la investigación científica, la capacidad de capturar mecanismos de la modelación matemática, y otras diversas inquietudes como la música o los fenómenos sociales. La posibilidad de seguir estudios de doctorado estaba presente, y me decidí porque sentí que, sin hacer algo muy distinto de lo que ya estaba haciendo, estos estudios me darían la posibilidad de formarme como un investigador autónomo. Escogí hacerlo en el DCC porque, además de la relación que tenía con Jorge como guía, sentí que aquí tendría la libertad para realizar un proyecto ambicioso, incluso si no estaba dentro de las líneas de investigación del departamento. Y no me equivoqué.

Mi tesis se tituló "Computational models for network societies", o "Modelos computacionales para sociedades en red", y es una exploración de algunos mecanismos formales de generación de redes sociales, combinando ciencia de redes con ciencia de datos. Por un lado, estudiamos cómo la "conexión preferencial" ("preferential attachment" en inglés), un mecanismo que modela la ventaja acumulativa en el tiempo en diversos tipos de redes tanto naturales como humanas, permite estimar de forma sencilla y precisa el índice de centralidad armónica, que es un índice que puede servir para ordenar las páginas web más relevantes en una consulta. En general no es factible calcular estos índices en redes muy grandes como la Web. Por otra parte, también estudiamos las redes para compartir alimento en sociedades de cazadores-recolectores, que son muy importantes desde un punto de vista evolutivo para explicar varios atributos únicos de la especie humana, como una mayor dependencia de niños y jóvenes, cerebros grandes, dietas ricas en nutrientes, así como habilidades de forrajeo complejas, con relación a otros primates, y que tienen efectos en la organización familiar, social, política, etc. Nuestra propuesta es un modelo de optimización de redes, donde se busca minimizar tanto el riesgo de inanición individual como el colectivo, o ambos. Esto permite reproducir la organización multinivel de unas pocas familias cohesionadas observada en diversas sociedades de cazadores-recolectores, así como redes que promueven mayor o menor desigualdad de ingresos en juegos de regalos. El modelo también permite reinterpretar el origen de los patrones de reciprocidad en cazadores-recolectores como una división del trabajo dependiente del contexto social, así como aportar nuevas ideas para desarrollar modelos evolutivos más

realistas que expliquen, por ejemplo, comportamientos cooperativos que no excluyen a quienes no cooperan, como el alimento que reciben personas ancianas u otros. Las técnicas de ciencia de datos empleadas incluyeron inferencia estadística para las redes con conexión preferencial, metaheurísticas evolucionarias para computar las redes de compartir alimento óptimas, lo que involucró una serie de optimizaciones para la ejecución, además del uso de la infraestructura del Laboratorio Nacional de Computación de Alto Rendimiento (NLHPC). Elaboramos además una metodología versátil de algoritmos de agrupamiento ("clustering" en inglés) y árboles de decisión para encontrar y describir grupos de redes similares, de manera agnóstica con respecto a la forma de los grupos. Para la aplicación de estos métodos sobre diversos conjuntos de datos, desarrollamos heurísticas para fijar los parámetros de los distintos métodos.

Me parece que de las cosas más valiosas que entrega la experiencia del primer proyecto de investigación autónoma de largo plazo, dada por el doctorado, es que esta oportunidad lo empuja a uno a resolver aquellas actitudes que no te ayudan para tus objetivos. Cuando inicié el doctorado, no tenía la madurez necesaria para un proyecto ambicioso como el que me había propuesto, y tuve que ir resolviendo esto en el camino. En mi caso, esto se reforzaba por el hecho de que mi tema de investigación no es una línea de investigación habitual dentro del departamento, por lo que buena parte del trabajo fue una búsqueda personal, sin mucha retroalimentación de pares u otros profesores. Debo reconocer aquí que la confianza, compromiso y rigurosidad que mostraron mis dos supervisores, primero Jorge Pérez, y después Andrés Abeliuk, fue absolutamente clave para un desarrollo exitoso del proyecto.

Mis planes posteriores al doctorado incluyen el desarrollo de innovación de base científica en ámbitos productivos. Recientemente hemos formado nuestra empresa llamada Consystia SpA, donde producimos soluciones de I+D+i para empresas, con base en ciencia de datos y ciencia de materiales. Como comentario final, quisiera decir a aquell@s estudiantes que quieran desarrollar temas de investigación ambiciosos, poco convencionales, que quieran cambiar o impactar el mundo, por favor, ¡háganlo! el mundo necesita ideas nuevas desarrolladas con rigurosidad. Aunque no sea sencillo, si un@ es consistente en sus esfuerzos, y se apoya en sus propias fortalezas, siempre se puede salir adelante. Si son estudiantes del DCC de la Universidad de Chile, ya están en el entorno ideal para cumplir sus sueños.



A Coq formalization of RDF and its applications



Estudiante: Tomás Vallejos
Profesores guías: Aidan Hogan, Assia Mahboubi y Éric Tanter

RDF es un modelo de datos basado en grafos que enriquece los documentos de la World Wide Web con metadatos para que sean procesables por máquinas. Actualmente, según W3Tech, RDF es ampliamente utilizado: 39% de los sitios web usan sintaxis RDFa, mientras que el 47% usa JSON-LD; ambos formatos son sintaxis para RDF. Este nivel de adopción y la versatilidad de RDF han permitido su uso en diferentes contextos, algunos de los cuales son críticos, por ejemplo, calcular sumas de verificación o firmar digitalmente grafos RDF. Para firmar digitalmente un grafo RDF es necesario asignar una firma a cada grafo, y que tal firma sea canónica, es decir, que por un lado, les asigne la misma firma a todos los grafos con la misma estructura, y que, por el otro lado, les asigne firmas distintas a grafos con diferente estructura.

Para garantizar que un algoritmo asigna firmas canónicas a todos los grafos se puede realizar una prueba matemática. Sin embar-

go, una prueba matemática no nos libra de los bugs que puedan ocurrir a la hora de implementar el algoritmo. Que el algoritmo implementado corresponda al de la prueba matemática es crucial, en particular en contextos críticos. Para solucionar esta brecha existen herramientas de verificación formal capaces de proveer certificaciones de software sólidas, proporcionando un puente entre la programación y la lógica. En particular, el asistente de pruebas Coq ha influido en los métodos formales, la verificación de programas y matemática formal mediante el desarrollo de software confiable utilizando argumentos lógicos rigurosos.

En este trabajo presentamos CoqRDF: la primera librería mecanizada en Coq que especifica formalmente el modelo RDF, proveyendo una colección de lemas formalmente mecanizados sobre RDF. CoqRDF nos permite definir operaciones como el re-etiquetado de nodos en blanco e isomorfismo RDF y razonar sobre ellos mecánicamente. Yendo más lejos, utilizamos la librería para implementar el algoritmo κ -mapping, un algoritmo para asignar representaciones canónicas de grafos "RDF", y probamos en Coq que κ -mapping retorna la versión canónica del grafo de entrada.

Visualizamos un estándar RDF con software certificado siguiendo un enfoque mecanizado mediante el uso de asistentes de prueba. Y creemos haber contribuido con la primera piedra hacia una cadena de herramientas mecanizadas de estándares Web basada en RDF.

Predicción de riesgo de deserción de estudiantes de primer año de Ingeniería Civil Industrial en una institución de educación superior utilizando técnicas de machine learning



Estudiante: Raúl Reyes
Profesor guía: Benjamín Bustos

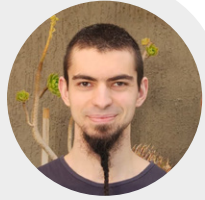
El problema de la deserción universitaria se ha convertido en un desafío prioritario tanto para las instituciones de educación superior, como para las entidades gubernamentales de Chile. Las causas de este fenómeno son múltiples y complejas, abarcando desde dificultades económicas y sociales hasta problemas vocacionales y de salud. A pesar de la implementación de diversos planes y medidas para abordar estas causas, aún no se ha logrado reducir efectivamente las tasas de deserción universitaria en el país. En este contexto, es crucial explorar enfoques innovadores y tecnológicos para abordar el problema de manera más eficiente.

Actualmente, la inteligencia artificial se aplica en una amplia variedad de campos, lo que sugiere su potencial para ser aplicado en la educación superior enfrentando problemas transversales, como la deserción universitaria. En particular, el subconjunto de la inteligencia artificial llamado aprendizaje automático (*machine learning*) puede aprovechar la enorme cantidad de datos disponibles en las instituciones educativas para identificar patrones y señales tempranas de riesgo de deserción estudiantil.

Esta tesis propone el desarrollo de una herramienta basada en técnicas de *machine learning*, para identificar a los estudiantes de primer año en riesgo de abandonar una carrera universitaria específica en una universidad estatal chilena. Al utilizar datos históricos que incluyen atributos sociodemográficos y académicos, esta herramienta no sólo permite una intervención temprana con los estudiantes en riesgo, sino que también ofrece un posible marco replicable para otras instituciones que enfrentan desafíos similares. La implementación de esta herramienta podría facilitar la detección temprana de posibles desertores y promover intervenciones oportunas para mejorar las tasas de retención universitaria.



Predictability metrics for collaborative filtering recommender systems



Estudiante: Alfonso Valderrama
Profesor guía: Andrés Abeliuk

Los sistemas de recomendación son fundamentales en nuestra vida digital, ayudándonos a encontrar contenido relevante, desde películas en Netflix hasta productos en Amazon. Sin embargo, entender cuán predecibles son los datos que estos sistemas procesan es un desafío poco explorado. Este estudio aborda precisamente ese problema, proponiendo nuevas métricas para medir la predictibilidad de los sistemas de recomendación basada en la complejidad estructural de los datos. En términos simples, se trata de evaluar qué tan fácil o difícil es para un algoritmo predecir las preferencias de los usuarios observando patrones en la interacción entre usuarios y artículos.

Para lograr esto, se propusieron métricas que introducen pequeñas perturbaciones en los datos para observar cómo cambia la estructura global de estos. Si la estructura exhibe pocos

cambios, significa que los datos representan interacciones que exhiben patrones predecibles, mientras que si la estructura cambia mucho con la perturbación, sugiere patrones más complejos y difíciles de predecir. Las perturbaciones a los datos fueron hechas en base a técnicas de factorización matricial, como la descomposición en valores singulares. Los resultados en datos reales de sistemas de recomendación mostraron que las métricas propuestas tienen una alta correlación con la precisión de los algoritmos de predicción, lo que valida empíricamente el enfoque propuesto.

Este trabajo es particularmente relevante, porque ofrece una herramienta que define un punto de referencia para el desempeño de los sistemas de recomendación. Esto es posible dado que las métricas de predictibilidad están definidas de manera agnóstica a los modelos algorítmicos. Además, durante la investigación se tuvo particular cuidado al definir estas métricas de forma teóricamente robusta, con el fin de estudiar la predictibilidad de forma tanto teórica como práctica.

Los resultados de este trabajo se presentaron en el workshop de Inteligencia Artificial Centrada en Datos dentro de la ACM Web Conference 2024, una conferencia internacional dedicada a discutir y presentar avances en investigación y aplicaciones relacionadas con el futuro de la web.

Tablero digital de comunicación para niños con parálisis cerebral



Estudiante: Matías Bahamonde Santander
Profesores guías: Francisco J. Gutiérrez

Los tableros digitales de comunicación basados en pictogramas, son uno de los Sistemas Aumentativos y/o Alternativos de Comunicación (SAAC) más utilizados por los niños con parálisis cerebral (PC). Al hacer una investigación de estos, con personal médico de esta población, se identificaron algunas problemáticas. La primera es que estas aplicaciones tienen un alto costo de entrada en algunas tiendas móviles y la segunda es que en términos de usabilidad para los niños con PC, existen insuficiencias debido a que estas implementaciones consideran a población con otro tipo de necesidades (por ejemplo, niños con trastorno del espectro autista).

Así fue que se desarrolló una aplicación en Android, que representa un tablero de comunicación basado en pictogramas, con sus funciones básicas, tales como escribir, borrar y escuchar frases, adicionando una característica de accesibilidad, dada las necesidades motrices de los usuarios, para así dar una solución a la problemática con la usabilidad. Esta se denominó tiempo de retraso de acción, el cual se define como el tiempo que el usuario debe mantener un botón dentro del tablero antes de que este se accione. Esto busca reducir respuestas no esperadas por los usuarios, dado un toque involuntario en la pantalla (efecto conocido como *midas touch*).

Este desarrollo fue evaluado mediante una prueba de concepto, por usuarios que cumplieran con el perfil de cuidador de niños con PC, en los que se incluyen al personal médico y a familiares que tuviesen bajo o relativo conocimiento de dispositivos táctiles, esto con el fin de tener un prototipo robusto, antes de ser evaluado con usuarios finales (niños con PC). Actualmente cuenta con el visto bueno de la fundación Coaniquem, para ser probado con pacientes. Por otro lado, se llevan a cabo oportunidades de mejora para este prototipo, tal como un sistema predictivo de pictogramas.



MAGÍSTER EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

Departamento de Ciencias
de la Computación

Universidad de Chile

ÁREAS DE ESPECIALIZACIÓN:

- Gestión de Proyectos Informáticos
- Ingeniería de Software
- Ciencia e Ingeniería de Datos
- Inteligencia Artificial

INFORMACIÓN Y POSTULACIONES:

dcc.uchile.cl/mti

Acreditación

4
años

Acreditado por Acredita CI
hasta el 6 de septiembre
de 2027



CONTACTO:

Departamento de Ciencias de la Computación
FCFM, Universidad de Chile




Beauchef #851, Edificio Norte, tercer piso,
oficinas 326-327. Santiago.



Correo:
capacita@dcc.uchile.cl



Teléfonos:
+56 2 2978 4965
+56 2 2978 4976
+56 9 3871 9957 

REVISTA DEL DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA
COMPUTACIÓN DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE

Bits

DE CIENCIA