



fcfm

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

15

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

Bits

DE CIENCIA

PRIMER SEMESTRE 2017

TEMAS
CANDENTES
EN CIENCIA DE LA
COMPUTACIÓN

INTERNET DE LAS COSAS:
EL FUTURO CERCAÑO

| Cristina Albaladejo, Miguel A. Zamora, Antonio Skarmeta

MÁQUINAS
QUE APRENDEN

| Felipe Tobar

BLOCKCHAIN

| Jens Hardings

COMPUTACIÓN Y SOCIEDAD

CIENCIOMETRÍA: FACTORES DE
IMPACTO Y MAPAS DE LA CIENCIA

| Marcelo Mendoza, Miguel Guevara

COMITÉ EDITORIAL

Claudio Gutiérrez, profesor
Alejandro Hevia, profesor
Gonzalo Navarro, profesor
Sergio Ochoa, profesor
Éric Tanter, profesor
EDITOR GENERAL
Pablo Barceló, profesor
EDITORA PERIODÍSTICA
Ana Gabriela Martínez
PERIODISTA
Karin Riquelme
DISEÑO
Puracomunicación
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 Atribución-NoComercial-Compartir-Igual 3.0 Chile. Basada en una obra en www.dcc.uchile.cl



Revista Bits de Ciencia N°15
ISSN 0718-8005 (versión impresa)
www.dcc.uchile.cl/revista
ISSN 0717-8013 (versión en línea)



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN
UNIVERSIDAD DE CHILE

Departamento de Ciencias de la Computación
Avda. Beauchef 851, 3° piso,
edificio norte
Santiago, Chile
837-0459 Santiago
www.dcc.uchile.cl
Fono 56-2-29780652
Fax 56-2-26895531
revista@dcc.uchile.cl

CONTENIDOS

01 EDITORIAL

| Pablo Barceló

INVESTIGACIÓN DESTACADA



02 MATCHING 3D EFICIENTE USANDO DESCRIPTORES LOCALES

| Benjamín Bustos

COMPUTACIÓN Y SOCIEDAD



08 CIENCIOMETRÍA: FACTORES DE IMPACTO Y MAPAS DE LA CIENCIA

| Marcelo Mendoza

16 IV SIMPOSIO DE HISTORIA DE LA INFORMÁTICA DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

| Juan Álvarez Rubio

20 PRIMEROS ENCUENTROS LATINOAMERICANOS DE COMPUTACIÓN E INFORMÁTICA

| Juan Álvarez Rubio

TEMAS CANDENTES EN CIENCIA DE LA COMPUTACIÓN



30 INTERNET DE LAS COSAS: EL FUTURO CERCANO

| Cristina Albaladejo
| Miguel A. Zamora
| Antonio Skarmeta

36 MÁQUINAS QUE APRENDEN

| Felipe Tobar

44 BLOCKCHAIN

| Jens Hardings

51 DINERO DIGITAL

| Francisco Montoto

52 BIOINFORMÁTICA, ¿SOLO PROGRAMAS COMPUTACIONALES PARA ALMACENAR DATOS BIOLÓGICOS?

| Mario Inostroza



58 SISTEMAS RECOMENDADORES

| Denis Parra

64 COMPUTACIÓN AFECTIVA: UNA MIRADA A LA HISTORIA, APLICACIONES Y PROYECCIONES

| Roberto González-Ibáñez

CONVERSACIONES



72 ENTREVISTA A RODRIGO ALONSO

| Por Jorge Pérez

DOCTORADOS DEL DCC



74

| Héctor Ferrada
| Cristóbal Navarro
| Miguel Romero



La ciencia de la computación parece tener hoy en día las perspectivas más brillantes de su corta historia. La explosión tecnológica de los últimos años ha logrado que aplicaciones que en algún momento parecían una utopía hoy se sitúen en la cresta de la ola de los temas con mayor potencial. Piense, por ejemplo, en ciencia de los datos, *machine learning*, razonamiento, bioinformática, y varios otros. Estos problemas involucran no solo desafíos ingenieriles de alto calibre, sino también un entendimiento profundo de las bases matemáticas y algorítmicas que los subyacen.

Muchos de nuestros egresados son continuamente requeridos para desarrollar soluciones a problemas asociados con tales aplicaciones, lo que les permite utilizar su bagaje teórico/práctico para construir soluciones novedosas a problemas desafiantes. Sin embargo, es una sensación generalizada en el área que los egresados son pocos para las necesidades crecientes que el país y la sociedad enfrentan relacionadas con tales problemáticas. Una de las motivaciones detrás de esta Revista es incentivar a que más estudiantes puedan sentirse atraídos por los desafíos y las oportunidades que entrega la computación hoy en día.

En este número de la Revista Bits de Ciencias hemos querido hacer un vuelo de pájaro sobre varias áreas candentes en ciencia de la computación (sabiendo que muchas se nos quedan en el tintero por falta de espacio). Para ello hemos invitado a varios investigadores que trabajan en tales áreas para que nos cuenten cuál es el estado del arte y los grandes desafíos a futuro:

- Cristina Albaladejo, Miguel Zamora, y Antonio Skarmeta de la Universidad de Murcia, España, nos hablan sobre *Internet of Things*,

y cómo los desarrollos asociados con ésta han impactado al sector productivo.

- Felipe Tobar, investigador del Centro de Modelamiento Matemático (CMM) nos hace un resumen de los últimos avances en *machine learning*, la relación de esta área con otras áreas afines, y sus desafíos a mediano plazo.
- Jens Harding nos cuenta sobre el desarrollo de las monedas electrónicas basadas en Blockchain, y sobre qué se nos viene al respecto en el corto plazo. El artículo se complementa con un pequeño resumen técnico del tema por parte de Francisco Montoto.
- Mario Inostroza, académico de Informática de la USACH, nos hace un resumen de su área de investigación, la bioinformática. En particular, cómo esta ayuda a los biólogos y sobre cómo la computación puede ayudar a construir mejores soluciones a problemas complejos asociados con el área.
- Denis Parra, profesor de la PUC, nos cuenta sobre los sistemas recomendadores, sus técnicas y los desafíos.
- Finalmente, Roberto González- Ibáñez, académico de la USACH, nos cuenta sobre el desarrollo y aplicaciones de la emergente área de la computación afectiva.

Como es usual, también incluimos nuestra secciones de Investigación Destacada, esta vez a cargo del Profesor Benjamín Bustos, y de Computación y Sociedad. En esta última incluimos un interesantísimo artículo de Marcelo Mendoza y Miguel Guevara sobre mapas de citas y

factores de impacto en ciencias, además de una reseña de Juan Álvarez sobre un reciente simposio de historia e informática, y un artículo del mismo autor sobre los primeros encuentros latinoamericanos en computación. También presentamos una entrevista a Rodrigo Alonso, ex-alumno del DCC de la Universidad de Chile, y una presentación de los últimos egresados de nuestro Programa de Doctorado.

Esperamos que disfruten la Revista. Como siempre no duden en enviar sus comentarios y consultas a revista@dcc.uchile.cl.

PABLO BARCELÓ

Editor General
Revista Bits de Ciencia



MATCHING 3D EFICIENTE USANDO DESCRIPTORES LOCALES



BENAMÍN BUSTOS

Profesor Asociado Departamento de Ciencias de la Computación, Universidad de Chile. Director del Grupo de Investigación PRISMA e Investigador Joven en el Núcleo Milenio Centro de Investigación de la Web Semántica. Doctor en Ciencias Naturales, Universidad de Konstanz, Alemania (2006); Magister en Ciencias mención Computación (2002) e Ingeniero Civil en Computación (2001), Universidad de Chile. Líneas de investigación: Bases de Datos Multimedia, Búsqueda por Similitud, Recuperación de Información Multimedia basada en Contenido.
bebustos@dcc.uchile.cl

ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN FUE REALIZADO EN CONJUNTO CON IVÁN SPIRÁN (SECCIÓN INGENIERÍA INFORMÁTICA, PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ), JAKUB LOKOC Y TOMAS SKOPAL (SIRET RESEARCH GROUP, FACULTY OF MATHEMATICS AND PHYSICS, CHARLES UNIVERSITY IN PRAGUE) [SLB+].

El matching de objetos 3D ha sido un área de investigación muy activa en los últimos años. Esto se debe principalmente a la mayor disponibilidad de escáneres 3D de bajo costo, por ejemplo el Microsoft Kinect, y a que hay muchas áreas de aplicación práctica que se benefician de la investigación en esta área, por ejemplo patrimonio cultural, arqueología, medicina, industria del entretenimiento, biología, manufactura industrial, y biometría, entre otras. Es por esto que cualquier avance en la calidad y eficiencia de los algoritmos de matching 3D puede tener un impacto directo en todos los dominios mencionados.

Los primeros métodos de matching 3D propuestos en la literatura [BKS+05] se enfocaron en calcular un descriptor, llamado vector característico, que es un vector en \mathbb{R}^d que describe globalmente un modelo 3D. Estos vectores característicos pueden utilizarse, por ejemplo, para implementar un motor de búsqueda por similitud de objetos 3D, que permite encontrar modelos 3D cuya geometría es similar a otro modelo 3D, el objeto de consulta. A esto se le conoce como el problema de matching global. Dada la naturaleza de estos descriptores para objetos

3D, a los que denominaremos “descriptores globales”, no permiten resolver desafíos interesantes del área como el problema de matching parcial. En este nuevo problema, lo que se quiere resolver es: dado una parte de un modelo 3D, por ejemplo obtenida a través de un escaneo parcial de un objeto, encontrar los objetos relevantes en una colección de datos. La gran diferencia de este nuevo problema es que ahora solo se cuenta con información parcial para realizar la búsqueda, lo que dificulta el uso de descriptores globales.

Recientemente, una gran parte de la investigación en el área se ha concentrado en definir “descriptores locales” para modelos 3D, que toman en consideración características locales de los modelos para calcular muchos vectores característicos, no solo uno como en el caso de los descriptores globales. Esto permite tener descripciones de zonas acotadas del modelo 3D, y no requieren conocer el modelo completo para calcular estos atributos. La Figura 1, a continuación, muestra un esquema de cómo se puede resolver el problema de matching parcial 3D usando descriptores locales. En la práctica, los descriptores locales han mostrado ser más eficaces que los descriptores globales para resolver el problema del matching parcial de modelos 3D.

En general, la mayoría de los trabajos científicos en el área se han enfocado en proponer algoritmos eficaces de matching 3D. Sin embargo, con respecto al tema de la eficiencia, es decir algoritmos que puedan resolver rápidamente el problema, no ha habido muchas propuestas. Es para



FIGURA 1. MATCHING PARCIAL 3D USANDO DESCRIPTORES LOCALES.

esto que muchas de las técnicas actuales de matching 3D basadas en descriptores locales tienen problemas para resolver el problema en colecciones grandes de objetos 3D. Este problema se evidenció durante la realización del benchmark estándar "SHREC'13 Track: Large-Scale Partial Shape Retrieval Using Simulated Range Images" [SMB+13], en donde varios equipos participaron en la tarea de resolver matching parcial en modelos 3D en una colección grande (para el área) de modelos 3D. Para este benchmark, se inscribieron diez equipos que querían hacer competir sus algoritmos de matching parcial, y el plazo para enviar los resultados era de un mes. Sin embargo, para el final del benchmark sólo dos equipos pudieron entregar resultados. El resto de los equipos tuvo que retirarse porque sus algoritmos eran demasiado lentos para el tamaño del conjunto de datos y tenían problemas para manejar las vistas parciales de los modelos. Esto mostró que era relevante estudiar el tema de la eficiencia del matching 3D, en particular usando descriptores locales que son los más adecuados para resolver el problema del matching parcial, dado que para el futuro solo cabe esperar que las colecciones de modelos 3D sigan creciendo en tamaño.

En el Proyecto Fondecyt 1140783, "Efficient 3D Shape Matching Using Local Descriptors" desarrollamos algoritmos para resolver el problema descrito. En este artículo se describe un método basado en el enfoque métrico para búsqueda por similitud, que permite realizar el matching parcial de modelos 3D en forma eficiente.

CONCEPTOS BÁSICOS

A continuación se introducen los conceptos relevantes para entender el algoritmo propuesto de matching parcial de modelos 3D.

HEAT KERNEL SIGNATURES

El proceso de difusión de calor sobre un manifold compacto S se rige por la ecuación del calor:

$$\Delta_S(x, t) = -\frac{\partial u(x, t)}{\partial t}$$

donde Δ_S es el operador de Laplace-Beltrami de S y $u(x, t)$ es la distribución del calor sobre S en el tiempo t . La solución a esta ecuación es $K_t(x, y)$, denominado el kernel de calor. Ésta es una solución con una fuente puntual de calor en x , e intuitivamente corresponde a la cantidad de calor transferido de x a y en el tiempo t . Para un manifold compacto, el kernel de calor se puede expresar como los valores y vectores propios del operador de Laplace-Beltrami:

$$K_t(x, y) = \sum_{i=0}^{\infty} e^{-\lambda_i t} v_i(x) v_i(y)$$

donde λ_i es el i -ésimo valor propio y $v_i(\cdot)$ es el i -ésimo vector propio correspondiente a un punto dado. Sun et al. [SOG09] demostraron formalmente que el kernel de calor tiene propiedades

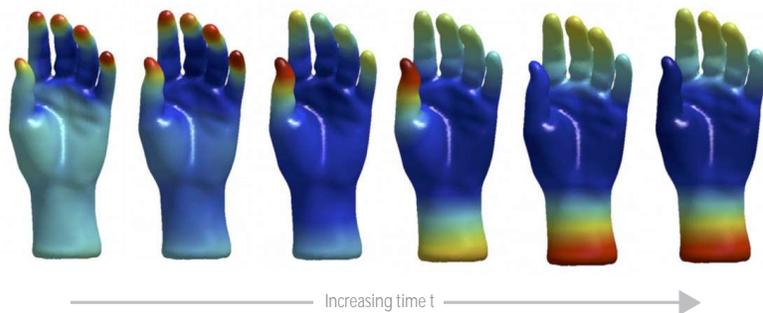


FIGURA 2. DISTRIBUCIÓN DEL CALOR EN EL TIEMPO. LOS COLORES VAN DESDE EL AZUL (VALORES BAJOS) AL ROJO (VALORES ALTOS). EL VALOR DE CALOR EN CADA PUNTO CAMBIA DE ACUERDO A LOS PARÁMETROS EN $K_t(x, x)$.

interesantes, por ejemplo es estable a perturbaciones en la superficie del modelo 3D.

Para obtener un descriptor usando el kernel de calor se calcula el valor $K_t(x, x)$ con lo que se obtiene la distribución de calor en el tiempo t para cada punto en la superficie del modelo. La Figura 2 muestra un ejemplo de cómo cambia la distribución del calor en un modelo a través del tiempo. En la práctica, el descriptor denominado Heat Kernel Signature se obtiene calculando $hks_t(x) = K_t(x, x)$ para n valores distintos de t , obteniéndose un descriptor n -dimensional.

$$hks(x) = \langle hks_{t_1}(x), hks_{t_2}(x), \dots, hks_{t_n}(x) \rangle$$

La Figura 3 muestra un ejemplo de la distribución del calor en el tiempo para distintos puntos en un modelo 3D. A partir de estos valores se construye el descriptor Heat Kernel Signature previamente descrito.

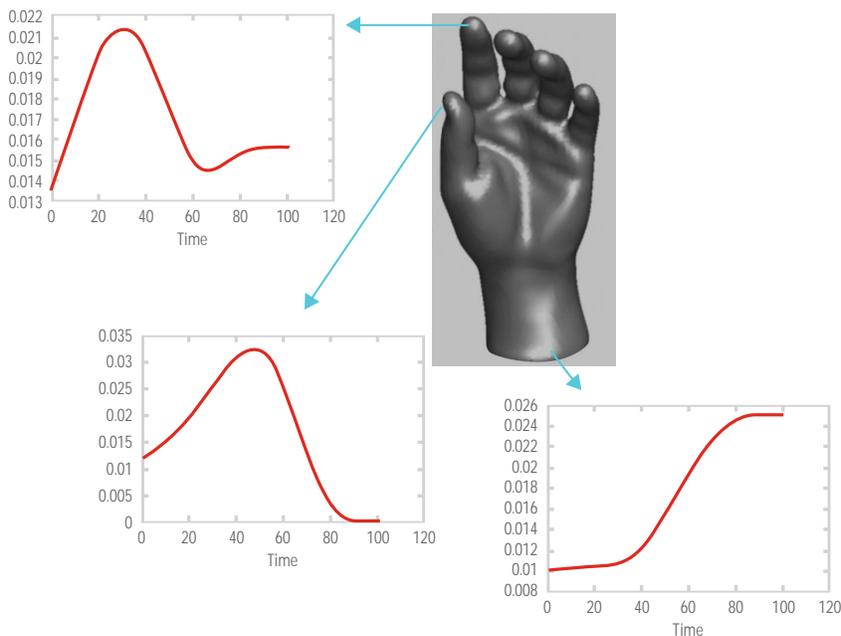


FIGURA 3. HEAT KERNEL SIGNATURES PARA TRES PUNTOS DIFERENTES EN EL MODELO. NOTE QUE LA DISTRIBUCIÓN DEL CALOR EN EL TIEMPO CORRESPONDE AL COMPORTAMIENTO ILUSTRADO EN LA FIGURA 2.

FIRMAS DE CARACTERÍSTICAS Y LA SIGNATURE QUADRATIC FORM DISTANCE

Beecks et al. [BUS10] propusieron la Signature Quadratic Form Distance (SQFD) como una medida flexible para comparar objetos multimedia. Una característica particular de esta función de distancia es que un objeto puede ser representado usando múltiples características. Adicionalmente, la comparación entre dos conjuntos de características puede realizarse incluso si ambos conjuntos poseen distinto número de características.

Suponga que un modelo 3D P se representa por un conjunto de características $F = \{f_i\}$, $f_i \in FS$, donde FS es un espacio de características de dimensión arbitraria. Suponga además que existe un clustering de $F: C_1, \dots, C_n$, donde cada C_i es el centroide de cada cluster y que tiene asociado un peso w_i , que corresponde

a la fracción del total de puntos en dicho cluster. La firma de características S^P se define como:

$$S^P = \{(C_i^P, w_i^P), i = 1, \dots, n\}$$

Note que el tamaño de S^P depende de su partición local en clusters y que esto es variable entre los distintos modelos 3D. Por esto, la firma de características de un modelo 3D puede tener un número distinto de tuplas con respecto a otros modelos.

Dadas dos firmas de características $S^P = \{(C_i^P, w_i^P), i = 1, \dots, n\}$ y $S^Q = \{(C_j^Q, w_j^Q), j = 1, \dots, m\}$, y una función de similitud positiva semidefinida $sim: FS \times FS \rightarrow \mathbb{R}$, la Signature Quadratic Form Distance se define como:

$$SQFD(S^P, S^Q) = \sqrt{(w^P | - w^Q) \cdot A_{sim} \cdot (w^P | - w^Q)^T}$$

donde la notación $(w^P | - w^Q)$ corresponde a la concatenación de los vectores de pesos, y $A_{sim} \in \mathbb{R}^{(n+m) \times (n+m)}$ es la matriz de similitud entre centroides de S^P y S^Q , definida como:

$$a_{i,j} = \begin{cases} sim(C_i^P, C_j^P) & \text{si } i \leq n \text{ y } j \leq n \\ sim(C_{i-n}^Q, C_j^P) & \text{si } i > n \text{ y } j \leq n \\ sim(C_i^P, C_{j-n}^Q) & \text{si } i \leq n \text{ y } j > n \\ sim(C_{i-n}^Q, C_{j-n}^Q) & \text{si } i > n \text{ y } j > n \end{cases}$$

La Figura 4 muestra la composición de la matriz de similitud A_{sim} . Por último, como medida de similitud en este trabajo se utiliza $sim(C^i, C^j) = e^{-\alpha d^2(C^i, C^j)}$, con $\alpha = 0.9$ y d es la distancia Euclidiana.

$$A_{sim} = \begin{matrix} & \begin{matrix} S^P & S^Q \end{matrix} \\ \begin{matrix} S^P \\ S^Q \end{matrix} & \begin{bmatrix} \text{sim}(c_i^P, c_j^P) & \text{sim}(c_i^P, c_{j-n}^Q) \\ \text{sim}(c_{i-n}^Q, c_j^P) & \text{sim}(c_{i-n}^Q, c_{j-n}^Q) \end{bmatrix} \end{matrix}$$

FIGURA 4.

LA MATRIZ DE SIMILITUD SE COMPONE DE CUATRO BLOQUES. LOS BLOQUES DE INTRADEPENDENCIA (ARRIBA IZQUIERDA Y ABAJO DERECHA) CONTIENEN LA SIMILITUD ENTRE CENTROIDES DENTRO DE LA MISMA FIRMA. LOS BLOQUES DE INTERDEPENDENCIA (ARRIBA DERECHA Y ABAJO IZQUIERDA) CONTIENEN LA SIMILITUD ENTRE CENTROIDES DE DISTINTAS FIRMAS.

MATCHING 3D USANDO DESCRIPTORES LOCALES

La idea general del algoritmo de matching de modelos 3D usando descriptores locales se puede resumir en los siguientes puntos:

1. Calcular los Heat Kernel Signatures para puntos en la superficie del modelo 3D.
2. Realizar un proceso de *clustering* sobre los descriptores calculados, lo que permite obtener la firma de características por cada modelo 3D.
3. Usar la SQFD como medida de distancia para implementar el matching a través de búsquedas por similitud.

Nuestra propuesta consiste en tres métodos distintos para calcular las firmas de los modelos 3D.

PRIMER MÉTODO: CALCULAR LA FIRMA SOBRE TODOS LOS VÉRTICES DEL MODELO 3D (SQFD-ALL)

Éste es el método más directo para implementar el algoritmo propuesto. Por cada vértice del modelo 3D, es decir, para todos los puntos de la malla, se calcula su descriptor Heat Kernel Signature, los que conforman el espacio de descriptores *FS*. Luego, se realiza el proceso de *clustering* sobre todos estos descriptores, lo que permite calcular la firma por cada modelo 3D. Por último, se utiliza la SQFD como función de distancia para realizar las búsquedas por similitud.

SEGUNDO MÉTODO: CALCULAR LA FIRMA SOBRE LOS PUNTOS DE INTERÉS DEL MODELO 3D (SQFD-IP)

En este método ya no se utilizan todos los puntos de la malla para calcular la firma, sino que solo se consideran los puntos identificados como puntos de interés. La hipótesis detrás de este método es que no necesariamente todos los puntos de la malla producen un espacio de descriptores suficientemente discriminativo, por lo que el algoritmo de matching se beneficiaría al utilizar sólo un subconjunto de los puntos. Como algoritmo detector de puntos de interés en ma-

llas 3D utilizaremos el algoritmo Harris 3D [SB11], escogiendo como puntos de interés el 1% del total de puntos de la malla. Esto tiene como ventaja adicional que el proceso de clustering se agiliza, dado que ahora se realiza solo sobre el 1% de los datos.

TERCER MÉTODO: CALCULAR LA FIRMA SOBRE CLUSTERS DE PUNTOS DE INTERÉS (SQFD-CLUSTER)

Este método se basa en el hecho que los puntos de interés detectados por el algoritmo Harris 3D tienden a formar *clusters*. Esto permite, por ejemplo, eliminar puntos de interés aislados que no pertenecen a ningún *cluster*, dado que estos puntos pueden haber sido identificados como de interés pero en realidad son producto de ruido en la malla. Los *clusters* no se identifican directamente en el espacio 3D, sino que en el espacio geodésico de la superficie de la malla. En este espacio, las distancias se miden como el camino más corto recorrido a través de la superficie para llegar de un punto a otro. Esto permite encontrar *clusters* de puntos de interés que son invariantes a transformaciones no-rígidas de la malla. La Figura 5 muestra un ejemplo de los *clusters* de puntos de interés calculados para distintos modelos 3D.

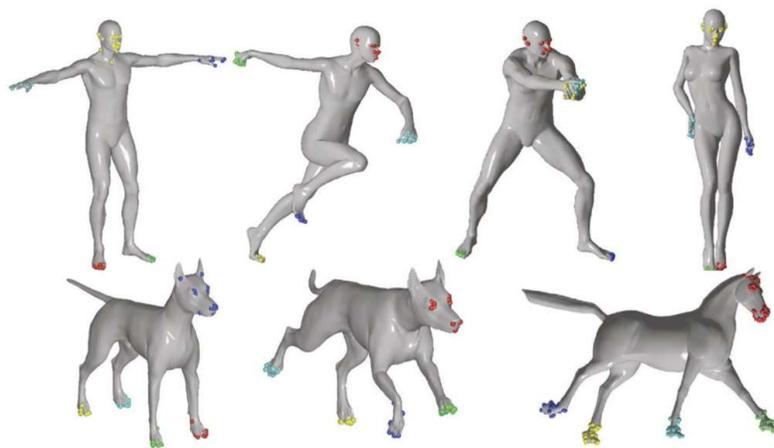


FIGURA 5.
CLUSTERS DE PUNTOS DE INTERÉS EN DISTINTOS MODELOS 3D.

Luego, se procede a calcular la firma del objeto 3D. Por cada *cluster*, se calcula el Heat Kernel Signature para cada punto interés perteneciente a dicho *cluster*. La firma se compone de los centroides de los descriptores por cada *cluster*, y el peso asociado a cada centroide es proporcional al número de puntos de interés en su *cluster*.

EVALUACIÓN EXPERIMENTAL

Para hacer la evaluación de los métodos propuestos, construimos un set de datos a partir de dos datasets ocupados en benchmarking de búsqueda y recuperación de modelos 3D: el TOSCA dataset [BBK08] y el Sumner dataset [SP04]. La Figura 6 muestra la comparación experimental entre los tres métodos propuestos. Se observa que el tercer método (SQFD-Cluster) es el que obtiene un mejor desempeño en términos de eficacia. Esto nos indica que el calcular las firmas a partir de *clusters* en el espacio geodésico permite captar información espacial en el descriptor, que luego es muy útil al momento de realizar el proceso de matching.

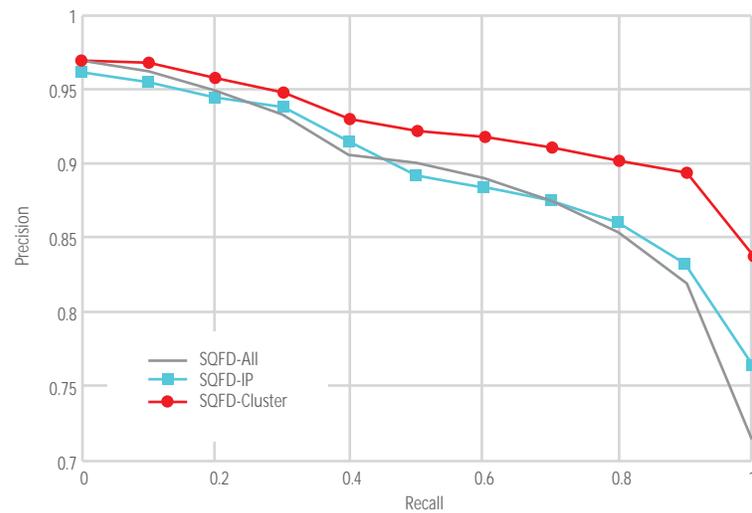


FIGURA 6.

GRÁFICO *PRECISION VERSUS RECALL* COMPARANDO LOS TRES MÉTODOS PROPUESTOS (MIENTRAS MÁS ARRIBA, MEJOR).

Comparado con otros algoritmos no supervisados de matching del estado del arte, el método SQFD-Cluster obtiene una mejor eficacia. Por último, cabe destacar que dado que la distancia SQFD es una métrica, es posible utilizar técnicas de indexamiento para agilizar la eficiencia del

proceso de matching. En nuestros experimentos, utilizando una técnica simple de indexación conocido como las tablas de pivotes [ZAD+10], pudimos reducir el tiempo del matching a un 3-5% comparado con el matching sin indexamiento, sin afectar la eficacia del método.

CONCLUSIONES

EN ESTE TRABAJO SE DESARROLLARON TRES MÉTODOS PARA CALCULAR DESCRIPTORES LOCALES 3D, CON EL OBJETIVO DE IMPLEMENTAR ALGORITMOS DE MATCHING PARCIAL. EXPERIMENTALMENTE SE OBSERVA QUE EL MEJOR MÉTODO ES AQUEL QUE CALCULA LOS DESCRIPTORES LOCALES SOBRE *CLUSTERS* DE PUNTOS DE INTERÉS. ADICIONALMENTE, EL USO DE LA SQFD COMO MEDIDA DE DISTANCIA PARA REALIZAR EL MATCHING PERMITE UTILIZAR TÉCNICAS DE INDEXAMIENTO PARA ACELERAR EL PROCESO DE MATCHING. ■

REFERENCIAS

[SLB+] Iván Sipirán, Jakub Lokoc, Benjamín Bustos, and Tomas Skopal. Scalable 3D shape retrieval using local features and the Signature Quadratic Form Distance. To appear in *The Visual Computer*. Springer.

[BKS+05] Benjamín Bustos, Daniel Keim, Dietmar Saupe, Tobias Schreck, and Dejan Vranic. Feature-based similarity search in 3D object databases. *ACM Computing Surveys*, 37(4):345-387. ACM Press, 2005.

[SMB+13] Iván Sipirán, Rafael Meruane, Benjamín Bustos, Tobias Schreck, Henry Johan, Bo Li, and Yijuan Lu. SHREC'13 Track: Large-scale partial shape retrieval using simulated range images. In *Proc. 6th Eurographics Workshop on 3D*

Object Retrieval (3DOR'13), pages 81-88. Eurographics Association, 2013.

[SOG09] Jian Sun, Maks Ovsjanikov, and Leonidas Guibas. A Concise and Provably Informative Multi-Scale Signature Based on Heat Diffusion. *Computer Graphics Forum* 28(5), 2009.

[BUS10] Christian Beecks, Merih Seran Uysal, and Thomas Seidl. Signature Quadratic Form Distance. In *Proc. ACM International Conference on Image and Video Retrieval (CIVR'10)*, pages 438-445. ACM, 2010.

[SB11] Iván Sipirán and Benjamín Bustos. Harris 3D: A robust extension of the Harris operator for interest point detection

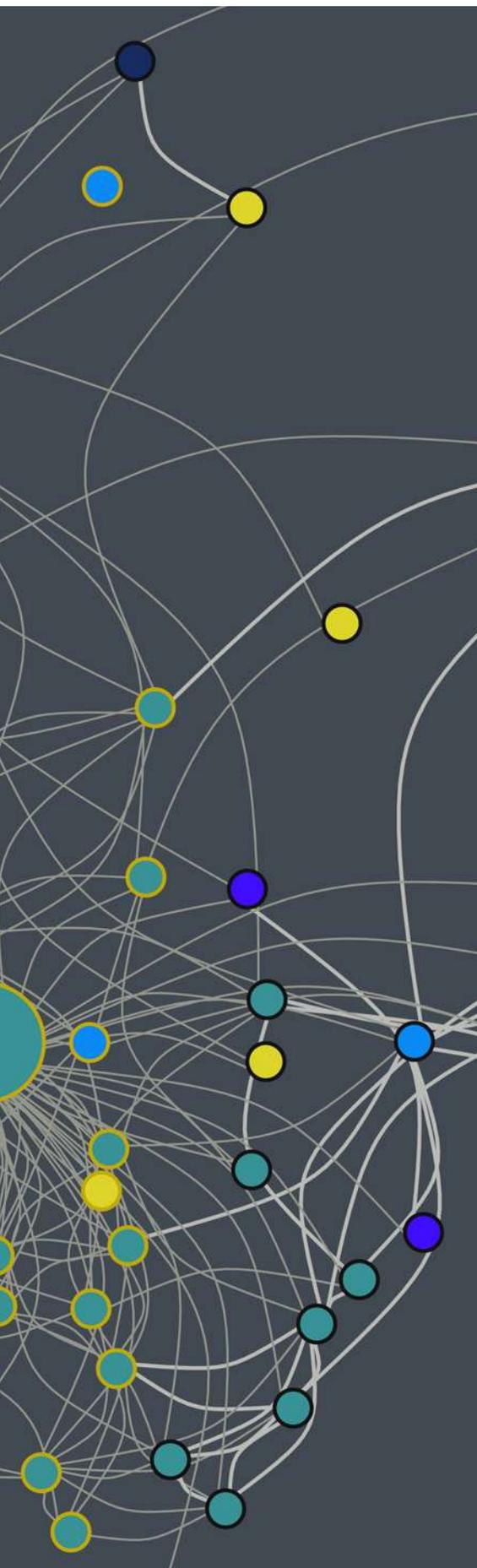
on 3D meshes. *The Visual Computer*, 27(11):963-976. Springer, 2011.

[BBK08] Alexander Bronstein, Michael Bronstein, and Ron Kimmel. *Numerical Geometry of Non-Rigid Shapes*, 1 edn. Springer, 2008.

[SP04] Robert Sumner, and Jovan Popovic. Deformation transfer for triangle meshes. *ACM Transactions on Graphics* 23(3):399-405. ACM, 2004.

[ZAD+10] Pavel Zezula, Giuseppe Amato, Vlatislav Dohnal, and Michal Batko. *Similarity Search: The Metric Space Approach*. Springer, 2010.

CIENCIOMETRÍA: FACTORES DE IMPACTO Y MAPAS DE LA CIENCIA



MARCELO MENDOZA

Académico del Departamento de Informática de la Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM) desde 2011. Doctor en Ciencias mención Computación, Universidad de Chile (2007); Magíster en Ciencias de la Ingeniería Informática, UTFSM (2001) e Ingeniero Civil Electrónico, UTFSM (2001). Director del Programa de Magister en Ciencias de la Ingeniería Informática (UTFSM) desde 2014 y Presidente de la Asociación Chilena de Reconocimiento de Patrones (ACHIRP) desde 2015. Líneas de investigación: Minería de Texto, Recuperación de Información en Texto, Minería de Datos en Redes Sociales. mmendoza@inf.ut fsm.cl



MIGUEL GUEVARA

Académico del Departamento de Computación e Informática, Facultad de Ingeniería de la Universidad de Playa Ancha (UPLA) desde 2008. Doctor en Ingeniería Informática, Universidad Técnica Federico Santa María, UTFSM (2016); Magíster en Ciencias de la Ingeniería Informática, UTFSM (2013); Magíster en Tecnologías de la Información, UTFSM (2007) e Ingeniero en Informática, Universidad Central del Ecuador (2001). Coordinador del Núcleo de Innovación (UPLA). Líneas de investigación: Minería de Datos Científicos desde la Web, Cienciometría, Redes Complejas, Educación y Tecnología. miguel.guevara@upla.cl

La cienciometría es la disciplina que analiza la producción científica como objeto de estudio. Son sus principales áreas la medición del impacto científico, el estudio de patrones de colaboración, el análisis de modelos de propagación de información y la construcción de mapas de la ciencia.

Existe un amplio consenso en cienciometría en cuanto a que el número de artículos publicados por autor no refleja el impacto que éste tiene en su comunidad. Gupta *et al.* [1] mostraron que la distribución de citas por artículos sigue una *power-law*, es decir unos pocos artículos realmente logran tener impacto, mientras que la mayoría de ellos registran pocas citas y su impacto es prácticamente nulo. Por ello, contar artículos es *naïve* en términos de impacto.

FACTORES DE IMPACTO

Entendemos por impacto científico a la contribución específica de un artículo en un área. Un artículo de alto impacto necesariamente es referenciado por otros artículos. Debido a lo anterior, la señal predominante del impacto de un artículo se refleja en las citas.

Tanto Web of Science¹ (WoS) como Scopus², los dos principales servicios de indexación de artículos científicos, han incorporado factores de impacto como parte de sus servicios. WoS usa el Journal Impact Factor (IF), definido como el cociente entre el número de citas en un año y el número de artículos publicados por la revista los dos años anteriores. Se liberan anualmente en el Journal Citation Report (JCR).

1 <http://webofknowledge.com>
2 <http://www.scopus.com>

En Chile, la asignación de recursos del Estado para financiar investigación a través de Conicyt ha utilizado principalmente JCR como indicador de impacto de los investigadores. Se ha asumido que la revista es un *proxy* del impacto futuro del artículo. El supuesto es que un artículo publicado en una revista con alto IF será un artículo con muchas citas. Sin embargo, en ciencia métrica existe consenso en que la correlación entre IF y la mediana de citas por artículo es débil [2], lo que cuestiona la capacidad predictiva de IF como indicador de impacto.

A nivel de autor, actualmente es el H-index [3] el índice de impacto más usado. Un H-index igual a h indica que los h artículos más citados de un autor tienen más de h citas. El H-index es eficaz en descartar artículos que pertenecen al long-tail de la distribución de citas por artículos. Una variante del H-index, denominada G-index [4], busca además medir el efecto del número de citas sobre el umbral h . Un G-index igual a g indica que los g artículos más citados de un autor tienen más de g citas en promedio. Esto favorece a autores cuyos artículos más citados tienen muchas citas, como muestra la Figura 1. Se puede mostrar que $H\text{-index} \leq G\text{-index}$.

Scopus ha incorporado nuevos índices de impacto a su servicio de indexación. Usa el Impact per Publication (IPP) que es equivalente al IF pero sobre una ventana de tres años. Además incorpora el Source Normalized IP [6] (SNIP) que introduce un factor de normalización según el largo de las listas de referencias (mientras mayor es el largo de la lista de referencias, menor es el valor de sus citas), y el SJR (Scimago Journal Rank) [7] que corresponde al PageRank calculado en la red de citaciones entre revistas.

La pregunta acerca de cuál servicio de indexación es mejor es controversial. Sin embargo, existe evidencia en favor de Scopus en términos de mejor cobertura. Al año 2016, Scopus indexa 29,566 revistas, mientras que Web of Science registra 18,843 [5], con una intersección entre ambos servicios de 14,391 revistas. En términos de factores de impacto, Scopus ha incorporado IPP, SNIP y SJR los cuales son índices que presentan mejoras frente a IF [6,7].

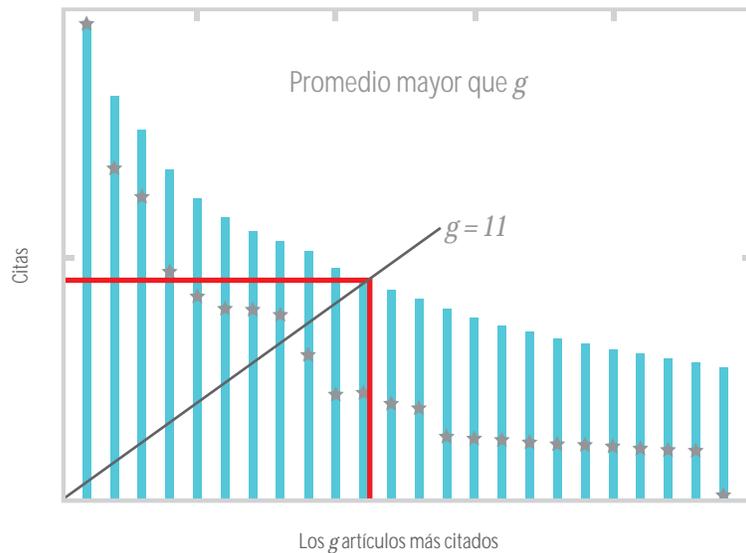


FIGURA 1. UN AUTOR OBTIENE G-INDEX 11 DEBIDO A QUE SUS ARTÍCULOS MÁS CITADOS TIENEN MUCHAS CITAS, LO CUAL SUBE EL PROMEDIO DE CITAS SOBRE G. EN EL EJEMPLO, EL MISMO AUTOR OBTENDRÍA UN H-INDEX 8.

LOS MAPAS DE LA CIENCIA

Los factores de impacto son incapaces de producir una adecuada caracterización a un nivel de granularidad mayor. Por ejemplo, si necesitamos evaluar un grupo de investigadores, una institución o incluso un país, ningún factor de impacto es capaz por sí sólo de representar adecuadamente la productividad científica. Esto se debe a que al aumentar la granularidad se incorpora una compleja red de interacciones y patrones de producción, incapaces de ser representados adecuadamente por un solo indicador.

Desde la ciencia métrica se ha abordado el problema de la caracterización a mayores niveles de granularidad usando mapas, redes de información en las que los nodos representan áreas de la ciencia (en algunos casos también revistas científicas) y los enlaces representan similitud entre estas áreas. Un compendio de la hetero-

génea lista de mapas realizados para caracterizar el conocimiento científico fue realizado por Katy Börner en el denominado Atlas de la Ciencia [8]. La mayoría de estos mapas han sido realizados por expertos (bibliómetros) y están basados en patrones de citas entre revistas o artículos científicos.

Pero las redes de información no son exclusivas del área de la ciencia métrica. El año 2011 el grupo Collective Learning de MIT Media Lab, dirigido por el chileno César Hidalgo, en colaboración con Ricardo Hausmann de la Universidad de Harvard, publicaron el Atlas de la Complejidad Económica [9]. En el Atlas y artículos relacionados, los autores pretenden caracterizar la complejidad de la matriz productiva económica a nivel global. La naturaleza del problema era similar. Era necesario comparar la producción económica a altos niveles de granularidad (países) sobre unidades de distinta complejidad y tamaño. Nos propusimos abordar con Hidalgo el tema de la producción científica desde la base que nos ofrecía el Atlas de la Complejidad Económica.

ANÁLISIS DE VENTAJAS COMPARATIVAS

Economías de tamaños distintos son comparables si se evalúan en términos relativos. Una ventaja comparativa es la habilidad de elaborar un producto a un costo marginal sobre otro producto. Esto se debe a que la producción económica está condicionada a la estructura de la matriz productiva. El desarrollo de productos se realiza por áreas de producción, debido a las facilidades y capacidades desarrolladas en esa área. En ciencia ocurre algo similar. Son las capacidades de los investigadores y las

facilidades de las instituciones que los acogen las que explican el desarrollo del nuevo conocimiento.

Es posible caracterizar la matriz productiva usando ventajas comparativas reveladas (RCA) [10] a partir de su producción actual. El índice RCA de un productor c en un producto f se define como el cociente entre la producción relativa de c en f a su producción total, sobre la producción global relativa en f a la producción global total. Por ejemplo, en Ciencia de la Computación se produjeron 1,222,228 artículos científicos entre los años 1996 y 2011 (fuente SCImago³), lo que representa el 4% de la producción científica global. Hong Kong produjo 174,400 artículos, de los cuales 16,684 corresponden a Ciencia de la Computación, lo que representa el 9.5%

de su producción científica. Luego, en términos de número de artículos, Hong Kong tiene una $RCA = 2.37$ en Ciencia de la Computación. En el área de cienciometría, la medida RCA se conoce como Índice de Actividad (AI).

Se dice que c tiene una ventaja comparativa para producir f si su índice RCA es mayor que 1. Notar que podemos reemplazar el índice de producción por citas o H-index. Además, el análisis basado en productividad nos permite caracterizar la diversidad de la matriz productiva y la ubicuidad de la producción en una determinada área. La diversidad productiva de c consiste en el número de áreas en las cuales c tiene un $RCA > 1$. La ubicuidad de un área f consiste en el número de productores donde el área tiene un $RCA > 1$. Hemos estudiado los resultados del análisis de diversidad y ubicuidad productiva para la ciencia que realizamos usando datos de SCImago⁴ [11]. Las Tablas 1 y 2 muestran resultados de ubicuidad y diversidad para producción de artículos, citas y H-index, respectivamente.

La Tabla 1 muestra que las áreas con mayor ubicuidad son "Agricultura y Biología" y "Medioambiente". "Ciencia de la Computación" es una de las áreas menos ubicuas en los tres indicadores. La Tabla 2 muestra los países con mayor diversidad en su matriz productiva. Se pueden observar algunas diferencias al variar el índice de productividad. Por ejemplo, en producción de artículos, Canadá y Holanda ocupan el primer lugar, con RCA en 16 áreas, mientras que en producción de citas la matriz de mayor diversidad la tiene Malasia y en H-index los Emiratos Árabes Unidos. Chile ocupa el lugar 35 en la tabla, ordenada por diversidad en producción de artículos.

Nuestro *package* para R, *diverse* [12], facilita el cálculo de las medidas de RCA y ubicuidad, además de varias medidas de diversidad. En [13] describimos el detalle de este tipo de redes y también construimos mapas de la ciencia con datos de ejemplo incluidos en el *package*.

Research field	Ubi Articles	Ubi Citations	Ubi H-index
Agricultural and Biological Sciences	178	179	165
Arts and Humanities	76	54	79
Biochemistry, Genetics and Molecular Biology	24	18	87
Business, Management and Accounting	67	45	68
Chemical Engineering	53	68	74
Chemistry	55	60	81
Computer Science	37	44	64
Decision Science	54	57	55
Dentistry	67	64	65
Earth and Planetary Science	124	122	128
Economics, Econometrics and Finance	82	52	79
Energy	84	98	96
Engineering	38	58	83
Environmental Science	172	166	153
Health Professions	53	32	63
Immunology and Microbiology	141	130	120
Materials Science	42	60	72
Mathematics	72	79	80
Medicine	124	102	141
Multidisciplinary	84	34	47
Neuroscience	34	24	59
Nursing	75	46	69
Pharmacology, Toxicology and Pharmaceutics	70	72	97
Physics and Astronomy	53	59	71
Psychology	40	27	59
Social Sciences	126	115	139
Veterinary	126	130	113

TABLA 1.
ÍNDICES DE UBICUIDAD PARA PRODUCCIÓN DE ARTÍCULOS, CITAS Y H-INDEX.

3 <http://www.scimagojr.com/>

4. Datos de Scimago 1996-2011, correspondiente a la producción en 238 países en 27 áreas. Se registran 29,895,499 artículos con 429,922,232 citas.

Country	Div Articles	Div Citations	Div H-index
Canada	16	14	13
Netherlands	16	14	13
United States	15	13	12
Israel	15	12	15
Norway	15	12	14
Australia	15	12	12
United Kingdom	14	15	12
Ireland	14	10	14
Finland	14	8	14
United Arab Emirates	13	14	17
New Zealand	13	12	15
Switzerland	13	12	13
Belgium	12	13	14
Malaysia	12	16	14
Sweden	12	11	11
Portugal	11	14	14
Thailand	11	13	15
Saudi Arabia	11	13	13
India	11	13	10
South Korea	11	12	14
Indonesia	11	12	13
Croatia	11	12	11
Mexico	11	11	16
Serbia	11	11	14
Singapore	11	11	13
China	11	11	10
Qatar	11	10	12
Argentina	11	10	12
Denmark	11	9	12
Austria	11	7	9
Hong Kong	10	15	15
Spain	10	11	15
Czech Republic	10	11	12
Italy	10	10	13
Chile	10	10	10

TABLA 2.
ÍNDICE DE DIVERSIDAD PARA PRODUCCIÓN DE ARTÍCULOS, CITAS Y H-INDEX.

EL RESEARCH SPACE

Deseábamos construir una red aplicable no solo a países sino también a instituciones y personas. Por lo que decidimos avanzar nuestra investigación hacia la construcción de un mapa de la ciencia que permitiera predecir la producción científica. Denominamos a este mapa, el Espacio de Investigación (*Research Space*) [14].

La mayoría de mapas de la ciencia, como los mapas recogidos en el libro de Katy Börner,

construyen las relaciones entre áreas basados en patrones de citas. Ésta es una excelente forma de *ordenar* la ciencia. Nuestro interés era distinto, ya que nos interesaba capturar las capacidades productivas de los generadores de nuevo conocimiento para detectar cómo se relacionan las áreas de investigación desde esta mirada *productiva*. Para esto, requerimos trabajar al mayor nivel de profundidad productiva, esto es, a nivel de individuos. Aquí afrontamos un primer desafío, y es que las bases de datos científicas disponibles (en 2013) a nivel de usuario eran inexistentes o contenían serios problemas de ambigüedad de nombres. Resolvimos este

problema descargando datos de Google Scholar⁵, la que puede ser vista como una base de datos curada por los mismos usuarios (una especie de *crowdsourcing*). Esto se debe a que los usuarios registrados deben indicar explícitamente cuáles publicaciones son de su autoría.

Con técnicas de *web scraping* y por un período de más de dos meses, logramos obtener 319,049 usuarios y 475,774 publicaciones que vinculamos a 16,873 revistas científicas.

Con este conjunto de datos conectamos cada publicación –y en consecuencia cada autor– a una categoría de la ciencia en la clasificación de SCImago (la que incluye 308 categorías agrupadas en 27 áreas). Hicimos lo propio utilizando la clasificación UCSD, que fue propuesta por uno de los mapas de citas más difundidos y que es el mapa con el que comparamos nuestros resultados. Esta clasificación incluye 554 categorías agrupadas en 13 disciplinas.

Para definir los valores de similaridad (cercanía) entre categorías de la ciencia, calculamos la probabilidad condicional de que un autor publicara en dos áreas al mismo tiempo. Es decir, cada enlace representa similaridad entre áreas de la ciencia considerando capacidades productivas demostradas en artículos publicados. Nótese aquí la diferencia con mapas de la ciencia basados en citas, debido a que el hecho de citar un artículo de cierta área, no significa necesariamente que el autor tenga las capacidades de publicar en esa área. Para tomar el ejemplo de un artículo de “Redes Neuronales Artificiales” (un área de fuerte desarrollo en Computación), el autor de ese artículo puede citar artículos en el área de la “Fisiología del Cerebro”, pero no necesariamente es capaz de publicar en esa área. En sentido opuesto, un artículo en el área de la “Fisiología del Cerebro” puede citar un artículo de algún método computacional, pero esto no implica que los autores sean capaces de aportar al conocimiento nuevo en el área de la Computación. Nuestro mapa propone esa diferencia metodológica en la construcción de los enlaces.

5. <http://scholar.google.com/>

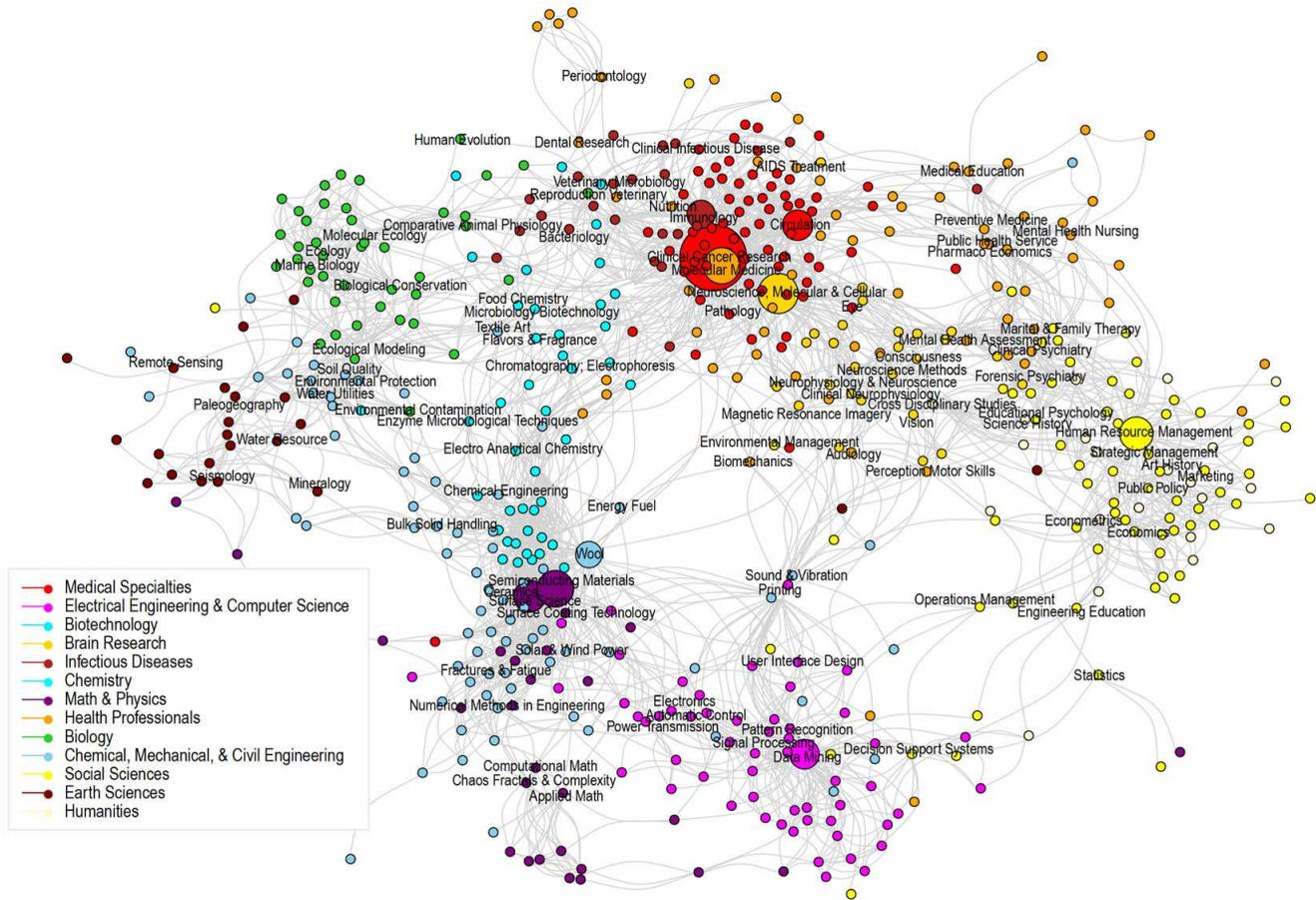


FIGURA 2.

EL ESPACIO INVESTIGACIÓN. LOS NODOS REPRESENTAN CATEGORÍAS EN CLASIFICACIÓN UCSD. LOS ENLACES ESTÁN DEFINIDOS EN BASE A LA PROBABILIDAD CONDICIONAL DE QUE UN AUTOR PUBLIQUE EN LAS DOS ÁREAS AL MISMO TIEMPO. COLORES DEFINIDOS POR DISCIPLINA.

En la Figura 2, presentamos el Espacio Investigación en clasificación UCSD. En esta Figura, utilizando una analogía geográfica, se aprecia por ejemplo, computación en el Sur, "Medicina" en el Norte, "Ciencias Sociales" en el Este y "Ciencias de la Tierra" en el Oeste. Las "Ciencias Básicas" en el Suroeste, "Biología" en el Noroeste y las "Ciencias de la Salud" en el Noreste. Se pueden apreciar conexiones que hacen mucho sentido, por ejemplo, la cercanía entre categorías de la "Matemática" y categorías de la "Computación".

Una vez construido el mapa, podemos posicionar a los productores sobre él. Los productores son entidades a distintos niveles de agrupación, por ejemplo, individuos, instituciones o países.

Para visualizar la producción podemos definir estados basados en alguna medida, como por ejemplo los porcentajes de producción en cada categoría, o, en el caso de países, definir estos estados según sus valores de "ventajas comparativas" (RCA). El primero (porcentajes) es un análisis local o interno, mientras que el segundo es un análisis en relación con los demás productores de ciencia.

Para nuestro análisis definimos dos estados básicos: Inactivo y Activo. A su vez, el estado Activo lo podemos subdividir en Naciente, Intermedio y Desarrollado. En el caso de porcentajes de producción, estos tres últimos estados se pueden definir utilizando cuartiles, mientras que en el caso de RCA estos estados se definen

como Desarrollado para valores mayores a 1 (con ventajas comparativas), Intermedio para valores de RCA entre 0.5 y 1, y Naciente para valores RCA menores a 0.5.

Con los datos de producción que obtuvimos de Google Scholar, y asociando cada usuario a una institución y cada institución a un país, podemos visualizar y evaluar la producción de individuos, instituciones y países. Por ejemplo, en la Figura 3A presentamos el espacio investigación del Instituto Tecnológico de Massachusetts MIT utilizando porcentajes de producción para definir los estados; mientras que en la Figura 3B presentamos el espacio investigación de Chile, utilizando RCA para definir los estados. En el caso de MIT, se notan

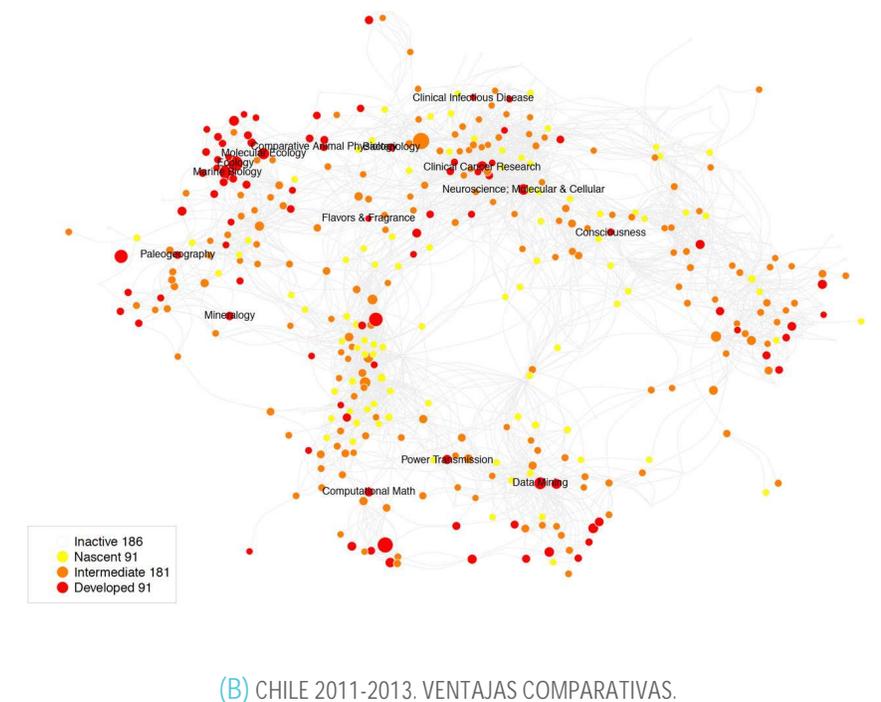
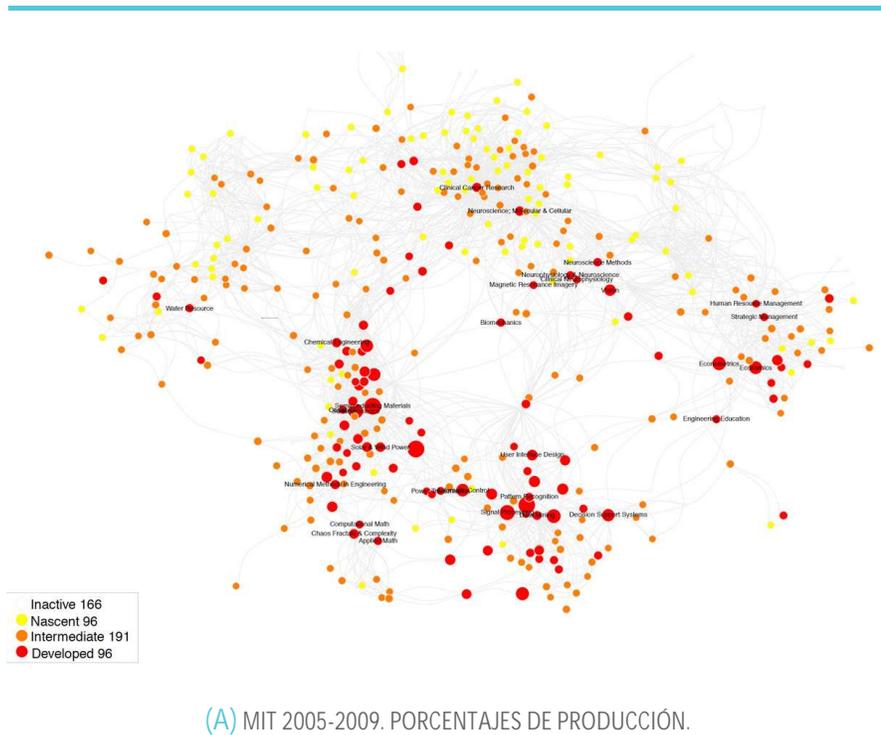


FIGURA 3. MAPAS SUPERPUESTOS DE EJEMPLO PARA INSTITUCIONES Y PARA PAÍSES. LOS COLORES INDICAN EL ESTADO DE DESARROLLO SEGÚN LA MEDIDA EVALUADA.

altos niveles de producción en áreas de la “Ingeniería”, la “Computación”, las “Ciencias Básicas” o la “Economía”. En el caso de Chile, para el período 2011-2013 se aprecian 91 áreas Desarrolladas ($RCA > 1$) entre las que destacan “Investigación Clínica en Cáncer”, “Ecología”, “Biología Marina”, “Neurociencia”, “Minería de Datos” o “Matemática Computacional”.

Para evaluar las capacidades predictivas de nuestro mapa, utilizamos una medida de *densidad* activa que calcula qué tan conectado se encuentra un nodo inactivo con nodos ya activados. Para esto, para cada nodo inactivo en un tiempo t , calculamos el radio entre la suma de enlaces con nodos ya activos y lo dividimos por la suma total de enlaces conectados a ese nodo inactivo. Esta medida la calculamos tanto para la transición de Inactivo a Activo, como para las transiciones de Naciente a Desarrollado y de Intermedio a Desarrollado. Después, construimos una lista ordenada de áreas que se desarrollarán (que pasan a un estado superior) en el futuro y evaluamos esta lista con la datos reales del tiempo $t+1$. Conducimos la evaluación en dos intervalos de tiempo, entre 2008 y 2010 (t) y, entre 2011 y 2013 ($t+1$).

Evaluamos los resultados para cada transición y para cada tipo de productor, utilizando el área bajo la curva ROC (Receiver Operating Characteristic) que muestra en el eje Y la razón de verdaderos positivos (RTP) y en el eje X la razón de falsos positivos (RFP). Cada vez que un elemento Inactivo de la lista, ordenada según la medida de densidad, se Activa, la curva ROC avanza en el eje Y (RTP), en caso contrario, avanza en el eje X (RFP). El área bajo una curva (AUC) ROC obtenida aleatoriamente tiene valores cercanos a 0.5. Valores superiores a 0.6 se consideran aceptables, mientras que valores menores a 0.5 se consideran peores que *random*.

Consideramos solamente productores con suficientes datos para generar transiciones en los intervalos de tiempo estudiados, por lo que conducimos el análisis para 4850 individuos, 730 organizaciones y 77 países. En general para todos los productores y transiciones evaluadas

obtuvimos un promedio del área bajo la curva ROC mayor a 0.6, siendo el mejor caso el de individuos en transición Inactivo-Activo, con un valor en promedio de 0.89. En la misma transición, a nivel de instituciones obtuvimos un valor de 0.71 y a nivel de países un valor promedio de AUC igual a 0.68. En la transición de Naciente (nodos amarillos en Figura 3B) a Desarrollado (nodos rojos en Figura 3B), los resultados en

promedio de AUC fueron de 0.69 para instituciones y de 0.62 para países. Finalmente para la transición de Intermedio (nodos de color naranja en Figura 3b) a Desarrollado, obtuvimos valores en promedio de 0.64 para instituciones y de 0.65 para países. Nótese que no se evaluaron transiciones basadas en RCA para individuos debido a que la cantidad de transiciones a nivel de personas es insuficiente para conducir este análisis.

En [14] también mostramos que nuestro mapa no solo obtiene buenos resultados, sino que estos resultados son mejores (diferencia estadísticamente significativa) en comparación con el mapa UCSD [15] que es un mapa basado en patrones de citas. Esto a nivel de individuos y de instituciones, pero no así a nivel de países.

OBSERVACIONES FINALES

LOS RESULTADOS DE NUESTRA INVESTIGACIÓN PUEDEN APOYAR TAREAS DE POLÍTICA PÚBLICA Y POLÍTICA INSTITUCIONAL, POR EJEMPLO PARA PRIORIZAR ÁREAS Y LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN EN UN PAÍS O UNA INSTITUCIÓN. ADEMÁS, EL ESPACIO INVESTIGACIÓN, TAMBIÉN PERMITIRÁ EVALUAR LA CALIDAD PRODUCTIVA CIENTÍFICA DE INDIVIDUOS, INSTITUCIONES Y PAÍSES DESDE UNA MIRADA MÁS COMPLEJA, VALE DECIR, CONSIDERANDO FACTORES COMO ESPECIALIZACIÓN/DIVERSIFICACIÓN O VENTAJAS COMPARATIVAS.

EN EL FUTURO, ESPERAMOS DIFUNDIR UNA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL QUE PERMITA A LOS INDIVIDUOS, INSTITUCIONES Y PAÍSES, ANALIZAR SUS PROPIOS DATOS DE PRODUCCIÓN CIENTÍFICA, SUPERPONIENDO SU INFORMACIÓN AL ESPACIO INVESTIGACIÓN Y CALCULANDO DIFERENTES MEDIDAS DE DIVERSIDAD PRODUCTIVA COMO LAS PROPUESTAS EN [13]. ■

REFERENCIAS

- [1] Gupta, H., Campanha, J., Pesce, R. (2005). Power-law distributions for the citation index of scientific publications and scientists. *Brazilian Journal of Physics*, 35(4).
- [2] Eds. (2013). Beware the impact factor. *Nature Materials*, 12(89).
- [3] Hirsch, J. (2005). An index to quantify an individual's scientific research output. *PNAS* 102(46):16569-16572.
- [4] Egghe, L. (2006). Theory and practice of the g-index. *Scientometrics*, 69(1):131-152.
- [5] Mongeon, P., Paul-Hus, A. (2016). The journal coverage of Web of Science and Scopus: a comparative analysis. *Scientometrics*, 106(1):213-228.
- [6] Moed, H. (2010). Measuring contextual citation impact of scientific journals. *Journal of Informetrics*, 4(3):265-277.
- [7] González-Pereira, B., Guerrero-Bote, V., Moya-Aneón, F. (2010). A new approach to the metric of journals' scientific prestige: The SJR indicator. *Journal of Informetrics*, 4(3):379-391.
- [8] Borner, K. (2010). *Atlas of Science, visualizing what we know*. MIT Press.
- [9] Hausmann, R., Hidalgo, C., Bustos, S., Coscia, M., Chung, S., Jiménez, J., Simoes, A., Yildirim, M. (2011). *The Atlas of Economic Complexity*, MIT Press.
- [10] B. Balassa, "Trade Liberalisation and 'Revealed' Comparative Advantage", *The Manchester School*, vol. 33, n° 2, pp. 99-123, 1965.
- [11] Guevara, M., Mendoza, M. (2013). *Revealing comparative advantages in the backbone of Science*. CIKM, San Francisco, CA, USA.
- [12] M. R. Guevara, D. Hartmann, y M. Mendoza, diverse: Diversity Measures for Complex Systems. 2015. Disponible en <http://CRAN.R-project.org/package=diverse>
- [13] Guevara, M. R., Hartmann, D., & Mendoza, M. (2016). Diverse: an R Package to Measure Diversity in Complex Systems. *The R Journal*, 8(2), 60-78.
- [14] Guevara, M., Hartmann, D., Aristarán, M., Mendoza, M., Hidalgo, C. (2016). The Research Space: Using career paths to predict the evolution of the research output of individuals, institutions and nations. *Scientometrics*, 109(3):1695-1709.
- [15] K. Börner et al., "Design and Update of a Classification System: The UCSD Map of Science", *PLoS ONE*, vol. 7, n° 7, p. e39464, jul. 2012.

IV SIMPOSIO DE HISTORIA DE LA INFORMÁTICA DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

XLII CONFERENCIA
LATINOAMERICANA
DE INFORMÁTICA

VALPARAÍSO·CHILE

CLEI

10 AL 14
OCTUBRE | 2016



IEEE

Advancing Technology
for Humanity



JUAN ÁLVAREZ RUBIO

Académico Departamento de Ciencias de la Computación, Universidad de Chile. Master of Mathematics (Computer Science), University of Waterloo. Ingeniero de Ejecución en Procesamiento de la Información, Universidad de Chile. Organizador del IV Simposio de Historia de la Informática de América Latina y el Caribe. Junto a su labor como docente, trabaja en reconstruir la Historia de la Computación en Chile. jalvarez@dcc.uchile.cl

El IV "Simposio de Historia de la Informática de América Latina y el Caribe" (SHIALC), realizado el 11 y 12 de octubre de 2016, representó la continuación de las ediciones de 2010 en Asunción, 2012 en Medellín y 2014 en Montevideo, en el marco, siempre, de la Conferencia Latinoamericana de Informática (CLEI). En esta ocasión la sede fue la ciudad de Valparaíso que tiene una muy particular importancia en la historia de la computación chilena y latinoamericana.

En efecto, en 1957 llegó a Valparaíso el primer computador digital a Chile y uno de los primeros en Latinoamérica: un Univac con tecnología de tubos para la Compañía de Cervecerías Unidas

(Figura 1). Posteriormente, en diciembre de 1961, se instaló en el Servicio de Aduanas del puerto de Valparaíso un computador IBM-1401 con tecnología de transistores que fue el primero de su tipo en diversos servicios del Estado. Por su parte, en 1964 la Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM) adquirió un computador IBM-1620 especialmente orientado a aplicaciones científicas.

En otro ámbito, en 1974, la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (PUCV) organizó la primera edición del "I Panel de Discusión sobre Tópicos de Computación" que en 1976 se convirtió en un evento latinoamericano y dio origen a la creación del Centro Latinoamericano de Estudios de Informática (CLEI) y a su conferencia. De hecho, la Conferencia del CLEI, respetando el año del I Panel, realizó en 2016 su edición número 42 y su organización general estuvo a cargo de Claudio Cubillos de la PUCV y Hernán Astudillo de la UTFSM.



FIGURA 1. PRIMER COMPUTADOR EN CHILE: UN UNIVAC PARA LA CCU, VALPARAÍSO 1957.

IV SHIALC

El regreso de la Conferencia del CLEI a Valparaíso felizmente coincidió con la realización del IV SHIALC en Chile. Al respecto, el Simposio aceptó 17 trabajos provenientes de 8 países: 6 de Brasil, 3 de Argentina, 2 de Chile, 2 de Cuba, y 1 de Uruguay, Venezuela, Costa Rica y República Dominicana. Las contribuciones fueron evaluadas por un Comité de Programa copresidido por Raúl Carnota de Argentina y Claudio Gutiérrez de la Universidad de Chile, e integrado por 24 profesores latinoamericanos.



Los 12 trabajos que se presentaron fueron agrupados en cuatro sesiones de tres trabajos en cada una (Tabla 1) y una discusión global de media hora. Las tres primeras sesiones fueron realizadas en la UTFSM el martes 11 de octubre y la última se realizó el miércoles 12 en la PUCV.

El IV SHIALC finalizó con una reunión plenaria (Figura 2) que concluyó con una evaluación muy positiva de la experiencia, de los trabajos presentados, y de las posibilidades y alternativas de continuación del Simposio.

Título trabajo	Autor	País
TICs & Sociedade	Ivan da Costa Marques	Brasil
Inclusões digitais, desenvolvimento social e políticas públicas	Alberto Jorge de Lima	Brasil
Un Hilo de Ariadna	Raúl Carnota	Argentina
Apuntes biográficos sobre Wolfgang Riesenkonig	Carlos Castro	Chile
La IBM 1401 y la secretaria que ascendió a auditora informática	Marta Calderón	Costa Rica
A dream of technological autonomy: testimony about the beginnings of information technology in Rio de Janeiro	Newton Fleury	Brasil
Juan Carlos Escudé y la computadora Argenta	Pablo Jacovkis	Argentina
Primeros Encuentros Latinoamericanos de Computación e Informática	Juan Álvarez	Chile
Parte de la prehistoria de la Internet en América latina y el Caribe: la experiencia de la Fundación Redes y Desarrollo, FUNREDES (1988-1995)	Daniel Pimienta	Rep. Dominicana
The role of Rio de Janeiro in the development of information technology: a retrospective analysis of the first cycle of implementation of policies and pioneering projects in the 1960s and 1970s	Newton Fleury	Brasil
A racing car without tires	Henrique Cukierman	Brasil
Computerizing the Lion: The SERPRO and data processing use in the Ministry of Finance (1964-1970)	Lucas de Almeida Pereira	Brasil

TABLA 1.

TRABAJOS PRESENTADOS EN EL IV SIMPOSIO DE HISTORIA DE LA INFORMÁTICA DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE.



FIGURA 2.
PARTICIPANTES DE LA REUNIÓN PLENARIA FINAL DEL IV SHIALC.

PARTICIPACIÓN DE CHILE

La participación de Chile en el IV SHIALC consistió en la presentación de dos trabajos y de una conferencia invitada. La Conferencia, inédita en las cuatro ediciones del SHIALC, fue programada como plenaria del CLEI representando un reconocimiento y apoyo a la labor de investigación en la historia de nuestra disciplina. La realización en el Aula Magna permitió contar con la asistencia de centenares de personas, principalmente jóvenes, que recibieron un estímulo para considerar nuestra Historia en su formación e investigación. Considerando la amplitud de la asistencia, la conferencia fue precedida por una breve charla sobre “Valparaíso en la Historia de la computación chilena y latinoamericana” a cargo de la organización del IV SHIALC.

La Conferencia titulada “Cucharas para la historia latinoamericana de la informática” estuvo a cargo del historiador porteño Nelson Arellano (Figura 3) con el siguiente resumen:

“El caso latinoamericano del desarrollo de la informática ofrece una oportunidad magnífica para reflexionar acerca de los procedimientos con los que se trata el problema de las formas del olvido y las reglas del hablar y el callar. Los y las historiadores, lxs entusiastas y lxs apasionadxs por la historia de la informática en latinoamérica tienen la oportunidad de compartir una reflexión en la que, como en The Matrix, el principal aprendizaje es que no hay cuchara en tanto el/la observador/a es quien debe tomar precauciones acerca de su perspectiva. La propuesta de Peter Burke acerca de las formas de hacer historia compendia una serie de herramientas y métodos que podrían prestar valiosas orientaciones de la discusión acerca de las narrativas pertinentes a un proyecto historiográfico continental y su viabilidad.”

Por otra parte, el académico Carlos Castro de la UTFSM presentó el trabajo “Apuntes biográficos sobre Wolfgang Riesenköning”: *“En este artículo se presentan algunos hechos relevantes de la vida de Wolfgang Riesenköning, uno de los pioneros de la informática en Chile. Se incluyen antecedentes de su formación y experiencia laboral en Alemania previos a su traslado a Chile donde estará a cargo de la instalación y puesta en marcha de los primeros computadores en dos Universidades chilenas”*. La presentación del trabajo resultó particularmente emotiva por la asistencia del profesor Wolfgang Riesenköning quien, a sus 90 años, viajó desde Alemania y estuvo acompañado de sus colaboradores durante los primeros años de la computación en la UTFSM (Figura 4).

El segundo trabajo de Chile, “Primeros Encuentros Latinoamericanos de Computación e Informática”, se incluye *in extenso* en las siguientes páginas. ■



FIGURA 3.
HISTORIADOR NELSON ARELLANO DURANTE
LA CONFERENCIA CENTRAL.



FIGURA 4.
DE IZQUIERDA A DERECHA: JORGE AGUIRRE, RAÚL TABILO, WOLFGANG RIESENKÖNING, MIGUEL TIRAPEGUI, CARLOS CASTRO.

PRIMEROS ENCUENTROS LATINO- AMERICANOS DE COMPUTACIÓN E INFORMÁTICA





JUAN ÁLVAREZ RUBIO

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

jalvarez@dcc.uchile.cl

Próximo a conmemorar medio siglo del "Primer Simposio Latinoamericano de Centros académico-científicos de Computación" realizado en Concepción en 1967, corresponde revisar y hacer un recuento de los primeros encuentros que reunieron a los profesionales, investigadores y autoridades de la comunidad regional y establecieron los vínculos de colaboración sobre los cuales se sustentan las organizaciones y los eventos actuales. La revisión incluye también el "Primer Congreso Latinoamericano de Automación Bancaria" en Santiago en 1969, la "Primera Conferencia Latinoamericana de Autoridades Gubernamentales de Informática" en Buenos Aires en 1970 y el "Primer Congreso Iberoamericano de Informática" en Buenos Aires en 1972.

- *Primer Congreso Latinoamericano de Automación Bancaria (Santiago, 1969).*
- *Primera Conferencia Latinoamericana de Autoridades Gubernamentales de Informática (Buenos Aires, 1970).*
- *Primer Congreso Iberoamericano de Informática (Buenos Aires, 1972).*

Si bien los tres primeros eventos fueron explícitamente latinoamericanos, todos incluyeron también expositores de fuera de la Región. Y en el último caso, si bien se denominó Iberoamericano, en la práctica fue mayoritariamente latinoamericano.

Respecto de las fuentes, la principal es el acta de cada encuentro. Lamentablemente, el primer Simposio no publicó actas y las actas de la Conferencia de Autoridades están incompletas. En el caso de los eventos realizados en Chile, se tuvo acceso a información de archivos institucionales y de la prensa local. Por otra parte, las fuentes orales, solo permitieron confirmar la realización de los eventos pero no pudieron aportar información adicional. Tampoco fue posible recuperar fuentes fotográficas originales.

A continuación se revisará cada uno de los encuentros, detallando la organización, los objetivos, los contenidos, los participantes y las conclusiones.

INTRODUCCIÓN

En el marco del "IV Simposio de Historia de la Informática de América Latina y El Caribe", como parte de la "XLII Conferencia Latinoamericana de Informática", resulta pertinente revisar algunos de los primeros encuentros latinoamericanos realizados en los años sesenta y setenta, después de algunos años de desarrollo y experiencia computacional en los diferentes países. La investigación permitió identificar los siguientes eventos en orden cronológico:

- *Primer Simposio Latinoamericano de Centros académico-científicos de Computación (Concepción, 1967).*

PRIMER SIMPOSIO LATINOAMERICANO DE CENTROS ACADÉ- MICO-CIENTÍFICOS DE COMPUTACIÓN (CONCEPCIÓN, 1967)

La Universidad de Concepción en Chile adquirió en 1965 un computador IBM-1620-II. En ese contexto, el Rector Ignacio González Ginouvé visitó Europa para establecer contactos académicos y se reunió con el Departamento de Aplicación de la Ciencia de la UNESCO. A su regreso, y motivado por la pujante actividad del Centro de Computación de la Universidad, propuso a la UNESCO la realización de un "Simposio Sudamericano sobre el uso de los Computadores en Ingeniería y Ciencia" para enero de 1967 [1]. Posteriormente, el ingeniero Sergio Beltrán de la UNAM se unió a la iniciativa y propuso que el evento tuviera un carácter latinoamericano [2].

Finalmente, el "Primer Simposio Latinoamericano de centros académico-científicos de computación" se realizó entre el 6 y 12 de septiembre de 1967 en la Universidad de Concepción. Con la ayuda de UNESCO, se invitó a dos expertos: Sergio Beltrán de la Universidad Autónoma de México y Naim Abou-Taleb de la Universidad de Alejandría de la RAU quien disertó sobre "Computación, ingeniería y educación científica" [3].

El objetivo fue "discutir la problemática que afecta en este instante a la ciencia de la computación, especialmente en las Universidades y las relaciones que los Centros de este tipo deben mantener con el medio industrial y profesional que los rodea" [4]. El temario general del evento fue el siguiente [5]:

1. *Los Centros de Computación en la Docencia: Análisis de las posibilidades de acción educativa de los Centros de Cómputo en el campo de las ciencias y la ingeniería*

2. *Los Centros de Computación en el medio universitario: Uso de los computadores y Centros de Cálculo por el medio universitario, profesores, memoristas, investigadores, departamentos u otras reparticiones universitarias relacionadas al Centro de Cómputos.*
3. *Investigaciones sobre temas de Computación: Las investigaciones en los Centros de Cálculo sobre temas propios de la Computación.*
4. *Los Centros de Computación en el campo industrial: El uso de los computadores en la industria y la relación industrial-universitaria en el área de la computación*
5. *Los centros de computación en el campo social: Proyección de la computación en el campo social: Proyección de los Centros de Cálculo hacia el medio social.*
6. *Estructura, objetivos y desarrollo de los centros de computación académico-científicos: Estructuras y objetivos de los centros de cómputos. Sus problemas administrativos, económicos y de operación.*

El Simposio contó con una asistencia de 160 participantes y unos 40 trabajos provenientes de Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, El Salvador, México, Panamá, Honduras, Uruguay y Venezuela. Participaron, además, como observadores o conferenciantes, delegados de Estados Unidos y Canadá. Los trabajos chilenos provinieron mayoritariamente de las universidades que habían adquirido computadores a comienzos de la década del sesenta y que ya contaban con centros de computación: U. de Chile, U. Católica, U. Técnica Federico Santa María y U. de Concepción.

El temario fue complementado con sesiones de laboratorio en el computador IBM 1620 modelo II de la Universidad de Concepción. Los participantes tuvieron la ocasión de conocer: el lenguaje ALGOL, el simulador análogo-digital Pactalus, la planificación y control de proyectos usando PERT, software de programación lineal y un sistema analizador de circuitos electrónicos [6].

En el Simposio se acordó la realización del segundo Simposio en Sao Paulo y se aprobó por unanimidad la creación de un "Instituto Latinoamericano de Ciencias de la Información y

la Computación (ILACIC)". Los representantes de 27 centros de cómputos o de procesos de datos integraron el consejo directivo preparatorio y eligieron a Phenix Ramírez de la U. de Concepción como Presidente, Valdemar Setzar de la U. de Sao Paulo, Freddy Mulino de la U. de Carabobo y Mario Romero de la U. de Costa Rica, como Vicepresidentes y Raúl Meyer de la UNAM como Tesorero. Efigieron además como Director del Instituto y Secretario General Coordinador a Sergio Beltrán [7]. Los estatutos fundacionales propuestos establecieron en su parte inicial [8]:

Artículo 1º. El Instituto Latinoamericano de Ciencias de la Información y la Computación (ILACIC), es el organismo coordinador, de planificación y de promoción y apoyo de las actividades de los organismos, institutos y centros dedicados a las ciencias de la computación y de la información, a la cibernética, y a la utilización y la operación de computadoras electrónicas.

Artículo 2º. El ILACIC se propone la consecución de los siguientes objetivos fundamentales:

- a) *Promover y cooperar activamente en la creación de institutos y centros de investigación y estudio de las ciencias de la computación y de la información, en los países latinoamericanos en donde todavía no existen, y en la utilización más eficiente posible de las computadoras electrónicas instaladas. Fomentar las actividades de los existentes, así como la enseñanza adecuada de estas disciplinas en todos los niveles de la educación.*
- b) *Planear y coordinar actividades conjuntas de los institutos y centros dedicados a las ciencias de la computación que integran el ILACIC, con objeto de obtener la aproximación y armonización de sus planes de investigación, de trabajo y de estudio y para el conocimiento de las necesidades específicas que en este campo plantea el desarrollo de los países de la América Latina y su integración económica, cultural y política.*

El Simposio gatilló también la creación de una "Asociación de Centros de Cómputos de las Industrias". En efecto, como consecuencia del desarrollo del tema de la computación en el área industrial, donde participaron Edith Ortiz de Ar-

gentina, Carlos de Andraca de la carbonífera Lota-Schwager de Concepción y Waldo Muñoz y Fernando López de la Compañía de Aceros del Pacífico (CAP), se constituyó una Asociación con el propósito de intercambiar software y compartir experiencias. A la reunión constitutiva asistieron representantes de CAP, Empresa Nacional de Electricidad (ENDESA), Empresa Nacional de Minería (ENAMI), Compañía Lota-Schwager, Compañía Manufacturera de Papeles y Cartones (Celulosa de Laja) e IBM. La Secretaría Ejecutiva quedó a cargo del Centro de Cómputos de la CAP [9]. Finalmente, el Simposio tuvo un impacto en la prensa local que afortunadamente percibió su trascendencia. El diario El Sur de Concepción hizo un seguimiento diario de las actividades y el diario La Discusión de Chillán publicó un artículo general [Tabla 1]. Los diarios de circulación nacional no dieron cobertura al evento, ignorando su importancia nacional y latinoamericana.

Cabe señalar que la exitosa realización del Simposio motivó la realización en diciembre de 1969 en Concepción del seminario nacional "El computador y su influencia en el desarrollo de la sociedad moderna", organizado por la Sociedad Chilena de Planificación y Desarrollo y que abordó los temas del computador en la educación, en la empresa y en las labores gubernamentales [10].

PRIMER CONGRESO LATINOAMERICANO DE AUTOMACIÓN BANCARIA (CLAB) (SANTIAGO, 1969)

Entre el 10 y el 15 de Noviembre de 1969 el Instituto Chileno de Administración Racional de Empresas (ICARE) organizó el primer Congreso Latinoamericano de Automación Bancaria. En el discurso inaugural, el presidente del Comité Ejecutivo René Sepúlveda de Chile indicaba que el objetivo era "el intercambio de información

Día	Diario	Titular noticia
Martes 5	El Sur	Simposio sobre computadores se iniciará mañana en Concepción
Jueves 7	El Sur	En una ceremonia fue inaugurado simposio sobre computadores
Viernes 8	El Sur	Fue expuesto nuevo computador electrónico
Viernes 8	La Discusión	Simposio sobre cálculos inició estudios en la U. de Concepción
Sábado 9	El Sur	Tres temas fueron analizados en simposio de computadores
Martes 12	El Sur	Instituto Latinoamericano de computación fue creado
Miércoles 13	El Sur	En Sao Paulo se efectuará el segundo simposio de computación
Jueves 14	El Sur	Formada Asociación de Centros de Cómputos de las Industrias

TABLA 1.
NOTICIAS DE PRENSA SOBRE SIMPOSIO DE 1967.

País	Delegados	Observadores	Total	Instituciones
Argentina	24	6	30	17
Bolivia	1	-	1	1
Brasil	17	3	20	16
Colombia	5	2	7	6
Costa Rica	5	-	5	2
Chile	45	20	65	38
Ecuador	6	1	7	4
El Salvador	1	-	1	1
México	11	4	15	12
Panamá	1	-	1	1
Perú	9	5	14	-
Uruguay	2	-	2	1
Venezuela	2	-	2	1
Alemania	-	1	1	1
España	6	2	8	6
Estados Unidos	-	1	1	1
Francia	1	-	1	1
Italia	1	1	2	2
Totales	137	46	183	111

TABLA 2.
RESUMEN DE ASISTENTES AL CONGRESO DE AUTOMACIÓN BANCARIA DE 1969.

técnica para afrontar con eficiencia el desarrollo proyeccional de los bancos. Y será este Primer Congreso Latinoamericano el que deberá proporcionar las bases fundamentales para que se produzca una adecuada canalización de conocimientos y experiencias de los técnicos bancarios que haga más efectiva y fructífera la labor de todas las instituciones latinoamericanas que están incorporadas a esta área tan importante de la economía mundial" [11].

El Congreso contó con una asistencia de 183 personas provenientes de 18 países y pertenecientes a 111 instituciones [12]. Cada país latinoamericano estuvo representado por delegados y observadores. Estos últimos principalmente de las empresas proveedoras de equipos y servicios. Adicionalmente asistieron algunos representantes europeos y estadounidenses [Tabla 2].

En las actas del Congreso se publicaron 9 trabajos [Tabla 3] de muy diversa extensión y detalle técnico. Adicionalmente, se incluyeron las sesiones de preguntas y respuestas que representaron un rico intercambio de opiniones y experiencias.

Respecto de la participación de Chile, el "Proyecto de Automación" del Banco del Estado fue desarrollado entre los años 1965 y 1969 y constituyó el primer gran proyecto de ingeniería computacional nacional y uno de los pioneros en Latinoamérica. El Sistema Computacional, que incluyó un computador IBM-360/40 y una precursora Red de Teleproceso, fue inaugurado en septiembre 1969 y tuvo un considerable impacto social y tecnológico. En ambas dimensiones representó un salto cualitativo respecto de experiencias anteriores. En lo social, además del

Trabajo	Institución / Autor (o expositor)	País
Integración del sistema de procesamiento de datos en la administración general del Banco (18 páginas)	Banco Hispano Americano / Juan Padró	España
Desenvolvimento de uma sistema de processamento de dados integrado na administração geral do banco (32 p)	Banco do Comercio e Indústria de Sao Paulo / Nataneal D'Angelo	Brasil
Integración del sistema de procesamiento de datos en la administración general del Banco (7 p)	Asociación Bancaria Nacional / Claudio Santillas	Venezuela
Organización del Centro de Procesamiento de Datos Bancarios (15 p)	Asociación Bancaria de Colombia / Carlos Ulloa	Colombia
El Procesamiento automático de datos en el sistema bancario de El Salvador (15 p)	Delegación del Banco Central de Reserva / Mariano Novoa Flores	Salvador
A fita perfurada e sua utilização na automação bancária brasileira (26 p)	Olivetti Industrial S/A / Sergio José (expositor)	Brasil
Automatización de la cámara compensadora (103 p)	Banco provincia de Buenos Aires / Alberto Naón	Argentina
Teleproceso en Italia (9 p)	Banco de Roma	Italia
Proyecto de Automación (88 p)	Banco del Estado de Chile / Virgilio Bacigalupo	Chile

TABLA 3.
ARTÍCULOS DEL CONGRESO DE AUTOMACIÓN BANCARIA DE 1969.

impacto mediático, la Red sirvió directamente a millones de ahorrantes y benefició a los miles de trabajadores del Banco [13]. Las conclusiones que se acordaron en el Congreso fueron las siguientes [14]:

- *La automatización de los bancos está demostrando que no origina desempleo. Por el contrario, la experiencia más general es que permite ofrecer nuevos servicios a la comunidad, obligando a crecer a las instituciones bancarias y por lo tanto a emplear un mayor número de funcionarios.*
- *La automatización de los bancos no sólo es conveniente, sino que indispensable para la supervivencia de estas empresas. Sólo en el caso de bancos muy pequeños puede resultar aparentemente más caro el uso de computadores en reemplazo de máquinas convencionales. Para cualquier otro tipo de banco, los cerebros electrónicos constituyen, además de una herramienta de progreso, una forma de disminuir sus costos administrativos. Es así posible desviar recursos para proporcionar nuevos y mejores servicios a la colectividad.*
- *Se recomienda a todos los países latinoamericanos utilizar un lenguaje común de caracteres magnéticos denominado CMC-7.*
- *Se recomienda a los organismos gubernamentales que corresponda en los diferentes países latinoamericanos, la disminución o supresión de los derechos de aduana e impuestos que*

gravan la internación de equipos electrónicos de procesamiento de datos.

- *Se recomienda a la Federación Latinoamericana de bancos la creación de un organismo especializado en automatización bancaria. Para este objeto se designó un comité especial que tendrá por misión hacer un proyecto de estatutos, objetivos y administración de dicho organismo. Este comité está integrado por siete miembros que representan distintos países.*
- *Por último, también se acordó que el próximo congreso se realice en noviembre del año 1970 en la Ciudad de México.*

PRIMERA CONFERENCIA LATINOAMERICANA DE AUTORIDADES GUBERNAMENTALES DE INFORMÁTICA (BUENOS AIRES, 1970)

La Conferencia Latinoamericana de Autoridades Gubernamentales de Informática fue realizada en Buenos Aires entre los días 1 al 10 de abril de 1970, y fue convocada por el Gobierno de Ar-

gentina y la "Intergovernmental Bureau for Informatics" (IBI). Al respecto, IBI surgió "sobre la ya obsoleta estructura del ICC (International Center for Calculus), en el contexto del sistema de organizaciones de Naciones Unidas, a inicios de la década de 1970, y fue un reflejo de la emergencia de ese nuevo fenómeno social, económico y político que comenzó a denominarse Informática y que desbordaba lo que había sido una disciplina de cálculo para uso de científicos e ingenieros" [15].

La convocatoria expresaba que la Conferencia tuvo por objeto realizar un intenso intercambio de ideas, experiencias y conocimientos [16], a fin de:

- *Definir el rol de las Autoridades Gubernamentales de Informática, su función en relación con la administración pública y su incidencia en el desarrollo.*
- *Definir la jurisdicción de las Autoridades Gubernamentales de Informática, estableciendo sus características y relaciones con los otros sectores de Gobierno.*
- *Formular un programa de acción internacional hacia la institucionalización de Autoridades Gubernamentales de Informática, como medio más eficaz y rápido para acelerar el desarrollo de los países que se encuentran en tal proceso.*

A la Conferencia asistieron delegados oficiales de los gobiernos, pertenecientes al área de Informática o a aquellos organismos afines en el caso que no existan autoridades de informática.

Trabajo	Autor/Presentador	País
Desarrollo del sistema de computación de datos en la administración nacional (116 páginas)	Delegación Argentina	Argentina
The development and direction of Data Processing in the Canadian Public Service (28 p)	-	Canadá
Políticas para el uso de computadores en entidades del gobierno (13 p)	Departamento Administrativo Nacional de Estadística	Colombia
Experiencia en el sector público de Chile sobre el procesamiento de datos con computadores electrónicos (44 p)	Marfán, A.; Friedmann, E.; Sáenz, R.	Chile
Le Plan Calcul Francais (24 p)	Falquet, P.	Francia
Israel's problems and achievements in the field of ADP (14 p)	Gertz, A.	Israel
La computación en el sector público de Venezuela (16 p)	Brewer, A.; López, M.; Rachadell, M.; Rodríguez, A.	Venezuela

TABLA 4.
ARTÍCULOS DE CONFERENCIA DE AUTORIDADES GUBERNAMENTALES DE INFORMÁTICA DE 1970.

El evento comprendió exposiciones de las experiencias realizadas en la implementación y utilización de Autoridades Gubernamentales por los países participantes o por aquellos que fueron invitados por su reconocida experiencia (casos de Canadá, Francia e Israel) [Tabla 4].

El trabajo de Chile “Experiencia en el sector público de Chile sobre el procesamiento de datos con computadores electrónicos” fue preparado por los directivos de la Empresa Nacional de Computación (EMCO), creada en 1968 para utilizar la Computación en el sector público, difundirla en el medio nacional y entrenar personal especializado (programadores, analistas de sistemas e interlocutores) [17]. La Conferencia incluyó también sesiones de discusión y de conclusiones con los acuerdos de mantener

una coordinación y de efectuar una segunda edición de la Conferencia en Ciudad de México en 1970.

PRIMER CONGRESO IBEROAMERICANO DE INFORMÁTICA (BUENOS AIRES, 1972)

El Primer Congreso Iberoamericano de Informática fue realizado entre el 28 de mayo y el 3 de junio de 1972 en Buenos Aires y fue organizado por la Sociedad Argentina de Investigación Operativa y por la Sociedad Argentina de Com-

putación con los auspicios de UNESCO e IBI-ICC. Sus objetivos declarados fueron [18]:

- *Intercambiar y difundir ideas, experiencias y trabajos.*
- *Promover el empleo de la disciplina en los diversos campos y en los distintos sectores.*
- *Alentar la enseñanza de la misma.*

El evento contó con las siguientes conferencias invitadas [19]:

- *“Educación en Sistemas de Información” de Daniel Teichroew.*

Área	Descripción	Trabajos	Trabajos de Argentina	Autores
A	Aplicaciones especiales (Medicina)	4	3	12
B	Banco de datos y recuperación de información	4	1	7
C	Cálculo Numérico	6	4	10
D	Censos y estadísticas	2	1	3
E	Computadora: componentes y circuitos	3	2	7
F	Ciencia de Computación	7	2	9
G	Educación	3	3	16
H	Investigación operativa aplicada	5	5	11
I	Investigación operativa teórica	4	2	7
J	Planeamiento y desarrollo económico	4	1	5
K	Programas de aplicación	4	3	6
L	Simulación	4	4	12
M	Sistemas de información gerencial	6	6	13
N	Taxonomía numérica	1	1	3
O	Teoría de sistemas	5	3	10
Total	15	62	41	131

TABLA 5.
RESUMEN DE ARTÍCULOS PRIMER CONGRESO IBEROAMERICANO DE INFORMÁTICA DE 1972.

- *“Problemas de recubrimiento” de A. Bujosa Rotger de la U. Complutense de Madrid.*
- *“Técnicas para sistemas complejos” de Jean Paul Jacob.*
- *“Análisis y síntesis de Sistemas Operativos” de W.M. Turcki.*
- *“Simulación” de Arne Jensen.*
- *“Factibilidad de Grandes Bancos de Datos” de Edgard F. Codd.*
- *“Algoritmos de optimización y su complejidad” de P. Wolfe.*

El Congreso aceptó 62 trabajos en 15 áreas distintas [Tabla 5], de los cuales 41 fueron de Argentina, 11 de Brasil, 2 de Chile, 2 de México, 2 de España, 1 de Colombia, 1 de Paraguay, 1 de Uruguay y 1 de Italia [Tabla 6].

Los dos trabajos de Chile fueron presentados por autores de la Empresa Nacional de Computación e Informática (ECOM) que fue la

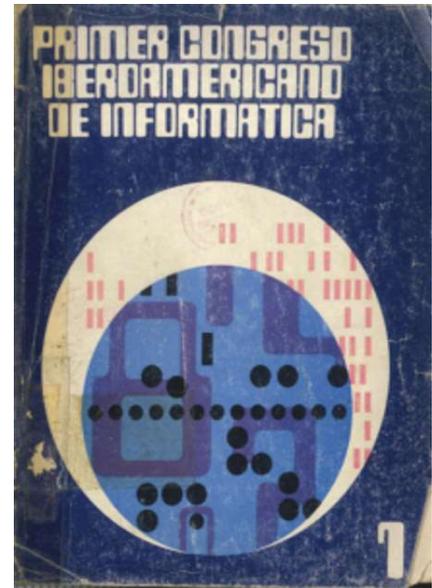
evolución de EMCO. Los trabajos “Metodología para la elaboración del plan de racionalización e informática del sector agropecuario” y “Un proyecto piloto para la creación de un archivo de personas” corresponden a proyectos de investigación que se desarrollaron en ECOM durante el Gobierno del Dr. Salvador Allende [20].

En la ceremonia de clausura, el Presidente del Comité Ejecutivo del Congreso, Juan Carlos Furlong, a modo de conclusión expresó [21]:

“Aquí se ha colaborado substancialmente para evitar que la obtención, la elaboración y el empleo de la información, respondan a un enfoque meramente intuitivo, y para neutralizar la tendencia a que ello descansa en un empirismo limitado a la prueba y el error. También se ha coadyuvado marcadamente para que esta disciplina, que solicita a un tiempo capacidad intelectual, tenaz empeño y empuje del corazón, afronte con actitud científica los problemas casi siempre complejos propios de su jurisdicción y concilie las divergencias o desarmonías que puedan aparecer entre sus

objetivos y los medios que necesita o las personas que le dan vivencia.

Se ha asegurado también, mediante una adecuada coordinación la continuidad del esfuerzo para el futuro, lo que significará una positiva contribución para el progreso en el área.”



CONCLUSIONES

LA REVISIÓN DE LOS PRIMEROS ENCUENTROS LATINOAMERICANOS RELACIONADOS CON COMPUTACIÓN E INFORMÁTICA SIRVE, EN PRIMER LUGAR, COMO RECONOCIMIENTO A LOS PIONEROS QUE LOS ORGANIZARON Y QUE PERMITIERON A LA COMUNIDAD INFORMÁTICA LATINOAMERICANA REUNIRSE, CONOCERSE Y COMPARTIR CONOCIMIENTOS, EXPERIENCIAS Y SOFTWARE.

EN SEGUNDO LUGAR, Y DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA ORIENTACIÓN, SE OBSERVA UN TRÁNSITO DESDE LA COMPUTACIÓN HACIA LA INFORMÁTICA; DESDE LA ACADEMIA HACIA LAS EMPRESAS Y LOS GOBIERNOS; Y DESDE LOS CENTROS DE COMPUTACIÓN UNIVERSITARIOS HACIA LAS INSTITUCIONES FINANCIERAS Y LAS AUTORIDADES INFORMÁTICAS.

EN TERCER LUGAR, DESDE EL PUNTO DE LA VISTA DE LA FORMA, SE OBSERVA EXPERIMENTACIÓN Y APRENDIZAJE. ES EL CASO DE LAS NOMENCLATURAS DE SIMPOSIO Y CONGRESO PARA LA ACADEMIA, CONGRESO PARA LA BANCA Y CONFERENCIA PARA LAS AUTORIDADES.

POR OTRA PARTE, LA AUSENCIA DE ACTAS PRIMERO, LA FALTA DE NORMAS DESPUÉS Y LA CONSIGUIENTE DISPARIDAD DE ESTRUCTURA Y EXTENSIÓN DE LOS TRABAJOS, HASTA UNA ESTANDARIZACIÓN DE LOS TRABAJOS Y LAS ACTAS (EN EL CONGRESO DE 1972).

EN CUARTO LUGAR, LA UTILIDAD DE LOS ENCUENTROS SE MANIFIESTA EN LA DECISIÓN DE DARLES CONTINUIDAD Y EN LA NECESIDAD DE CREAR ORGANIZACIONES QUE LOS SUSTENTEN. EL DESAFÍO ES COMPLETAR LA HISTORIA DE ESTOS EVENTOS E IDENTIFICAR ALGUNOS OTROS HASTA ENTRONCAR CRONOLÓGICAMENTE CON LOS EVENTOS ACTUALES.

EN SÍNTESIS, ESTOS PRIMEROS ENCUENTROS DE LA COMUNIDAD LATINOAMERICANA DE INFORMÁTICA CONSTITUYEN UN VALIOSO APRENDIZAJE Y SON EL PRECEDENTE, TANTO DE LOS EVENTOS ACTUALES, COMO DE LAS INSTITUCIONES QUE LOS ORGANIZAN. ■

Trabajo	Autores	Institución	País
A1. Modelo de financiación de la atención médica en la provincia de Mendoza	Bercovich, A.; Chorny, A.; Testa, M.; Vera, L.	Provincia de Mendoza Oficina Sanitaria Panam.	Argentina
A2. Análisis de actividad de neuronas del sistema nervioso central usando una computadora digital con conversor analógico digital de línea	Epstein, S.J.; Cosarinsky, D.; Glanczpigel, R.; Eidlin, R.J.	UBA Instituto Torcuato Di Tella	Argentina
A3. Modelo determinístico de tipo "red neural"	Skliar, O.; Schoua, O.	ORT Argentina	Argentina
A4. Diagnóstico médico con ayuda de computadores	Soares, L.E.; Kalache, A.	PUCRJ, UFRJ	Brasil
B1. Un sistema para almacenamiento e recuperación de informaciones taxonómicas (TAXIR)	Pereyra, F.	PUCRJ	Brasil
B2. Banco de datos – Técnicas y aplicaciones	Gallo, S.; Ghisalberti, M.; De Mómes, I.	CITMADE	Argentina
B3. ARGH – Un sistema de recuperación de informaciones	Goldstein, J.	PUCRJ	Brasil
B4. Consideraciones generales sobre la implantación de un banco de datos	Acedo, C.	-	España
C1. Determinación experimental de parámetros dinámicos de procesos	González, J.; Boccacci, A.; Matiasich, R.	Yacimientos Petrolíferos Fiscales	Argentina
C2. Resolución numérica de una ecuación trascendente de la física matemática	Luccioni, R.	U. Nacional Tucumán	Argentina
C3. Separabilidad lineal de funciones trivaluadas	Arango, H.; Winzer, G.	U. Nacional del Sur	Argentina
C4. Consideraciones sobre errónea extrapolación de Richardson	Albretch, P.	PUCRJ	Brasil
C5. Preditores: experiencias para a determinación de mejores fórmulas	Ferreira, T.	PUCRJ	Brasil
C6. Derivatives of pseudo inverses and constrained non linear regression problems	Pérez, A.; Scolnick, H.	Fundación Bariloche	Argentina
D1. Un proyecto piloto para la creación de un archivo de personas	Stern, P.; Duffau, E.	ECOM	Chile
D2. Sistemas de procesamiento de encuestas	Lafosse, J.	Fundación Bariloche	Argentina
E1. Sistema de entrada remota de trabajos a un computador IBM 360-50 utilizando terminales CRT	Estrada, J.	Colseguros	Colombia
E2. Reconfiguración de memorias en condiciones de fallas blandas	Santos, J.	U. Nac. del Sur	Argentina
E3. Uso de la computadora híbrida en el control autoadaptativo de sistemas electromecánicos	Morales, J.; De Luca, J.; Labate, O.; Martín C.; Jais, O.	U. Nac del Sur	Argentina
F1. La teoría de la computabilidad y la complejidad computacional	Chaitin, G.	IBM	Argentina
F2. Un sistema para teste e reconocimiento de gramáticas	Tololo, L.	PUCRJ	Brasil
F3. Introducción a demostración de teoremas	López, E.	PUCRJ	Brasil
F4. Sobre la existencia de algoritmos para la construcción de modelos Lindemayer	Feliciangeli, H.	Centro Nacional Computacional	Paraguay
F5. Un modelo de autómatas para el análisis sintáctico	Calderón, E.; Court, C.; García, M.	UNAM	México
F6. Algoritmos biológicos	Chamero, J.	CAECE	Argentina
F7. Elaboración paralela de formas de extracción de conectividad	Levisaldi, S.	C.N.R.	Italia
G1. Objetivos, políticas y estrategias de la U. Tecnológica Nacional en el área de Informática y Computación	Lauria, E.; Vissio, R.; Fregossi, A.; Virgili J., et al	U. Tecnológica Nacional	Argentina
G2. Instrucción asistida por computador	Poljak, C.; Hirschfeld; Casal, R.	UBA	Argentina
G3. O ensino de computação em programas de ciencias e engenharias	Pereira, C.	PUCRJ	Brasil
H1. Evaluación de proyectos de inversión en condiciones de incertidumbre	Daniel, E.; Grazzelli, E.; Kumorkiewcs, J.; Rey, F.; Spadoni, J.	Yacimientos Petrolíferos Fiscales	Argentina

TABLA 6.
ARTÍCULOS PRIMER CONGRESO IBEROAMERICANO DE INFORMÁTICA DE 1972.

Trabajo	Autores	Institución	País
H2. Modelo matemático para optimización del equipamiento eléctrico nacional	-	Subsecretaría Energía	Argentina
H3. Modelo matemático del Piping	Vélez, C.; De Sananes, L.	Organización CONSAD	Argentina
H4. Programación de producción. Desarrollo de un algoritmo combinatorio	Arguijo, E.; Pastoriza, R.	Fundación Bariloche	Argentina
H5. Distribución de Vagones vacíos con aprovechamiento de la tracción	Cattaneo, J.	FFCC Argentinos	Argentina
I1. Determinando o colorido ótimo de um grafo	Furtado, A.; Roshke, S.; Santos, C.; Pires, J.	PUCRJ	Brasil
I2. Procesos markovianos de decisión y reemplazo	Di Vérola	U. of London	Argentina
I3. Um estudio sobre modificacoes em árvores binárias	Soares, L.	PUCRJ	Brasil
I4. Un algoritmo eficiente para la solución del problema del isomorfismo de grafos	Forno, R.	IBM WTC Argentina	Argentina
J1. La edad óptima de faena y la oferta de bovinos en la Argentina	Tow, F.	I. Inv. Económicas	Argentina
J2. Identificacao empirica de pólos de crescimento en un espacio regional: o algoritmo de Casetti-Simple	Silva, N.	PUCRJ Banco de la República	Brasil Uruguay
J3. Simulación del fenómeno ganadero en el Uruguay	Pimentel, F.	ECOM	Chile
J4. Metodología para la elaboración del plan de racionalización e informática del sector agropecuario	Ulriksen, A.; Briones, L.	-	Argentina
K1. Traducción automática de tablas de decisión	Szychowski, L.	Cía. Gral. Fabril Financiera	Argentina
K2. Proyecto "Typesetting"	Novello, T.; Maggi, L.; Peca, J.	Servicios Eléctricos BA	Argentina
K3. Estimación estadística de tiempos standard para tareas de análisis y programación	Taufer, S.	-	-
K4. Aspectos importantes que deben tenerse en cuenta previos a la petición de un ordenador	Fanjul, J.	Banco Ibérico	España
L1. Simulación aplicada a las operaciones navales	Sylvester, G.; Hursey, B.; Molina, E.	Ministerio Defensa	Argentina
L2. Análisis de políticas de dirección utilizando simulación continua	Wladislawowky, E.; Fornero, L.	U. N. de Cuyo	Argentina
L3. Estudios de yacimientos de hidrocarburos – Simulación por modelos matemáticos	Callol, G; Deleneri, A.; Frylingsztein	Yacimientos Petrolíferos Fiscales	Argentina
L4. Simulación del flujo de pasajeros en un aeropuerto	Andrada, A.; Chenobilsky, L.; Serebrisky; Montagu, A.	-	Argentina
M1. EFEDE-programa para analizar el estado económico financiero de empresas	Kohen, J.; Cardoso, J.	-	Argentina
M2. El sistema informativo normalizado (SIN)	Díaz, F.	-	Argentina
M3. La contabilidad por partida n-ésima	Viera, L.	SADIO	Argentina
M4. Sistema de simulación de presupuesto	Moreno, A.; Lawson, E.; Rodríguez, O.	Coca-Cola	Argentina
M5. Elaboración de estadísticas operativas y su uso en el control de gestión	Casuccio, M.; Novoa, O.; Simonelli, P.	-	Argentina
M6. Proyección empresaria económica-financiera	Almiroty, J.; Mooure, J.; Basso, J.	Bonafide S.A.I. y C.	Argentina
N1. Aplicación de métodos de taxonomía numérica	Etchebare, P.; Muro, E.; Olmos, J.	I. Nacional Tecnología Agropecuaria	Argentina
O1. Modelo de dimensionamiento universitario	Marín, I.; Cappa, R.; Pastoriza, R.	-	Argentina
O2. Sistemas multilineares: teoría y aplicaciones	Kerscheberg	PUCRJ	Brasil
O3. Conceptos de sistemas en planeamiento urbano y regional	Solá, J.; Armoza, C.; Arcioni, M.	-	Argentina
O4. Conceptos de teoría de sistemas	Frischnecht	UBA	Argentina
O5. Una aplicación de la ingeniería de sistemas al análisis y diseño de un sistema administrativo	Jauffred, F.; Moerno, A.	I. Planeación y Operación de Sistemas	México

AGRADECIMIENTOS

AGRADECEMOS ESPECIALMENTE A PILAR PASTÉN Y RODOLFO WALTER POR FACILITARNOS EL ACCESO A DOCUMENTOS DEL ARCHIVO DE LA UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN. GRACIAS TAMBIÉN AL PERSONAL DE LA BIBLIOTECA DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA DE LA U. DE CHILE, DE LA BIBLIOTECA DEL BANCO CENTRAL DE CHILE Y DE LA BIBLIOTECA NACIONAL DE CHILE.

REFERENCIAS

- [1] González, I. Carta a Mr. F. Papa-Blanco, UNESCO fechada en Chile el 11 de agosto de 1966. Archivo U. de Concepción.
- [2] Beltrán, S. Carta a Rector Ignacio González fechada en México el 22 de agosto de 1966. Archivo U. de Concepción.
- [3] Ramírez, Ph. Carta a Rector Ignacio González fechada en Concepción el 9 de agosto de 1967. Archivo U. de Concepción.
- [4] Ramírez, Ph. "Centro de Cómputos". Memoria Anual 1967. Universidad de Concepción. 1968.
- [5] "Simposio sobre cálculos inició estudios en la U. de Concepción". Diario La Discusión de Chillán". 8 de septiembre de 1967.
- [6] Riesenköning, W. "Informe sobre el Primer Simposio Latinoamericano de Computación". Septiembre 1967.
- [7] "Instituto Latinoamericano de computación fue creado". Diario El Sur. 12 de septiembre de 1967.
- [8] "Estatutos Instituto Latinoamericano de Ciencias de la Información y la Computación". Archivo U. de Concepción.
- [9] "Formada Asociación de Centros de Cómputos de las Industrias". Diario El Sur. 14 de septiembre de 1967.
- [10] Sociedad Chilena de Planificación y Desarrollo. "Seminario: El computador y su influencia en el desarrollo de la sociedad moderna". Revista PLANDES. Diciembre 1969.
- [11] Sepúlveda, R. "Discurso Inaugural". Actas I Congreso Latinoamericano de Automación Bancaria. Santiago, Chile, 1969.
- [12] Actas I Congreso Latinoamericano de Automación Bancaria. Santiago, Chile, 1969.
- [13] Álvarez, J. "Proyecto de Automación del Banco del Estado de Chile, 1965-1969". Revista Bits de Ciencia N°12. Primer semestre 2015.
- [14] "Terminó Congreso de Automación Bancaria". Diario El Mercurio. 15 de Noviembre de 1969.
- [15] Carnota, R. "Informática y Dependencia". Actas XXI Jornadas de Historia Económica. Buenos Aires. Diciembre 2008.
- [16] Actas "I Conferencia Latinoamericana de Autoridades Gubernamentales de Informática". Argentina. Abril 1970.
- [17] Álvarez, J. "Empresa Nacional de Computación: antecedentes, creación y primeros años". Revista Bits de Ciencia N°10. Primer Semestre 2013.
- [18] Furlong, J.C. "Discurso Inaugural". Actas I Congreso Iberoamericano de Informática", Vol. 4. Argentina, junio 1972.
- [19] "Índice". Actas I Congreso Iberoamericano de Informática", Volumen 4. Argentina, junio 1972.
- [20] Álvarez, J. "Empresa Nacional de Computación e Informática (ECOM). 1971-1973". Revista Bits de Ciencia N°13. Primer semestre 2016
- [21] Furlong, J.C. "Discurso de Clausura". Actas I Congreso Iberoamericano de Informática", Volumen 4. Argentina, junio 1972.

INTERNET DE LAS COSAS: EL FUTURO CERCANO





CRISTINA AIBATAJEJO

Profesora Asociada en el Departamento de Ingeniería de la Información y las Comunicaciones de la Facultad de Informática de la Universidad de Murcia. Doctora en Telecomunicaciones por la Universidad Politécnica de Cartagena en 2012. De su actividad investigadora se destaca la dedicación a redes de inalámbricas de sensores desde el año 2007, y actualmente orientada a proyectos en el ámbito de Internet de las Cosas (IoT).
cristina.aperez@um.es



MIGUEL A. ZAMORA

Obtuvo el título de Ingeniero Industrial por la Universidad de Murcia en 1996 y el de Doctor Ingeniero Industrial en 2003 por la misma Universidad. Su investigación se ha centrado en el campo de la fusión e integración sensorial, así como el estudio de las arquitecturas de comunicaciones, abarcando distintos campos de aplicación, principalmente en los sistemas de transporte inteligente (ITS), infraestructuras, telemedicina, y en general en los sistemas de monitorización y control.
mzamora@um.es



ANTONIO SKARMETA

Doctor en Informática por la Universidad de Murcia en el año 1995 y Catedrático e Ingeniería Telemática desde el año 2009. Es autor de más de 100 publicaciones en revistas internacionales, 200 artículos en congresos y ha sido investigador principal de más de 15 proyectos europeos, y ha dirigido 20 tesis de Doctorado. Su campo de investigación principal se centra en Internet de las Cosas (IoT) y en especial en seguridad y privacidad en las comunicaciones para IoT.
skarmeta@um.es

La tecnología e Internet son grandes aliados en la evolución que han experimentado a lo largo de los años, ya que las mejoras en el ámbito tecnológico se nutren de los avances realizados en el mundo de Internet y viceversa. Tales avances nos han llevado a lo que hoy en día se conoce como Internet de las cosas (*Internet of Things*, en adelante IoT). Existen múltiples definiciones para este concepto, una de las más reconocidas se sitúa en el año 2009 en el Cluster of *European Research Projects*: "Una infraestructura de red global y dinámica con capacidad de auto configuración basada en protocolos de comunicación estandarizados e interoperables donde las cosas (*things*) físicas y virtuales tienen identidades, atributos físicos, personalidad virtual, y haciendo uso de interfaces inteligentes se integran perfectamente en la red de información". O en pocas palabras, IoT persigue la conexión de todo objeto

o *thing* conectado a la nube y la interacción entre ellos. Cualquier dispositivo tecnológico que se pueda dotar de esta tecnología se podrá conectar a la red y actuar sobre ellos obteniendo así un entorno inteligente y más cómodo para el ciudadano.

IoT ha sido el nacimiento de una nueva era tecnológica en el ámbito de Internet. En torno a ello han ido surgiendo otros conceptos y arquitecturas [1]. Lo que hoy en día está muy extendido es el poder disponer de nuestra información en cualquier lugar y en cualquier momento gracias "a la nube". Tenemos nuestros datos en plataformas que permiten almacenarlos en la nube y podemos acceder a ellos desde cualquier sitio con acceso a Internet. Es lo que se conoce como *Cloud Computing*, toda la información se centraliza en la nube.



Debido al crecimiento que está teniendo el ámbito de IoT, se buscan alternativas para que no recaiga todo el procesamiento y manejo de los datos en la nube. Es entonces donde podemos introducir el concepto de *Fog Computing* [2]. Haciendo una comparación entre *Cloud* y *Fog* con sus términos en español, nube y niebla, la niebla se plantea como un concepto más cercano a los dispositivos mientras que las nubes están más alejadas. La principal diferencia se basa en que en el primer concepto la nube se encarga del procesamiento completo de la información mientras que en la niebla, ese procesamiento se lleva al borde de la red estando repartido entre los propios dispositivos, y enviando a la nube la información ya procesada.

El término IoT está intrínsecamente ligado al concepto de heterogeneidad. Hay gran cantidad de dominios de aplicaciones de IoT y para cada uno de ellos se necesita una aplicación específica y con unos requisitos predefinidos relacionados con las características de los dispositivos, la tecnología de comunicación y su propia funcionalidad.

En los últimos años y en beneficio de la interoperabilidad en IoT, la Unión Europea ha dedicado esfuerzos en varios proyectos fundados en el programa FP7. Especialmente, el proyecto *IoT-Architecture* (IoT-A) que comenzó en 2010 para desarrollar una arquitectura de referencia, y finalmente en 2012 publicar el *Architectural Reference Model* (IoT-ARM) [3]. En 2015 la Comisión Europea lanza la Alianza para la Innovación en Internet de las Cosas (AIOTI, *Alliance for Internet of Things Innovation*) para crear y estandarizar el ecosistema IoT en Europa.

SENSORES Y ACTUADORES

Un papel imprescindible en las aplicaciones de IoT son los sensores y actuadores. Los sensores son los encargados de recoger las condiciones del entorno en un contexto determinado y en-

viar esa información a la nube. Además, en función de esa información se podrán realizar acciones sobre otros dispositivos de dicho entorno.

Encontramos multitud de sensores en función del ámbito de aplicación. Los más utilizados los encontramos por ejemplo en aplicaciones *Health* para monitorizar el estado de los pacientes en tiempo real mediante *wearables*; aplicaciones *fitness* para guiar al usuario en su estado físico durante una actividad deportiva; sensores de parámetros ambientales para asegurar la calidad de un entorno definido, ya sea abierto o un edificio; entre otras.

Siguiendo en la línea de sensores utilizados para IoT cabe destacar el importante rol que tienen los *smartphones*, y es que pueden incorporar varios sensores embebidos [4]. Un acelerómetro que permite detectar actividades físicas del usuario tales como caminar, correr o montar en bicicleta. El giroscopio es utilizado por las aplicaciones móviles para detectar la orientación de la pantalla y así realizar los ajustes de visualización requeridos. Un sensor de luz que permite al dispositivo detectar la intensidad de la luz ambiental y ajustar el brillo de la pantalla, y puede ser usado además por aplicaciones para el control lumínico en una habitación. Incluye también un sensor de proximidad usado por ejemplo para determinar cuando el *smartphone* está junto a la cara mientras hablamos y controlar el encendido/apagado de la pantalla para optimizar el uso de la batería. Otros sensores que pueden incorporar los *smartphones* son GPS, cámara, micrófono, sensor de temperatura, sensor de humedad, magnetómetro y barómetro.

Todos estos sensores pueden ser utilizados en combinación por complejas aplicaciones; por ejemplo, para monitorizar en tiempo real la localización, entorno habitual y actividad de una persona. La finalidad es poder contestar preguntas tales como *where are you?*, *what is you?*, *what are you doing?*, *how are you feeling?*, *who are you with?*, *what is happening?*

Es habitual que la información en bruto recolectada por los sensores sea enviada a la nube

donde puede ser procesada y almacenada, estando disponible al usuario final. Pero hay aplicaciones cuyo requisito es disponer de una arquitectura distribuida en vez de tener todo centralizado en la nube. Éstas son aplicaciones que requieren un procesamiento de datos en tiempo real sin permitir las latencias que se pueden obtener de un procesamiento en la nube.

Otra importante limitación está en el consumo de los dispositivos al realizar la comunicación con la nube. Puesto que, en general, se trata de dispositivos de bajo consumo y alimentados mediante baterías, se hace necesario optimizar la vida útil de éstas y por tanto limitar el número de conexiones con la nube. Por todo ello, este tipo de aplicaciones tienden al concepto anteriormente citado *Fog Computing*, procesando parte de la información en el borde de la red y enviando únicamente lo imprescindible a la nube.

ARQUITECTURA Y COMUNICACIONES IoT

Con la aparición del concepto IoT se hace inevitable la pregunta ¿es posible conectar millones de dispositivos a Internet con la tecnología actual? Es aquí cuando podemos hablar del estándar actual de comunicaciones en Internet, el protocolo IPv4. La principal limitación de IPv4 se encuentra en el escaso espacio de direcciones disponibles. Teniendo en cuenta este aspecto, junto con otras mejoras realizadas como la modificación de la cabecera IPv4, eliminando los campos redundantes y modificando otros, eliminando las opciones pasando a tratarse como cabeceras de extensión en el nuevo estándar, y la implementación de movilidad IP, con todo ello el IETF (*Internet Engineering Task Force*) creó un nuevo estándar IPv6 que diese soporte a IoT [5].

Los dispositivos IoT se conectan a Internet a través del protocolo IP (*Internet Protocol*), por lo que éste es imprescindible para su funciona-



miento. Pero estos dispositivos tienen algunas limitaciones como la energética ya que se alimentan mediante baterías, y los escasos recursos para el procesamiento y almacenamiento de información. Debido a dichas limitaciones un dispositivo IoT puede conectarse a redes no-IP en las que el consumo energético debido a las comunicaciones será menor. En ese caso, es necesaria en dicha red la presencia de un *gateway* con mayores recursos energéticos y de procesamiento que se encargue de recibir la información vía no-IP de los dispositivos IoT, y enviarla a Internet.

En lado de los dispositivos IoT existen diferentes protocolos que permiten el intercambio de información entre ellos y las plataformas de datos que gestionan. Para ello además, debido a la heterogeneidad de los dispositivos sensores, es necesaria la existencia de un middleware que haga posible la comunicación con la nube.

De los protocolos de aplicación dedicados a la comunicación de dispositivos IoT haciendo uso de IP cabe destacar CoAP (*Constrained Application Protocol*) lanzado en 2013 por IETF, y MQTT

(*MQ Telemetry Transport*) desarrollado por IBM. CoAP es un protocolo especializado para el uso de nodos inalámbricos con recursos limitados y baja potencia que pueden comunicarse de forma interactiva a través de Internet, su modelo de interacción cliente/servidor es similar al de HTTP con la diferencia que CoAP realiza estas interacciones de forma asincrónica por medio del protocolo de transporte UDP. Y MQTT es un protocolo de publicación/suscripción ligero que usa como protocolo de transporte TCP.

APLICACIONES EN EL ÁMBITO IoT

Actualmente hay numerosos ámbitos en los que las aplicaciones IoT pueden ser potencialmente utilizadas, algunos de ellos aún en estudio pero éstos indican que mejorarán notablemente a la sociedad. La Figura 1 muestra diferentes ámbitos de aplicaciones IoT tales como en smart cities, agricultura, ámbito industrial, ámbito médico, transporte, entre otras.

Con la llegada de IoT a las ciudades se espera que éstas se conviertan en inteligentes favoreciendo un desarrollo sostenible y mejorando nuestra calidad de vida. Son varios los aspectos que se podemos encontrar dentro de una ciudad inteligente. Uno de ellos por ejemplo relacionado con el ahorro energético: el alumbrado inteligente ayudará a reducir el consumo y de forma implícita se reduciría el consumo de los recursos naturales y las emisiones de CO₂. Otro ejemplo de interés es la monitorización de la movilidad y el transporte en las ciudades. Teniendo el conocimiento del estado del tráfico mediante sensores y dispositivos conectados a la nube, posibles retenciones o incluso accesos cortados, se puede informar al ciudadano de alternativas facilitando así la movilidad de estos.

Dentro del ámbito de las smart cities la eficiencia energética en hogares y edificios es un factor determinante. Los dispositivos sensores más comunes para el control de presencia de personas en edificios son sensores RFID en tarjetas únicas para cada persona. Otros dispositivos útiles son sensores que indican cuándo las ventanas están abiertas, cuándo las luces están encendidas, la activación del aire acondicionado, cámaras de vídeo con capacidad para detectar humanos, sensores de las condiciones del entorno, etc. Con la combinación de estos sistemas y mediante el control de actuadores se consigue optimizar el consumo energético en interiores. Aplicaciones como las que se muestran en la Figura 2 permiten el control de espacios inteligentes pudiendo establecer valores consigna para el funcionamiento autónomo del sistema. En el ejemplo de la Figura 2 se realiza el control climático en interiores, utilizando sensores de temperatura en los distintos espacios que permiten conocer la temperatura en tiempo real, y además el sistema tiene en cuenta la temperatura exterior. Con este tipo de sistemas se garantiza una estancia confortable a la vez que se optimizan los recursos energéticos.

La agricultura es otro de los ámbitos susceptibles de la implantación de nuevas tecnologías basadas en IoT. Esto permite por ejemplo la automatización del riego en función del estado hídrico del suelo en cada momento. No solo utilizando

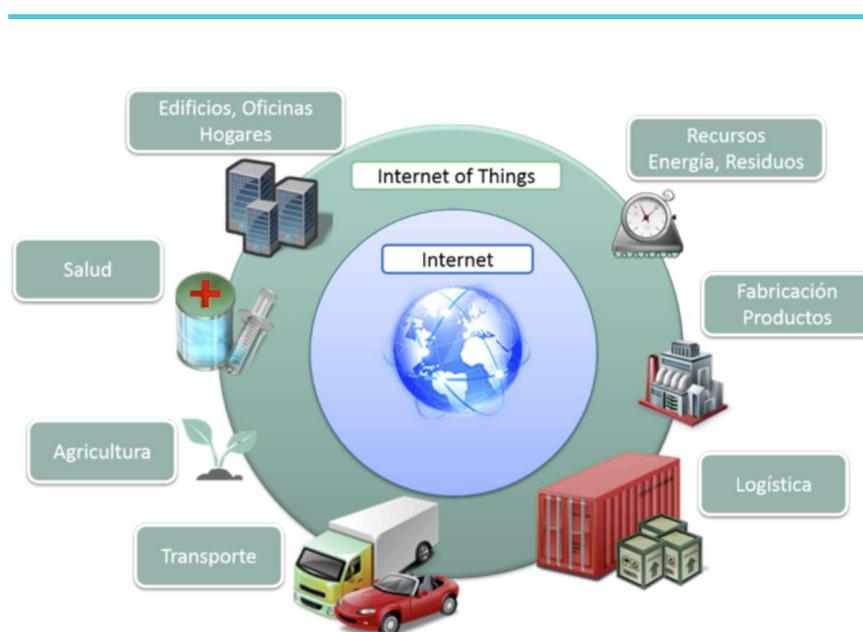


FIGURA 1.
APLICACIONES IoT.



FIGURA 2.
SMART BUILDING.

sensores instalados en ubicaciones estratégicas y representativas del cultivo, sino realizando también mediciones de parámetros ambientales. Esta información es proporcionada al sistema para que sea capaz de realizar un riego inteligente. Con este tipo de aplicaciones, además del ahorro de agua se consigue una mayor calidad del fruto, ya que se riega únicamente lo que la planta necesita y en el momento justo. Citar también la importancia de este tipo de sistemas en invernadero, en los que influyen, además del estado del suelo y la planta, los parámetros ambientales tanto del interior como del exterior del invernadero.

El tercer y último ámbito destacado en este artículo sobre aplicaciones IoT es la monitorización

del estado de una persona. La disposición de sensores en el cuerpo del paciente mediante *wearables* va a permitir a los médicos realizar un seguimiento diario del estado de ciertos pacientes. Ante cualquier anomalía detectada por el sistema se alerta al médico para que pueda actuar en consecuencia. Con esto se garantiza la tranquilidad del paciente ya que está siendo monitorizado y cuidado en todo momento, y un tiempo de respuesta menor ante un posible despliegue médico a realizar. Estos *wearables* permiten también aplicaciones muy utilizadas en el sector *fitness* para el seguimiento de una actividad física en la que puede ir consultando su estado.

A lo largo de estos últimos años se ha potenciado el desarrollo de este tipo de aplicaciones gracias también a la existencia de plataformas y aceleradoras que fomentan su uso. En 2011 surgió de la colaboración público-privada entre grandes empresas del sector TIC y la Comisión Europea. Así la Unión Europea impulsó y financió la plataforma FIWARE con el objetivo de favorecer el desarrollo y despliegue global de aplicaciones IoT [6]. Para ello nació el programa *FIWARE Accelerator* con aceleradoras de diferentes ámbitos entre los que se encuentran smart cities, eHealth, transporte y energía. Esto a su vez fomenta el emprendimiento en las nuevas tecnologías generando un gran crecimiento del sector.

CONCLUSIONES

IOT ES UN SECTOR EN CRECIMIENTO CON LA CONTINUA APARICIÓN DE NUEVOS CONCEPTOS. UNO DE LOS MÁS RECIENTES ES EL PARADIGMA SOCIAL IOT (SIOT) QUE NACE CON EL OBJETIVO DE MEJORAR LA EFICIENCIA DE LAS SOLUCIONES SOCIALES HACIENDO USO DE SENSORES DISTRIBUIDOS Y OTROS DISPOSITIVOS CONECTADOS. SE TRATA DE LA CONVERGENCIA ENTRE IOT Y EL PARADIGMA DE SOCIAL NETWORKING PARA LA CREACIÓN DE REDES SOCIALES EN LAS QUE LAS THINGS SON NODOS QUE ESTABLECEN VÍNCULOS SOCIALES.

LAS PLATAFORMAS DE SENSORES IOT ENVÍAN LOS DATOS A LA NUBE PERO ESTA INFORMACIÓN NECESITA SER EXPLOTADA POR TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO MASIVO (BIG DATA), Y MEDIANTE LA APLICACIÓN DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL, SOFT COMPUTING Y TÉCNICAS DE DATA MINING. EL CRUCE DE INFORMACIÓN DE LOS SENSORES IOT JUNTO CON LAS TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO APLICADAS EN LA NUBE PERSIGUE ESTABLECER RELACIONES DE INTERÉS, QUE PUEDEN SER MODELADAS PARA ANTICIPAR Y RESPONDER DE FORMA EFICIENTE ANTE CIERTOS EVENTOS.

LA PROYECCIÓN DEL SECTOR TECNOLÓGICO APLICADO A LAS IOT JUNTO CON LAS TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS EN LA NUBE BIG DATA ESTÁ EN AUJE POR LO QUE SE PREVÉ QUE PARA LOS PRÓXIMOS AÑOS SIGAN APLICÁNDOSE MUCHAS DE LAS APLICACIONES ACTUALMENTE EN DESARROLLO. ■

AGRADECIMIENTOS

EL PRESENTE TRABAJO SE HA REALIZADO GRACIAS AL PROYECTO EUROPEO LIFE DRAINUSE (LIFE14 ENV/ES/000538) Y AL PROYECTO NACIONAL CICYT EDISON (TIN2014-52099-R) SUBVENCIONADO POR EL MINISTERIO DE ECONOMÍA Y COMPETITIVIDAD DE ESPAÑA (INCLUYENDO FONDOS FEDER).

REFERENCIAS

- [1] Michael Weyrich and Christof Ebert. "Reference architectures for the Internet of Things", IEEE Software, 33, 112-116, 2016.
- [2] Ivan Stojmenovic and Sheng Wen. "The fog computing paradigm: Scenarios and security issues", Computer Science and Information Systems, 1-8, 2014.
- [3] IoT-A ARM Booklet. "Introduction to the Architectural Reference Model for the Internet of Things", 2014.
- [4] Nicholas D. Lane, Emiliano Miluzzo, Hong Lu, Daniel Peebles, Tanzeem Choudhury, and Andrew T Campbell. "A survey of mobile phone sensing", Communications Magazine, IEEE, 48, 140-150, 2010.
- [5] A. J. Jara, L. Ladid and A. Skarmeta. "The Internet of Everything through IPv6: An Analysis of Challenges, Solutions and Opportunities", Journal of Wireless Mobile Networks, Ubiquitous Computing, and Dependable Applications, volume 4, 3, 97-118, 2013.
- [6] FIWARE: <https://www.fiware.org>

MÁQUINAS QUE APRENDEN





FELIPE TOBAR

Investigador en el Centro de Modelamiento Matemático, Universidad de Chile, y anteriormente investigador postdoctoral en el Grupo de Aprendizaje de Máquinas, Universidad de Cambridge. Doctor en Procesamiento de Señales, Imperial College London (2014; PhD) e Ingeniero Eléctrico, Universidad de Chile (BSc y MSc; 2010). Sus intereses están en la interfaz entre procesamiento de señales y aprendizaje de máquinas e incluyen modelos bayesianos no paramétricos, algoritmos basados en kernels, inferencia aproximada y aprendizaje adaptativo.
ftobar@dim.uchile.cl

El aprendizaje de máquinas (AM) es una disciplina que se enfoca en la construcción de algoritmos que aprenden de la misma forma en que los animales aprendemos: a través de la experiencia. En las últimas décadas, la evolución del AM ha provocado un cambio de paradigma en la forma en que hacemos ciencia, gracias a desarrollos teóricos, avances computacionales y disponibilidad de datos masivos; esto ha posicionado al AM como una exitosa herramienta en variadas aplicaciones. En este sentido, el estudio del AM es fundamental no solo por su protagonismo en el estado actual del desarrollo tecnológico, sino que también por su innegable naturaleza interdisciplinaria y sus controversiales motivaciones filosóficas. En este artículo, revisaremos la historia y estado actual del AM, presentando las distintas aplicaciones que ha tenido en diferentes áreas del conocimiento, para luego discutir los desafíos que este campo de estudio enfrenta hoy.

INTRODUCCIÓN

El AM reúne elementos de optimización, estadística, probabilidades y ciencias cognitivas para construir el motor de aprendizaje dentro de la inteligencia artificial (IA). Definido por Arthur Samuel en 1950, el AM es la disciplina que da a las máquinas la habilidad de aprender sin ser explícitamente programadas. Si bien existen enfoques al AM inspirados en sistemas biológicos, es necesario clarificar que ésta no es la única forma de construir algoritmos o métodos de aprendizaje. Una analogía se puede identificar en los primeros intentos por construir máquinas

voladoras, en donde inicialmente se intentó, infructuosamente, replicar el movimiento de las alas de un ave. Sin embargo, no fue sino hasta la invención del primer avión, el cual no mueve sus alas, que se logró construir la primera máquina voladora.

El AM es una disciplina joven que ha experimentado un vertiginoso crecimiento en las últimas décadas. Esto ha sido posible, en gran parte, gracias a los recientes avances computacionales y a la existencia de bases de datos de un volumen suficiente para el entrenamiento de algoritmos complejos. El uso masivo de técnicas del AM se ha visto reflejado en distintas áreas, como por ejemplo visión computacional, clasificación de secuencias de ADN, marketing, detección de fraude, diagnósticos médicos, análisis financiero y traducción de texto, entre otras. Adicionalmente, si bien el objetivo del AM es desarrollar algoritmos de aprendizaje prescindiendo en gran medida de la intervención humana, otra razón del éxito del AM es su facilidad para acoplarse con otras disciplinas, lo cual permite incorporar conocimiento de aplicaciones específicas, dando cabida a lo que conocemos últimamente como *data science*. Es entonces necesario entender el AM, su motivación y génesis, sus áreas de aplicación y sus desafíos actuales.

La siguiente sección de este artículo abordará los orígenes del AM en relación a la IA. Luego, revisaremos una breve historia del AM, donde veremos cómo ésta se convirtió en una disciplina en sí misma, con una activa comunidad e interacciones con otras áreas del conocimiento. Posteriormente, mencionaremos los tipos de



AM en distintos escenarios para luego clarificar su relación con otras disciplinas como estadística, computación clásica y *data science*, entre otras. Finalmente, presentaremos algunos de los desafíos actuales del área.

ORÍGENES: INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Tradicionalmente, los seres humanos nos hemos comprendido a nosotros mismos en oposición al resto de los animales. En este ejercicio, nuestras habilidades cognitivas han sido el principal foco de atención, destacando particularmente nuestra capacidad de adaptarnos a diferentes situaciones ambientales de forma rápida y sin la necesidad de un cambio evolutivo. Por ejemplo, para migrar desde África al norte de Europa y a Oceanía el *Homo sapiens* no se adaptó biológicamente a climas distintos, sino que manipuló herramientas y materiales para producir embarcaciones y vestimenta adecuada (Harari, 2015). Como sociedad, siempre hemos estado interesados en entender la inteligencia. En efecto, desde sus inicios la filosofía, psicología y ciencias cognitivas se han dedicado al estudio de la forma en que entendemos, recordamos, razonamos y aprendemos. La IA es una disciplina mucho más reciente que las anteriores y su objetivo no es solo la comprensión teórica de la inteligencia como habilidad humana; por el contrario, su principal objetivo es replicar la inteligencia y, por ende, su fin último es la construcción de seres inteligentes no-humanos (Russell & Norvig, 2003).

En estricto rigor, la definición más ampliamente aceptada de la IA tiene que ver con la capacidad de una máquina de realizar acciones inteligentes u objetivamente racionales. Ésta es la posición de Alan Turing, quien propone que una máquina es inteligente si es capaz de desarrollar tareas cognitivas a un nivel humano suficiente para engañar a un interrogador (también humano)

(Turing, 1950). En este contexto, para que una máquina sea inteligente, o equivalentemente, apruebe el test de Turing, es necesario que posea (Russell & Norvig, 2003):

- *procesamiento de lenguaje natural para comunicarse con seres humanos, en particular, el interrogador,*
- *representación del conocimiento para guardar información recibida antes y durante la interrogación,*
- *razonamiento automático para usar la información almacenada y formular respuestas y conclusiones, y*
- *aprendizaje de máquinas para adaptarse a nuevas circunstancias y descubrir patrones.*

El test de Turing sigue siendo un tópico de investigación en filosofía hasta el día de hoy, sin embargo, los avances actuales de la IA no están necesariamente enfocados en diseñar máquinas para aprobar dicho test. Actualmente, la IA apunta hacia el desarrollo de metodologías para aprender de grandes volúmenes de datos sin necesariamente actuar de forma humana (recordemos el ejemplo de las aves y las máquinas voladoras en la introducción), en particular, el componente de aprendizaje de máquinas en la lista anterior ha jugado un papel fundamental en esta nueva etapa, en donde su aporte en distintas áreas de aplicación es cada vez más evidente.

BREVE HISTORIA DEL APRENDIZAJE DE MÁQUINAS

El conexionismo es un movimiento que pretende explicar las habilidades intelectuales mediante redes neuronales artificiales, es decir, modelos compuestos por capas de unidades básicas de procesamiento (i.e., neuronas) conectadas entre

sí. Con base en las definiciones de la inteligencia de máquinas asentadas por Turing, las primeras redes neuronales artificiales comenzaron a emerger en los trabajos seminales de (Minsky, 1952), quien programó el primer simulador de una red neuronal, (Farley & Clark, 1954), que implementaron un algoritmo de prueba y error para el aprendizaje, y (Rosenblatt, 1958), quien propuso el Perceptrón, un clasificador lineal que ajusta sus parámetros en línea. En los años siguientes, la investigación en redes neuronales (RN) se vio afectada por las limitaciones de dichas estructuras, expuestas en (Minsky & Papert, 1969), dando origen así al denominado primer invierno de la IA. Es en este período cuando el Profesor Sir James Lighthill expuso frente al parlamento inglés que la IA se fijaba objetivos no realistas y solo servía para escenarios básicos (Lighthill, 1973). Esta desconfianza en los alcances de la IA ralentizó su desarrollo, no obstante, los conexionistas seguirían investigando sobre formas de diseñar y entrenar redes neuronales. Finalmente, la propuesta de (Werbos, 1974) -que culminaría en el algoritmo de *backpropagation* propuesto por (Rumelhart, Hinton, & Williams, 1986)- y los avances de (Hopfield, 1982) en RN recurrentes permitirían terminar con este primer receso de la teoría conexionista.

Durante la pausa del conexionismo, tuvo lugar el desarrollo de los sistemas basados en reglas, en particular, de los sistemas compuestos por reglas condicionales de la forma “si-entonces” (*if-then*)¹. Estos sistemas pretenden replicar el comportamiento de un humano experto; consecuentemente, son conocidos como “sistemas experto”. Estos métodos se convirtieron en la primera herramienta exitosa de la IA en aplicaciones reales, sin embargo, los sistemas experto no aprenden por sí solos, es decir, las reglas si-entonces deben ser explícitamente programadas por un humano. En problemas complejos, el considerable costo asociado al diseño humano de reglas hizo colapsar a este tipo de sistemas, pues la cantidad de información disponible aumentaba y dicho enfoque carecía de escalabilidad (i.e., la habilidad de un algoritmo para continuar funcionando bien cuando el volumen de los

1. Por ejemplo, una regla “si-entonces” simple para un termostato podría ser: “si” la temperatura está por debajo de la deseada, “entonces” el calefactor debe continuar encendido.

datos aumenta). Un sistema basado en reglas que aún se utiliza son los llamados árboles de decisión (Breiman, Friedman, Olshen, & Stone, 1984), los cuales difieren de los sistemas experto en que las reglas no son definidas por un humano sino que descubiertas sobre la base de la elección de variables que mejor segmentan los datos de forma supervisada (ver Sección Taxonomía del aprendizaje de máquinas).

Oportunamente, antes del colapso de los sistemas experto, todavía en la década de los ochenta, las RN vieron un resurgimiento con el método de *backpropagation* (Rumelhart, Hinton, & Williams, 1986). Este permitía entrenar RN de más de dos capas usando gradiente descendente y la regla de la cadena (i.e., ajustando los parámetros de la red mediante la minimización de una función de desempeño en base a derivadas calculadas capa a capa). Esto, a su vez, permitió finalmente validar la teoría conexionista en tareas complejas, específicamente en reconocimiento de caracteres usando redes convolucionales como el Neocognitron (Fukushima, 1980) y LeNet-5 (LeCun, Boser, Denker, Henderson, Howard & Jackel, 1989), y reconocimiento de voz usando RN recurrentes (Hopfield, 1982). Tras este breve resurgimiento del paradigma conexionista, hacia fines de los ochenta tuvo lugar una segunda caída del conexionismo, debido a la inexistencia de una clara teoría que explicara el desempeño de las redes neuronales, su elevado costo computacional y su tendencia al sobreajuste².

Posteriormente, a principios de los noventa, y basado en la teoría del aprendizaje estadístico (Vapnik & Chervonenkis, 1971), surgieron los métodos basados en kernels, resaltando específicamente las máquinas de soporte vectorial (MSV) (Boser, Guyon, & Vapnik, 1992). Esta nueva clase de algoritmos estaba fundamentada en una base teórica que combinaba elementos de estadística y análisis funcional, para caracterizar los conceptos de sobreajuste, optimalidad de soluciones y funciones de costo en el contexto del aprendizaje de máquinas. Además de sus fundamentos teóricos, las MSV mostraron ser una alternativa competitiva a las RN en cuanto a su desempeño y costo computacional en distintas aplicaciones.

También en la década de los noventa, surgieron nuevos enfoques de aprendizaje de máquinas en donde el manejo de incertidumbre era abordado usando teoría de probabilidades, siendo éste el punto de mayor similitud entre el AM y la estadística (Ghahramani, 2015). Este enfoque procede definiendo una clase de modelos generativos probabilísticos, en otras palabras, se asume que los datos observados son generados por un modelo incierto y aleatorio. Luego, el aprendizaje consiste en convertir la "probabilidad de los datos dado el modelo" en la "probabilidad del modelo dado los datos". Para ello, se utiliza el teorema de Bayes: una fórmula que relaciona, justamente, la probabilidad del "efecto de una causa" con la probabilidad de dicha causa, sobre la base de la observación del efecto. El enfoque bayesiano permite definir todos los elementos del problema de aprendizaje (i.e., modelos, parámetros y predicciones) mediante distribuciones de probabilidad. Esto, con la finalidad de caracterizar la incertidumbre en el modelo y definir intervalos de confianza en las predicciones, permitiendo incluso hacer inferencia sobre modelos con infinitos parámetros (Hjort, Holmes, Müller, & Walker, 2010). En estos casos, el espacio de parámetros pueden ser todas las posibles soluciones de un problema de aprendizaje, por ejemplo, el conjunto de las funciones continuas en regresión (Rasmussen & Williams, 2006) o el conjunto de las distribuciones de probabilidad en el caso de estimación de densidades (Ferguson, 1973). Éste es un enfoque elegante y formalmente sustentado en la teoría de probabilidades el cual permitió reinterpretar métodos anteriores, a pesar de ello, muchas veces esta formulación resulta en que las estimaciones del modelo y las predicciones no tienen forma explícita. Por ello, para el éxito del AM bayesiano fue necesario recurrir a técnicas de inferencia aproximada basadas en Monte Carlo (Neal, 1993) o métodos variacionales (Jordan, Ghahramani, Jaakkola, & Saul, 1999).

Un nuevo resurgimiento de las RN se vio en los primeros años de la década del 2000, donde el área se renombró como *deep learning* (Bengio, 2009), nombre inspirado por las nuevas intuiciones que guían las arquitecturas de las RN. Pro-

gresivamente, el foco de la comunidad migró desde temáticas probabilistas o basadas en kernels para volver a RN, pero ahora con un mayor número de capas. Es así como el enfoque conexionista finalmente logra las metas propuestas más de dos décadas atrás. Este éxito se debe principalmente a dos factores: la gran cantidad de datos disponibles, e.g., la base de datos ImageNet, y la gran capacidad computacional y paralelización del entrenamiento mediante el uso de tarjetas gráficas. Estas condiciones permitieron implementar RN con billones de parámetros, las cuales eran complementadas con técnicas para evitar el sobreajuste.

El hecho de que (i) hasta el momento no hay otro enfoque que supere a *deep learning* en variadas aplicaciones, lo cual ha sido confirmado por los avances de Google, DeepMind y Facebook, y que (ii) la gran cantidad de parámetros de las RN "profundas" no tenga claro significado para entender relaciones entre datos, hace que el AM se aisle de la estadística en pos de un objetivo es netamente predictivo y no inferencial. De acuerdo a Max Welling, si bien la irrupción de *deep learning* distancia al AM de la estadística, aún hay temáticas que se nutren de ambas áreas, como programación probabilista y computación bayesiana aproximada (Welling, 2015). Adicionalmente, Yoshua Bengio sostiene que aún hay muchos aspectos inciertos de *deep learning* en los cuales los estadísticos podrían contribuir, tal como los especialistas de las ciencias de la computación se han dedicado a los aspectos estadísticos del aprendizaje de máquinas en el pasado (Bengio, 2016).

TAXONOMÍA DEL APRENDIZAJE DE MÁQUINAS

En la sección anterior se mencionaron distintos métodos de AM que son transversales a variados tipos de aprendizaje, en esta sección veremos los tres principales tipos de aprendizaje de máquinas que se implementan hoy en día.

2. El sobreajuste es un efecto que suele ocurrir al entrenar modelos complejos (con muchos parámetros) y tiene relación con el aprendizaje de características específicas de los datos de entrenamiento que no son representativos de la estructura principal de los datos. Un algoritmo sobreajustado aprende relaciones únicas del conjunto de entrenamiento y es incapaz de generalizar el aprendizaje a nuevos datos. →

En primer lugar, está el aprendizaje supervisado, en el que los datos consisten en pares de la forma (dato, etiqueta) y el objetivo es estimar una función $f(\cdot)$ tal que $\text{etiqueta} = f(\text{dato})$, de acuerdo a cierta medida de rendimiento. El término supervisado viene del hecho de que los datos de entrenamiento cuentan con etiquetas correctamente asignadas por un “supervisor”, muchas veces humano. Ejemplos de aprendizaje supervisado son la identificación de *spam* en correos electrónicos (clasificación) y la estimación del precio de una propiedad en función de características como su tamaño y ubicación (regresión).

La segunda categoría es el aprendizaje no supervisado, el cual consiste en extraer información de datos que no están etiquetados para encontrar su estructura subyacente. La búsqueda de dicha estructura tiene usualmente fines de visualización, almacenamiento o búsqueda de características (i.e., una forma de preprocesar datos antes de aplicar otros métodos de AM). Dos técnicas principales del aprendizaje no supervisado son (i) el *clustering*, es decir, la agrupación de datos en subconjuntos (*clusters*) cuyos miembros tienen algún grado de relación o propiedades en común; y (ii) los métodos de reducción de dimensionalidad que pretenden expresar los datos usando “menos variables” que las originales. Un ejemplo de aprendizaje no supervisado usando redes neuronales es (Hinton & Salakhutdinov, 2006) donde un gran número de artículos (los datos en este caso son texto) fueron segmentados en *clusters* sobre la base de la frecuencia de aparición de las palabras contenidas en el texto. Los *clusters* encontrados correspondieron precisamente a las categorías de los artículos: economía, accidentes, asuntos gubernamentales, etc.

La tercera categoría del AM es el aprendizaje reforzado, en donde el objetivo es aprender a tomar decisiones mediante la maximización de un funcional de recompensa. Éste es probablemente el tipo de aprendizaje más cercano a la forma en que los animales aprendemos, i.e., mediante prueba y error. Un ejemplo ilustrativo

de este tipo de aprendizaje es el adiestramiento de perros mediante recompensas como comida y afecto. El reciente resultado de DeepMind, donde una máquina aprendió a jugar Go usando una búsqueda de árbol y una RN profunda, es uno de los ejemplos más exitosos de aprendizaje reforzado (Silver, et al., 2016).

RELACIÓN CON OTRAS DISCIPLINAS

AM y Estadística. En el análisis de datos es posible identificar dos extremos, a saber, el aprendizaje inductivo y el aprendizaje deductivo. El primero tiene por objetivo realizar predicciones con algoritmos complejos que no necesariamente expliquen los datos coherentemente, los supuestos *a priori* sobre la naturaleza de los datos son heurísticos y es indispensable trabajar con una gran cantidad de datos. El aprendizaje deductivo, por otra parte, tiene por objetivo que los agentes aprendan relaciones significativas entre los datos usando modelos simples; en este caso, sí se adoptan supuestos sobre la naturaleza de los datos y no se trabaja con una cantidad masiva de ellos. Podemos entender a la estadística por su cercanía al segundo extremo (i.e., el aprendizaje deductivo), mientras que el AM tiene componentes que son de enfoque deductivo y muy relacionado con estadística (inferencia bayesiana), y componentes de enfoque inductivo (e.g., redes neuronales). Una consecuencia de esto es la importancia que tienen los parámetros en distintos métodos de AM: en los métodos deductivos (estadísticos) los parámetros tienen un rol explicativo de la naturaleza del fenómeno en cuestión que es revelado por los datos, mientras que los métodos inductivos se caracterizan por tener una infinidad de parámetros sin una explicación clara, pues el objetivo muchas veces es directamente hacer predicciones. La relación entre estadística y algunos enfoques al AM es tan cercana que Robert Tibshirani se ha referido

al AM como “estadística pretenciosa” (*glorified statistics*).

AM y Programación Clásica. La programación clásica construye algoritmos basados en reglas, esto es, listas de instrucciones que son ejecutadas en una máquina. Esto requiere que el programador conozca de antemano el algoritmo a programar, e.g., calcular la transformada de Fourier rápida (FFT) de una grabación de audio. Sin embargo, hay determinadas tareas en las cuales el algoritmo apropiado no es conocido. En estos casos, el enfoque que adopta el AM es programar directamente la máquina para que aprenda la lista de instrucciones. Tomemos el caso del ajedrez: de acuerdo a (Shannon, 1950) el número de combinaciones posibles para el juego de ajedrez es del orden de 10^{43} , esto significa que, usando programación clásica, un programa básico para jugar ajedrez tendría que tener al menos esa cantidad de instrucciones de la forma “para la combinación C, ejecutar la acción A”. Si todos los humanos sobre la faz de la tierra (7.4×10^9 estimado a abril 2017) se uniesen para programar esta rutina y cada uno pudiese escribir 10 de estas instrucciones por segundo, nos tomaría 4×10^{25} años, esto es casi mil billones (10^{15}) de veces la edad de la tierra (4.54×10^9 años), lo cual hace impracticable adoptar un enfoque clásico de programación para jugar ajedrez. Una alternativa basada en AM es un programa simple en el cual la máquina explora distintos posibles escenarios del tablero e inicialmente toma decisiones aleatorias de qué acción ejecutar para luego registrar si dicha movida llevó a ganar o perder el juego. Este enfoque de programación no pretende programar la máquina para “jugar ajedrez” sino para “aprender a jugar ajedrez”. Una exitosa implementación de este concepto usando aprendizaje reforzado y redes neuronales profundas para el juego de Go puede verse en (Silver, et al., 2016), como comentábamos en el apartado [Taxonomía del aprendizaje de máquinas](#).

AM, *Knowledge Discovery in Databases* (KDD) y Minería de Datos: KDD (Fayyad, Piatetsky-Shapiro, & Smyth, 1996) tiene relación con la



IMAGEN 1.
FOTOGRAFÍA DEL FRONTIS DE LA CASA CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE PROCESADA CON EL ALGORITMO *DEEP DREAM*, EL CUAL REALZA PATRONES USANDO UNA RED NEURONAL CONVOLUCIONAL.

identificación de patrones útiles y explicativos en datos, y consta de cinco etapas: selección, preparación, transformación, minería e interpretación de datos. En particular, la etapa de minería de datos³ consiste en extraer información desde datos disponibles, por ejemplo, agruparlos en subconjuntos afines o identificar situaciones anómalas. Para esto se usan herramientas de AM, especialmente de aprendizaje no supervisado debido a la cantidad de los datos, los cuales en general no están etiquetados y existe poco conocimiento *a priori* de su naturaleza.

AM y *Data Science*. En línea con sus orígenes en la IA, el objetivo del AM es encontrar relaciones entre datos y hacer predicciones prescindiendo de la intervención humana, es decir, con escaso conocimiento *a priori*. Sin embargo, las

técnicas de AM pueden ser complementadas con el conocimiento de un problema específico, en donde especialistas en AM colaboran con expertos en (i) el área en cuestión, (ii) minería de datos y (iii) visualización. Esto es *data science*, una disciplina colaborativa donde distintas áreas unen fuerzas para hacer un análisis detallado de los datos, con la finalidad de resolver un problema en particular, usualmente con fines comerciales. El perfil del *data scientist* es muy completo, pues debe tener conocimiento de AM, estadística, programación, minería de datos, interactuar con especialistas y entender el impacto comercial del análisis. De hecho, *data scientist* ha sido considerado el puesto de trabajo más sexy del siglo XXI según Harvard Business Review (Davenport & Patil, 2012).

ESTADO DEL APRENDIZAJE DE MÁQUINAS Y DESAFÍOS ACTUALES

El aprendizaje de máquinas es una reciente disciplina que provee de herramientas a una gran cantidad de campos de estudio, pero también es un área de investigación en sí misma con una activa comunidad y muchas preguntas abiertas. Desde el punto de vista algorítmico, es posible identificar, en primer lugar, el desafío del entrenamiento en línea, esto es, ajustar un algoritmo cada vez que se dispone de un nuevo dato para

3. Nótese que minería de datos se refiere a extraer información desde datos, no extraer datos como su nombre lo sugiere.

operar continuamente (e.g. análisis de series de tiempo). Este es un concepto fundamental en procesamiento adaptativo de señales y no ha sido tomado en cuenta satisfactoriamente aún en AM. Otro desafío que tiene relación con la implementación de algoritmos es la capacidad de escalar el entrenamiento del AM para *Big Data*, pues en general los métodos utilizados en el AM son costosos, ya que se enfocan en aprender estructuras complejas y no en procesar datos de alta dimensión *per se*. Sin embargo, esta habilidad es cada vez más necesaria en la era de la información, donde los conceptos que actualmente se usan en *Big Data* son básicos comparados con el estado del arte del AM. También es posible identificar desafíos en un plano teórico, como por ejemplo la transferencia de aprendizaje, donde la experiencia adquirida en la realización de una tarea (e.g., reconocimiento de

automóviles) sirve como punto de partida para una tarea relacionada (e.g., reconocimiento de camiones), de la misma forma en que un físico o matemático se familiariza rápidamente con el área de finanzas a pesar de no tener necesariamente conocimientos previos de dicha área.

Por otro lado, existe un desafío ético relacionado a los riesgos del uso del AM: el avance de esta disciplina parece a veces descontrolado y abre interrogantes con respecto de dimensiones como la legislación sobre el actuar de máquinas inteligentes. Por ejemplo, preguntas como ¿quién es responsable en un accidente en el que está involucrado un automóvil autónomo?, o bien, ¿debemos dejar que una máquina evalúe a un humano que solicita un crédito hipotecario o que postula a un trabajo?, sugieren que el avance en el AM no sólo debe ser técnico sino

que también ético y social. El desafío ético del AM es un área que no hemos explorado y sugiere que, a pesar de los avances teóricos y sobre todo aplicados del AM, estamos lejos de entender la inteligencia. Como ha sido expuesto en (Gal, 2015), nuestra relación con el desarrollo de la inteligencia mediante el uso del AM puede ser entendido como el *Homo erectus* hace 400.000 años frotando dos ramas para producir fuego: ellos se beneficiaron del fuego para abrigarse, cocinar y cazar, sin embargo, esto no quiere decir que comprendían por qué al frotar dos ramas generaban fuego o, más aún, qué es el fuego. Estamos en una etapa temprana del estudio del aprendizaje, en la que usamos estas herramientas "inteligentes" para nuestro bienestar. No obstante, estamos lejos de comprender realmente la ciencia que hay detrás. ■



AGRADECIMIENTOS

EL AUTOR ESTÁ PROFUNDAMENTE AGRADECIDO DE ANITA TOBAR (UNIVERSITY OF EDINBURGH), ANGELO FALCHETTI Y MATÍAS MATTAMALA (AMBOS DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE) POR ESTIMULANTES Y ENTRETENIDAS DISCUSIONES SOBRE LOS TEMAS TRATADOS AQUÍ, Y TAMBIÉN POR COMENTARIOS SOBRE VERSIONES PRELIMINARES DE ESTE ARTÍCULO. ESTE TRABAJO FUE REALIZADO BAJO FINANCIAMIENTO DE LOS PROYECTOS CONICYT PAI-82140061 "*MACHINE LEARNING MEETS SIGNAL PROCESSING*" Y BASAL-CMM.

REFERENCIAS

- Bengio, Y. (19 de enero de 2016). What's Yoshua Bengio's opinion on Max Welling's position paper "Are ML and Statistics Complementary"? Visitado el 11 de diciembre 2016 en Quora: <https://www.quora.com/Whats-Yoshua-Bengios-opinion-on-Max-Wellings-position-paper-Are-ML-and-Statistics-Complementary>
- Bengio, Y. (2009). Learning deep architectures for AI. *Foundations and Trends® in Machine Learning*, 2 (1), pp. 1-127.
- Boser, B. E., Guyon, I. M., & Vapnik, V. N. (1992). A training algorithm for optimal margin classifiers. *In Proceedings of the Fifth Annual Workshop on Computational Learning Theory*, (p. 144).
- Breiman, L., Friedman, J. H., Olshen, R. A., & Stone, C. J. (1984). *Classification and Regression Trees*. Wadsworth & Brooks.
- Davenport, T. H., & Patil, D. (octubre de 2012). Data scientist: The sexiest job of the 21st century. Visitado en noviembre de 2016 en *Harvard Business Review*: <https://hbr.org/2012/10/data-scientist-the-sexiest-job-of-the-21st-century>
- Fukushima, K. (1980). Neocognitron: A self-organizing neural network model for a mechanism of pattern recognition unaffected by shift in position. *Biological Cybernetics*, 36, 193–202.
- Fayyad, U., Piatetsky-Shapiro, G., & Smyth, P. (1996). From data mining to knowledge discovery in databases. *AIMagazine*, 17 (3), 37-54.
- Farley, B., & Clark, W. (1954). Simulation of self-organizing systems by digital computer. *IRE Transactions on Information Theory*, 4 (4), 76-84.
- Ferguson, T. S. (1973). A Bayesian analysis of some nonparametric problems. *Annals of Statistics*, 1 (2), 209– 230.
- Gal, Y. (17 de diciembre de 2015). The Science of Deep Learning. Visitado el 12 de diciembre del 2016 en Yarin Gals' website: http://mlg.eng.cam.ac.uk/yarin/blog_5058.html
- Ghahramani, Z. (2015). Probabilistic machine learning and artificial intelligence. *Nature*, 521, 452–459.
- Harari, Y. N. (2015). *Sapiens: A Brief History of Humankind*. Harper.
- Hjort, N., Holmes, C., Müller, P., & Walker, S. (2010). *Bayesian Nonparametrics*. Cambridge University Press.
- Hopfield, J. J. (1982). Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. *In Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 79, pp. 2554–2558.
- Jordan, M. I., Ghahramani, Z., Jaakkola, T., & Saul, L. (1999). An introduction to variational methods for graphical models. *Machine Learning*, 37, 183-233.
- LeCun, Y., Boser, B., Denker, J. S., Henderson, D., Howard, R. E., W. H., & Jackel, L. D. (1989). Backpropagation applied to handwritten zip code recognition. *Neural Computation*, 1 (4), 541-551.
- Lighthill, J. (1973). Artificial Intelligence: A general survey. *Artificial Intelligence: A Paper Symposium*. Science Research Council.
- Neal, R. M. (1993). Probabilistic inference using Markov chain Monte Carlo methods. University of Toronto, Department of Computer Science.
- Minsky, M. (1952). A neural-analogue calculator based upon a probability model of reinforcement. Harvard University Psychological Laboratories.
- Minsky, M., & Papert, S. (1969). *Perceptrons: An Introduction to Computational Geometry*. MIT.
- Hinton, G. E. & Salakhutdinov, R. R. (2006). Reducing the dimensionality of data with neural networks. *Science*, 313, 504-507.
- Silver, D., Huang, A., Maddison, C. J., Guez, A., Sifre, L., Driessche, G. v., et al. (2016). Mastering the game of Go with deep neural networks & tree search. *Nature*, 529, 484-488.
- Shannon, C. (1950). Programming a computer for playing chess. *Philosophical Magazine*, 41 (314).
- Rumelhart, D. E., Hinton, G. E., & Williams, R. J. (1986). Learning representations by back-propagating errors. *Nature*, 323 (6088), 533-536.
- Russell, S. J., & Norvig, P. (2003). *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Pearson Education.
- Rasmussen, C. E., & Williams, C. K. (2006). *Gaussian Processes for Machine Learning*. The MIT Press.
- Rosenblatt, F. (1958). The Perceptron: A probabilistic model for information storage and organization in the brain. *Psychological Review*, 65 (6), 386–408.
- Turing, A. M. (1950). Computing machinery and intelligence. *Mind*, 59 (236), 433-460.
- Welling, M. (2015). Are ML and Statistics complementary? *Roundtable discussion at the 6th IMS-ISBA meeting on "Data Science in the next 50 years"*.
- Werbos, P. (1974). *Beyond Regression: New Tools for Prediction and Analysis in the Behavioral Sciences*. PhD thesis, Harvard University.
- Vapnik, V., & Chervonenkis, A. (1971). On the uniform convergence of relative frequencies of events to their probabilities. *Theory of Probability and its Applications*, 16, 264-280.

BLOCK- CHAIN



JENSHARDINGS

Doctor en Ciencias mención Computación, Universidad de Chile. Profesor part time en la Universidad de Chile entre 2004 y 2014, y full time en la Pontificia Universidad Católica de Chile entre 2005 y 2010. Áreas de interés en Impacto Social de las TI, incluyendo Software Libre, Seguridad Informática y Redes de Computadores, así como Software Social. Actualmente participa en directorios, emprendimientos y asesorías, con énfasis en Gobernanza.
jens@hardings.cl

Pocas veces hemos visto una tecnología que genera tanta expectativa como el Blockchain, la base sobre la cual pueden funcionar no sólo las criptomonedas, sino todo un ecosistema de agentes autónomos y semiautónomos. Se ha dicho que es lo único parecido a Internet desde la Internet, en el sentido que hará a las finanzas lo que Internet hizo a los datos.

Con la incorporación al club por parte de Mastercard, la institución más reticente en lanzar públicamente proyectos con Blockchain, ya no queda ningún banco ni institución financiera de nivel global que se precie de tal, que no tenga alguna actividad relacionada al uso de esta tecnología. Al menos han aprendido a no seguir el contraejemplo de la industria musical y del cine, que tomaron la ruta de la negación y lucha contra el cambio, y sumarse más que restarse a la revolución *Fintech* que según muchos va a cambiar dramáticamente el paisaje de la industria financiera en el corto o a lo más mediano plazo. Y claro, los bancos no tienen ningún recurso parecido a las estrellas del Rock, Pop o Cine de los cuales intentar colgarse y no conozco a nadie que diga sinceramente que es fanático de su banco (en el mejor de los casos es un sentimiento de indiferencia), así que parece una decisión más que razonable. De hecho, normalmente en cualquier evento sobre Fintech los servicios prestados por la banca e instituciones relacionadas quedan muy mal parados en cuanto a eficiencia relativa con respecto a las soluciones nuevas que ya funcionan en todas las áreas de negocio relacionadas, por lo que cualquier mejora en imagen debiera ser bienvenida.

Tenemos que ser justos y mencionar que el fenómeno Fintech no se debe únicamente al Blockchain y en gran parte está relacionado con la forma de ver el mundo que tienen los Millenials, pero aun filtrando solamente las iniciativas basadas en Blockchain, los números siguen siendo muy impresionantes. Y por otro lado, Blockchain no solamente tiene una componente financiera sino, y aquí se pone realmente interesante, permite interacciones genéricas, como una máquina virtual no meramente distribuida, sino descentralizada a nivel físico, administrativo y político (con todas las ventajas y desventajas que ello implica).

Tanta expectativa respecto del Blockchain hace parecer inevitable a su vez muchas desilusiones cuando se disipe el polvo. Con toda seguridad en 2017 ya no será tan fácil levantar un par de decenas de millones de dólares sólo por mencionar Blockchain en un pitch. Pero hay aspectos que rescatar dentro de todo el *hype* y en general si se llega a cumplir sólo una fracción de las promesas, y éstas sólo parcialmente, tendrán un impacto muy importante en nuestra sociedad.

El Blockchain ha tomado relevancia después de haber sido algo así como el hijo desatendido del Bitcoin. Esto surge cuando nos damos cuenta que sus usos van mucho más allá de criptomonedas y medios de pago, y además incide la relativamente mala fama que estaba comenzando a recibir Bitcoin por *affaires* como MtGox, Silk Road y grupos dedicados al Ransomware, entre otros.



LA TECNOLOGÍA

Dada la facilidad con que se pueden crear copias idénticas de objetos digitales a costo prácticamente cero, el principal problema que se debe resolver para poder usar una moneda digital es el del doble gasto. O sea, cómo evito que alguien pueda tomar un símil de un billete o una moneda en formato electrónico y gastar cada copia paralelamente en distintas transacciones. En términos prácticos, sería el equivalente a sacarle copia a un billete de \$1.000 y con uno de los billetes comprarme un diario y con el otro comprarme un café.

Las soluciones a ese problema generalmente toman uno de dos caminos posibles:

- a) *Asociar el valor a un medio físico, con procesos que garantizan que cuando se transfiera haciendo un pago, ya no seguirá estando vigente en ese medio. Esto es lo que se hace por ejemplo con las tarjetas de prepago tipo Mi-Fare o Cipurse.*
- b) *Mantener un registro de todas las transacciones, o al menos todos los saldos que están asociados a cada cuenta o sujeto.*

En ambos casos, si múltiples actores pueden generar ingresos y egresos en las cuentas, y/o transacciones entre cuentas, no hay garantía de que el resultado sea consistente (alguien podría agregar valor a una cuenta sin que exista el correspondiente ingreso ni se saque de otra) ni correcto (inclusión de transacciones inválidas u objetadas). Por lo mismo, todos los sistemas propuestos antes del Bitcoin tenían al menos la desventaja de requerir de un tercero en quien todos confiaran para entregar esas propiedades (consistencia y correctitud), y si bien se pueden implementar sobre sistemas distribuidos, la autoridad y control sobre la información siempre había sido centralizada.

BLOCKCHAIN: CONFIANZA, CONSENSO

El Blockchain permite, por primera vez, descentralizar la gestión de la base de datos de transacciones sin requerir que los participantes confíen entre sí, y así consensuar una única versión compartida entre todos los participantes. Es por esto que The Economist en su artículo de 2015 le llamó "The Trust Machine"¹ (La Máquina de Confianza). Pero, ¿confianza en qué? Lo que provee el Blockchain es confianza en que los datos contenidos en él son consistentes y correctos, o sea que toda la creación y transferencias de valor o información genérica registrados cumplen las reglas. Para lograrlo, se necesita ordenar la información y mantener estas reglas en el tiempo, de forma que éstas tampoco pasen a ser una componente centralizada.

Otro punto relevante para efectos de mantener la descentralización es no depender de una fuente confiable de la hora actual. En el Blockchain, el tiempo se mide esencialmente en cantidad de bloques, específicamente el largo actual de la cadena de bloques. En cada bloque existe un *timestamp* que coloca quien genera el bloque, para lo cual debe seguir ciertas reglas. No por eso se considera una fuente confiable, pero a lo largo de la cadena de bloques permite mantener de forma agregada una sincronización suficientemente cercana a la hora real para todos los efectos prácticos, como por ejemplo mantener el promedio del ritmo de generación de bloques dentro del rango deseado.

TRANSACCIONES Y BLOQUES

Las transacciones en el Blockchain de una criptomoneda son esencialmente transferencias de valor desde una ubicación a otra, y para que sean válidas deben seguir ciertas reglas, como

que el saldo que se transfiere debe estar disponible, tiene que contener la autorización de quien controla esos fondos, etc. Estas transacciones se agrupan en bloques que son los que efectivamente se agregan a la base de datos, y un bloque es válido si todas las transacciones (en el orden en que están en el bloque) son válidas. Las transacciones y los bloques se distribuyen mediante una red P2P, de forma que todos quienes quieran participar tienen acceso a esa información, y cada bloque depende directamente del anterior, de ahí el nombre Blockchain o cadena de bloques.

Para ser realmente un sistema descentralizado, no se puede imponer centralizadamente quién tiene la atribución de agregar datos al Blockchain ni cuáles son las reglas que debe seguir, tanto para las transacciones como para los bloques. Pero si aplicamos esto al pie de la letra, cualquiera podría agregar información al Blockchain en cualquier momento y con las reglas que estime convenientes, generando un caos. Lo que se necesita entonces es un sistema que ordene los bloques que se van agregando y permita dirimir diferencias en las reglas.

Para ordenar los bloques, se introduce un algoritmo de consenso con el que se logra que en promedio se genere un bloque cada X cantidad de tiempo (en Bitcoin, X = 10 minutos; en otros Blockchain no es raro que sea solo un par de segundos). Este proceso de búsqueda del siguiente bloque se llama minado. Un algoritmo de consenso permite distribuir la generación de bloques entre todos los interesados de forma proporcional a su involucramiento en el sistema, y por cada bloque el minero afortunado que lo encuentra se hace acreedor de una recompensa como incentivo para sostener el sistema en funcionamiento.

Para dirimir diferencias en las reglas y cualquier mal comportamiento, el esquema es sumamente simple: cada nodo participante acepta solamente bloques que considera válidos, o sea que cumplen con todas las reglas que considera válidas (en particular, las del algoritmo de consenso), y si hay más de una cadena de bloques que es válida, toma la más larga como la "verdadera".

1. <http://www.economist.com/news/leaders/21677198-technology-behind-bitcoin-could-transform-how-economy-works-trust-machine>

Todo esto redundando en que cualquier nodo que quiera hacer trampa va a incurrir en un esfuerzo mayor que seguir las reglas que la mayoría ha adoptado. En ese sentido, el sistema no gasta esfuerzo en detectar y perseguir o castigar a los tramposos, sino que simplemente los ignora; una solución elegante por lo demás.

Todo lo anterior es válido y ha demostrado funcionar muy bien en la práctica, siempre y cuando se cumpla con un requisito muy importante: que la generación de bloques esté bien repartida y no se concentre una porción cercana al 50% en un solo ente o grupo organizado. Y es un requisito no menor, sobre todo considerando que no hay cómo demostrar que esa concentración no existe.

ALGORITMOS DE CONSENSO

Existen varias alternativas para definir el algoritmo de consenso, pero los dos principales son *Proof of Work* (PoW) y *Proof of Stake* (PoS). El objetivo de estos algoritmos es resolver dos problemas:

1. *Llegar a un consenso sobre el estado del Blockchain controlando la velocidad de generación de bloques y definiendo un orden no objetable entre ellos, y*
2. *la incorporación y salida de nodos sin requerir un registro o inscripción de ningún tipo.*

PROOF OF WORK (POW)

Tomado del esquema Hashcash para limitar el Spam, consiste en encontrar un número que se incorpora al bloque de tal forma que el hash del bloque sea menor a cierto número objetivo. El cálculo de ese número objetivo forma parte de las reglas, por lo que si alguien quiere usar un objetivo más fácil, verá que los demás le rechazarán sus bloques.

Dependiendo del número objetivo, encontrar el adecuado para el bloque requiere muchas itera-

ciones y por ende como todos los participantes pueden comenzar a buscar el siguiente bloque apenas esté publicado el anterior, la cantidad de bloques que puede encontrar un nodo es proporcional al poder computacional que le dedica a ello.

La frecuencia en la generación de bloques se mantiene constante en promedio ajustando la dificultad (aumentando o reduciendo el número objetivo) cada cierto tiempo. La mayor crítica que se le hace al PoW es que genera un malgasto de energía importante, considerando que a mayo de 2017 se estima que se calculan $\sim 4 \times 10^{18}$ Hash por segundo² para mantener el Blockchain de Bitcoin, lo cual implica unos 393MW (Mega Watt) de consumo eléctrico permanente si se usara el hardware más eficiente del mercado³. Esto es casi un 7,5% de la capacidad de generación del Sistema Interconectado del Norte Grande de Chile, o cerca de un 1,8% de la capacidad total de generación instalada en Chile⁴. Un gran consumo considerando que esa es la cota inferior. Otra crítica que se le puede hacer es que, pasado un nivel mínimo de disponibilidad de recursos aportado por todos los nodos para un correcto funcionamiento del sistema, recompensar el exceso de capacidad dedicada a minar bloques no parece justo ni correcto.

PROOF OF STAKE (POS)

Una alternativa interesante, que igualmente puede incluir una proporción de PoW, es que aquellos que tienen más involucramiento en la plataforma, medido en fracción del total del valor que controlan, debieran ser quienes tienen más influencia. Después de todo, mientras más valor controlas, más interés tendrás en mantener el valor y no realizar ninguna acción que atente contra ese valor. Adicionalmente, al no involucrar más recursos de lo necesario, los costos de transacción debieran tender a ser mejores con un esquema de este tipo que no premia el exceso de capacidad computacional y por ende baja los costos.

Es importante mencionar eso sí que PoS puede funcionar en un sistema que ya tiene valor, donde quienes participan arriesgan algo en caso que se devalúe su participación, pero que no

cumple su objetivo en un sistema nuevo o de bajo valor total. Tanto Bitcoin como Ethereum, los Blockchain con mayor valor monetario, tienen planes de cambiar su operación a Proof of Stake, pero aún no son concretos en cuanto a fechas o detalles de implementación definitivos.

PRIVACIDAD

Dado que todas las transacciones son públicas, cabe preguntarse dónde está esa privacidad o anonimato que tanto se asocia a las criptomonedas. La verdad es que el modelo de privacidad es diametralmente opuesto al que manejan los bancos e instituciones financieras, que conocen perfectamente los detalles de todos sus clientes, y de hecho tienen una obligación legal de conocerlos (*Know Your Customer*) a través de leyes contra el lavado de activos. Estas instituciones mantienen las transacciones y los saldos en privado, protegidos por el secreto bancario.

En el caso de las criptomonedas es justo al revés: todas las transacciones con sus respectivos montos son públicas, pero nadie sabe a quién pertenecen salvo que el dueño quiera demostrar su vinculación a esas direcciones. Si se desea mantener la privacidad, es necesario seguir ciertas recomendaciones como por ejemplo usar distintas direcciones para cada transacción y otras. Pero cierta información es más difícil de ocultar, por ejemplo si debo pagar un monto alto necesito juntar fondos de más de una dirección, con lo cual queda publicado que todas esas direcciones están relacionadas.

ALMACENANDO MÁS QUE VALOR MONETARIO: ETHEREUM

A partir de aquí la cosa se pone realmente interesante. Recomendando leer cada una de las próxi-

2. <https://blockchain.info/charts/hash-rate>

3. https://en.bitcoin.it/wiki/Mining_hardware_comparison

4. Boletín Mercado Eléctrico sector Generación abril 2017: <http://generadoras.cl/documentos/boletines/boletin-mercado-electrico-sector-generacion-abril-2017>



mas tres secciones a conciencia y tomarse el tiempo de digerirla completa antes de seguir con la siguiente, porque cada sección se construye en base a los conceptos de la anterior.

Criptomonedas como el Bitcoin tienen propiedades interesantes que las hacen mucho más flexibles que el dinero en efectivo, como por ejemplo poder definir que cierto fondo no se puede gastar antes de que pase una cantidad de tiempo, o que se requieren varias firmas simultáneas, entre otros. Sin embargo, se puede hacer mucho más que eso. El caso más interesante es Ethereum, un Blockchain en el cual no solamente se almacena un valor, sino que se agrega código ejecutable (un lenguaje Turing-Completo, a diferencia del scripting intencionalmente limitado disponible en Bitcoin) y variables, en el cual una transferencia o mensaje hacia una dirección gatilla la ejecución del código. A partir de esto, se nos abren diversas posibilidades: contratos inteligentes, propiedad inteligente, Organizaciones Descentralizadas Autónomas (DAOs por sus siglas en inglés).

Todo nodo que participa en la mantención del Blockchain debe ejecutar el código correspondiente a cada transacción para validarla, y debe almacenar la información de las variables de cada contrato incluido en el Blockchain. Es entonces importante que ese código y el almacenamiento que usa sean eficientes, por lo que quien agrega una nueva transacción (estilo "quien llama paga") debe pagar una tarifa de procesamiento que es proporcional a las operaciones ejecutadas y espacio de memoria usado para validar la transacción. Quien inicia la transacción define un límite máximo a pagar (*gas limit*), y si esos fondos no alcanzan la transacción se elimina (y el iniciador paga igualmente el máximo que indicó). Esto evita problemas como *loops* infinitos y en general ejecutar operaciones que no son valiosas para alguien.

Una problemática relevante se presenta al querer incorporar información que no está presente *per se* en el Blockchain, dado que necesitamos poder validar las transacciones en todos y cada uno de los nodos participantes en el sistema de forma

determinista. Para mantener la naturaleza descentralizada quisiéramos obviamente que esta comunicación con el mundo exterior también lo fuera, por lo que las soluciones a este problema, los Oráculos, son más complejas que un simple RPC e incorporan múltiples fuentes con su respectiva reputación, respaldada o no por garantías en el mismo Blockchain, o hasta mercados predictivos completos.

CONTRATOS INTELIGENTES (SMART CONTRACTS) O DAPPS

No soy muy amigo de asociarle el atributo de inteligencia a sistemas que son meramente automatizaciones básicas como ejecutar código gatillado por la recepción de un mensaje, pero no voy a luchar contra la corriente en este tema por ahora. En términos simples, un contrato inteligente es una cuenta o dirección en el Blockchain que además de tener fondos disponibles, está asociada a un código que se ejecuta cada vez que llega una transacción a esa dirección. La ejecución de lo establecido en el contrato se realiza de forma automática según las condiciones que establece ese programa o contrato. Se hace realidad lo que describía Lawrence Lessig en 1999⁵ cuando mencionaba que el código legal es interpretado y ejecutado por humanos dentro del contexto (caro, lento y difícil de operar en un mundo global) de una legislación basada en jurisdicciones geográficas, mientras que el código computacional es ejecutado en un ambiente (barato, rápido e indiferente a las fronteras geográficas) del ciberespacio o como le queramos llamar. La promesa aquí es un sistema que regula las interacciones y que no está sujeto a interpretación ni atención humana, salvo que se desee y ésta se incorpore dentro de las condiciones del contrato.

BIENES INTELIGENTES (SMART PROPERTY)

Complementando contratos inteligentes con dispositivos conectados, conocidos hoy en día como "Internet of Things" (IoT), obtenemos lo que se ha llamado Bienes Inteligentes. O sea, objetos en el mundo real que se comportan de acuerdo a lo que un contrato en el Blockchain

les indica. Esto es muy práctico si queremos por ejemplo realizar un arriendo de diversos tipos de recursos: automóviles, salas de reuniones, estacionamientos. Estos arriendos pueden ser de largo o corto plazo, y no requieren un contrato jurídico previo ni intermediarios salvo por el Blockchain que sería un intermediario que no tiene asimetrías de control, poder o información respecto de nosotros (tanto en nuestro potencial rol de arrendador como de arrendatario).

ORGANIZACIONES DESCENTRALIZADAS AUTÓNOMAS

Una organización, pensemos en una empresa o una ONG, esencialmente es una entidad que maneja recursos, tiene un propósito o un objetivo e interactúa con diversos otros entes para ir alcanzando ese objetivo. Con los contratos inteligentes tenemos un ente que controla recursos, tanto monetarios como físicos, e interactúa con terceros en base a reglas establecidas en su contrato. Un contrato suficientemente completo, que posiblemente se podría actualizar siguiendo esquemas como los que rigen una Sociedad Anónima u otras corporaciones según estatutos y votaciones de los socios, podría perfectamente existir en el Blockchain, sin necesidad de una contraparte constituida legalmente. Sería para todos los efectos prácticos, una organización autónoma, en el sentido que no requiere de personas (gerentes, administrativos, etc.) que actúen a nombre de ella, y en caso de requerir acciones por parte de humanos, los contrata para esos efectos específicos y en caso de cumplimiento le paga lo convenido.

EJEMPLOS APLICADOS

Dicen que es muy difícil hacer predicciones, sobre todo si es sobre el futuro, pero es necesario intentar mostrar ejemplos concretos de aplicación de todos los conceptos abstractos mostrados. A continuación algunas ideas para entender de forma macro de qué estamos hablando.

5. Lessig, L. "Code and Other Laws of Cyberspace", Basic Books, 1999.

MICROPAGOS

El problema de los micropagos es difícil de resolver, esencialmente porque siempre es posible definir el monto de los pagos a realizar tan bajo que el costo de la transacción tienda a ser más grande (incluso varias órdenes de magnitud) que el monto a pagar. En el caso del Blockchain, el costo es muy pequeño, pero tiene un límite: no puede ocupar menos que cierta cantidad de bytes (al menos dirección de origen y destino además de la firma digital o autenticación similar requerida). Esos bytes deben registrarse en el Blockchain, donde el tamaño de los bloques, si bien se puede expandir, siempre está limitado a un tamaño máximo. Y finalmente, cada transacción se guarda para siempre en el Blockchain, por lo que el crecimiento que requiere almacenar toda la base de datos debe ir de la mano con el crecimiento de la capacidad de almacenamiento para evitar incrementar demasiado el costo de mantener el sistema funcionando.

DESINTERMEDIACIÓN

La mayor promesa del Blockchain es la desintermediación. Mientras más intermediarios tengamos entre un producto o servicio y el consumidor final que lo necesita, más costos le agregamos a ese producto o servicio, y en los últimos años hemos visto tendencias a reducir ese número. Sin embargo, en la mayoría de esos casos, quien se apropia de esos ahorros en eficiencia no es el productor ni el consumidor final, sino uno de los intermediarios, ya sea uno existente o uno nuevo. Peter Thiel lo explica brillantemente desde el punto de vista del nuevo intermediario que ingresa al mercado o crea uno nuevo, en lo que podríamos llamar su "apología al monopolio"⁶. Dentro de esta categoría caben la mayoría de lo que los inversionistas de riesgo llaman "Unicornios" (empresas que alcanzan valorizaciones de 1.000+ Millones de USD), en particular: Uber, AirBnB, Spotify, iTunes (Apple), Netflix, etc. Estoy dejando fuera otros como Facebook,

Whatsapp y Google que también generan sus ingresos en base a la asimetría de información y poder que logran establecer, pero donde la aplicación de soluciones sobre Blockchain son menos obvias (aunque hay propuestas).

La desintermediación es relevante no solamente porque se le traspasa prácticamente todo el ahorro en eficiencia a los extremos (productor y consumidor), sino además porque las transacciones, identificación de las partes y otra información relevante es manejada de forma transparente y entrega mayor nivel de control. Considerando que, salvo por Spotify, todos los mencionados están sujetos a una jurisdicción que los obliga a entregar todos sus datos al Gobierno de Estados Unidos y mentirle a sus usuarios al respecto, es un punto que adquiere cada vez mayor relevancia.

No vamos a entrar en los detalles aquí, pero la esencia de la desintermediación es que permite a un conductor de vehículo, a un dueño de un bien inmueble, a un compositor o un productor de películas contactarse directamente con quien quiere usar su bien o servicio y cobrarle directamente, evitando así el empoderamiento de un tercero que tarde o temprano va a usar esa asimetría en su favor.

Hay que tener en claro que si existiría un intermediario, y ese sería el contrato en el Blockchain, pero a diferencia de los nombrados, todas sus acciones son públicas y por la naturaleza del Blockchain es muy fácil que algún otro contrato reemplace al anterior si ofrece mejores condiciones a los extremos de la cadena. Dado que la potencial ganancia que tienen esos mercados es más medida, estando más a la altura del esfuerzo, los incentivos son menores y se demorarán más en concretarse. Pero en la medida que surjan más organizaciones que vean su propósito más importante que potenciales ingresos multimillonarios, más cercanas a lo que Frederic Laloux llama Organizaciones Evolutivas o Teal⁷, seguramente veremos más y más iniciativas de este tipo concretarse y abarcar una gran porción del mercado.

MERCADOS DE PREDICCIÓN, SEGUROS P2P, CROWD*ING

En estricto rigor estos ejemplos también son formas de desintermediación, pero en este caso no se ven por el momento grandes actores que dominen el mercado tan marcadamente, y es más probable que soluciones basadas en Blockchain pudieran surgir de los mismos actores actuales. Además, son todos casos en los cuales es crucial lograr trasladar información fidedigna desde el mundo real al Blockchain (cuál fue el resultado de un evento tal como una elección presidencial, hubo o no un siniestro y cuál fue el monto, pagó o no su préstamo el beneficiario).

Los mercados de predicción prometen ser mucho más fidedignos que las encuestas, pero también tuvieron resultados desastrosos en las últimas elecciones presidenciales de Estados Unidos, lo cual implica que aún falta camino por recorrer. La idea es ofrecer a la venta un número limitado de acciones en base al resultado de un evento (deportivo, político o de cualquier otra índole), y según oferta y demanda el precio de esas acciones.

Los seguros P2P apuntan a segmentos en los cuales las compañías de seguros generalmente no están interesados, ya sea por el corto plazo, el bajo valor del bien asegurado u otros, haciendo que los beneficios esperados no cubran los costos administrativos de generar el contrato, pero también tiene aplicaciones en seguros más tradicionales. Aplicaciones específicas incluyen equipaje en viajes, bicicletas, automóviles, etc.

Crowdfunding, Crowdlending y otras iniciativas del estilo permiten que muchas personas financien iniciativas y mantengan una participación baja en cada iniciativa, diluyendo el riesgo. Usando esquemas en Blockchain se reduce la complejidad de temas administrativos como votación de accionistas, repartición de dividendos, etc. Además, se permite participación completamente anónima

6. Thiel, P., "Zero to One", Crown Business, 2014.

7. Laloux, F., "Reinventing Organizations", Nelson Parker, 2014.



sin dejar de hacer uso de los derechos de voto, recepción de dividendos y sin requerir intermediación de un tercero.

TRANSPARENCIA Y VALIDACIÓN

Aprovechando que los contenidos en el Blockchain son públicos, tienen validación de fechas (timestamping) y son inmutables, se abre un abanico de posibilidades donde nos interesa registrar hechos en un Blockchain como forma de demostración de hechos que se registraron antes de cierta fecha, o incluso asociar tokens en el Blockchain a derechos de propiedad sobre objetos en el mundo real.

CONSERVADOR DE BIENES RAÍCES

El registro de títulos y propiedades está lleno de historias donde se han perdido los papeles, han aparecido transferencias falsas y otros tantos. La promesa del Blockchain es que los registros son públicos y tan indestructibles como el Blockchain, por lo que no les afectan desastres naturales (locales por naturaleza) como inundaciones, fuegos o amigos de lo ajeno. Hay muchos detalles que quedan por definir, como qué pasa si no está disponible la llave privada para realizar una transferencia, pero con contratos inteligentes es posible agregarle una cantidad suficiente de reglas para que sea más robusto que cualquier sistema actual. Suena bastante futurista, pero ya hay planes piloto en Suecia, Georgia, Honduras y otros.

CONTABILIDAD DE TRIPLE ENTRADA

Hoy en día hay cada vez mayor exigencia de privacidad para las personas, y de transparencia para las instituciones. Para instituciones que quieran o deban informar de la forma más abierta posible sus actividades financieras, está la posibilidad de utilizar una contabilidad de triple entrada. Esto consiste en la misma contabilidad de doble entrada usada en todo el mundo, pero con una entrada adicional que se va publicando en

tiempo real (o al menos casi real) en el Blockchain, y así cualquier interesado puede realizar una auditoría o análisis (incluso hacer seguimiento de su donación realmente anónima) sin requerir ninguna otra acción por parte de nadie ni confiar en el informe de un auditor externo (que por lo demás en los últimos años han dejado mucho que desear). Además, "arreglar" la contabilidad no va a ser posible a posteriori, y cualquier actividad poco ortodoxa debiera poder gatillar alertas si hay suficiente información (en particular de terceros) para contrastar los hechos publicados. Por ejemplo, alguien podría detectar que una organización no está informando sobre la deuda que mantiene con él o ella, lo cual implicaría que no tiene intención de reconocerla, o bien le está ocultando información a los *stakeholders*. Estas prácticas harían que los fraudes a nivel contable sean mucho menos comunes y se detecten con mayor rapidez, evitando que crezcan durante mucho tiempo sin ser detectados.

KNOW YOUR CUSTOMER

Las instituciones financieras tienen cada vez mayores obligaciones de conocer a sus clientes y el origen de los fondos que estos invierten, para efecto de prevenir operaciones de lavado de activos. El Blockchain puede ser una plataforma muy interesante para que diversos sujetos puedan actuar como entes certificadores de hechos de muy diversa índole, y las instituciones financieras podrán considerar aquellos que les dan confianza o bien tengan la validación de una autoridad competente según corresponda.

IDENTIDAD

La idea de registrar nuestra identidad en el Blockchain y poder asociar a esa misma identidad diversas cuentas o accesos. De esta forma, podríamos usar esa identidad como forma de autenticarnos ante diversas plataformas, tales como bancos, redes sociales o incluso instalaciones físicas, con lo cual ya no necesitaríamos diversas claves, tarjetas o llaves, y hasta carnets de identidad, licencias de conducir o pasaportes. También podemos asociar una reputación positiva a esta identidad al interactuar con personas o sistemas que no nos conocen y requieren que arriesguemos parte de nuestra reputación antes de arriesgarse a entregarnos recursos.

PRIVACIDAD: GESTIÓN DE DATOS PERSONALES

Cuando el objetivo es contrario a la transparencia y queremos por ejemplo recibir información de forma selectiva, también el Blockchain nos puede ayudar. Si bien hay una tendencia, liderada por Europa, de proteger los datos personales por ley y de entregarle la titularidad sobre esos datos a las personas sobre los cuales informan. Espero que en Estados Unidos sigan con la incipiente conciencia que ese es el camino a seguir, un nuevo trato respecto de los datos⁸. La idea de gestionar los datos personales ya tiene ejemplos concretos de cómo puede funcionar⁹, y si se utiliza sobre el Blockchain, no requeriría de un tercero confiable ni infraestructura propia.

Es más, se podría incluso solicitar ofertas específicas según mi interés en el momento, y dado que yo estoy facilitando un "lead" de altísima calidad al permitir que me lleguen ofertas de cierto tipo para decidir sobre mi compra, sería justo que yo fuera quien reciba el pago que hoy en día se entrega a agencias que intentan hacer llegar el mensaje a través de distintos medios. Así, si por ejemplo me interesa realizar un viaje a medio oriente en tres meses más, comprarle una casa a mi perro y decorar una pared en mi casa, me gustaría que, mientras tomo la decisión, me lleguen diversas ofertas al respecto. Y para eso no necesito entregarle mis datos de contacto a los oferentes, sino simplemente tener un sistema (por qué no un contrato inteligente) que no solo reciba los mensajes, los filtre según mis intereses y acepte los que sabe me interesan, recibiendo al mismo tiempo mi pago por recibirlos. Y una vez tomada la decisión se cierra esa puerta y no me llegan más, no como hoy en día con las búsquedas por productos que detecta Google y me persigue con avisos durante meses sobre algo que ya compré. No vaya a ser que después aparezca una oferta mejor a la que tomé y termine arrepintiéndome. ■

8. http://hd.media.mit.edu/wef_globalit.pdf

9. Ver por ejemplo el proyecto OpenPDS/SA: <http://openpds.media.mit.edu/>



UN RESUMEN DE LOS COMPONENTES TÉCNICOS DE BLOCKCHAIN Y BITCOIN



FRANCISCO MONTOTO

Egresado de Ingeniería Civil en Computación, Universidad de Chile. Actualmente ayudante de investigación en NIC Chile Research Labs y estudiante de Magister en Ciencias mención Computación. Posee bitcoins desde 2014 y su tesis de Magister es sobre traer información del mundo exterior a la Blockchain de Bitcoin mediante oráculos distribuidos. Sus tópicos de interés son la Criptografía, Sistemas Distribuidos, Software de Sistema y Redes.
fmontotomonroy@gmail.com

- La característica revolucionaria de Bitcoin con respecto a soluciones anteriores es, sin dudas, su arquitectura distribuida que le permite prescindir de una autoridad centralizada. Esto lo logra haciendo que todas las transacciones en el sistema sean públicas. La tecnología que hizo posible esto es la columna vertebral de Bitcoin, una base de datos distribuida conocida como “cadena de bloques” (Blockchain).

- Como su nombre lo indica, la cadena de bloques es una secuencia de estos. Con un inicio bautizado como “bloque génesis”, y un extremo donde se van agregando nuevos bloques que hacen crecer la cadena. El bloque es la unidad estructural de la base de datos y en él se guarda la información. Los bloques son enlazados vía un cálculo matemático: cada nuevo bloque incluye un hash criptográfico del bloque anterior. Es decir, en el bloque i está incluido el hash del bloque $i-1$. La función de hash escogida tiene la propiedad de que encontrar un bloque distinto al utilizado que generen el mismo hash es computacionalmente infactible, lo cual efectivamente impide la modificación o reemplazo de un bloque una vez que los nuevos bloques lo referencian.

- Cada bloque tiene un tamaño máximo de datos útiles, donde se almacenan las transacciones. La cadena de bloques es pública y cualquiera puede descargarla en su computador si posee una conexión a Internet, lo cual hace “reconocible” a los bits. Para saber si los bits que recibo como pago son válidos, basta consultar esta base de datos. Esto y el hecho que una vez ingresado un bloque no puede cambiarse es uno de los factores que impide a los usuarios copiar y gastar dos veces una misma moneda.

- Para que un bloque sea aceptado en la cadena, debe tener una prueba de trabajo (*proof of work*). Esta técnica fue inventada originalmente para combatir el spam de correos electrónicos. Consiste en requerir trabajo antes de aceptar datos provenientes de un tercero. La versión más utilizada consiste en

exigir ejecutar una tarea compleja que genera un resultado de fácil validación. Así el receptor puede determinar rápidamente si el remitente efectuó o no el trabajo requerido.

- El proceso de validar transacciones, ponerlas en un bloque y anexas el bloque a la cadena es conocido como “minar”. Los mineros son quienes mantienen la integridad de la base de datos y compiten entre ellos para colocar bloques en ésta, pues el creador del bloque es quien recolecta los honorarios (*fees*) de cada transacción en el bloque. Así, un minero es recompensado por cada bloque que agrega a la cadena. La prueba de trabajo consiste en que el valor del hash de cada bloque sea menor a la de un determinado umbral, así el minero debe cambiar el contenido del bloque que intenta minar hasta obtener un hash que cumpla el umbral. Una buena función de hash hace que no exista forma de hacer esto más que por fuerza bruta.

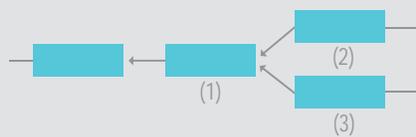


FIGURA 1.

- Naturalmente, que cada minero pueda agregar nodos generará bifurcaciones en la cadena (Figura 1), donde bloques de distintos mineros apunten a un bloque común previo. Esta situación es problemática, pues una moneda disponible en (1) puede transferirse a un destinatario A en (2) y a un destinatario B en (3), esto se conoce como “doble gasto”. Pequeñas bifurcaciones ocurren normalmente en la cadena, y para resolverla solo queda esperar cuál de las dos ramificaciones alcanza un largo mayor, la cadena de consenso es la más larga desde el nodo génesis.

- La cadena de bloques define mayoría en base al poder de cómputo, si una entidad posee más de la mitad del poder de cómputo en la red tendrá el control de ésta. Esta es la forma de la cadena de bloques para resolver uno de los problemas fundamentales en sistemas distribuidos, el consenso: ¿cómo hacer que los participantes del sistema acuerden un valor? Utilizar el poder de cómputo como métrica hace más difícil -pues es más costoso- un ataque *Sybil* (un atacante creando múltiples identidades para convertirse en mayoría). Ser capaz de tolerar este tipo de ataques es esencial en un sistema de dinero electrónico con participación abierta de entidades anónimas.

- Una transacción en Bitcoin es muy similar a una en otra moneda, es la transferencia de bitcoins entre cuentas. Para que esta transferencia suceda es necesario demostrar que quien hace la transferencia controla la cuenta de origen, y conoce el identificador de la cuenta de destino. Una cuenta es un par de claves público-privada, en un sistema criptográfico asimétrico de Curva Elíptica. Y su identificador, conocido como dirección, es el hash de la clave pública. Para gastar los bitcoins almacenados en una cuenta es necesario revelar la clave pública -la preimagen de la dirección- de la cuenta de origen y demostrar el control sobre ésta, mediante la firma de la transacción con la clave privada. Sin embargo el potencial de las transacciones es bastante mayor a transferir dinero directamente, una transacción puede contener código y establecer distintas condiciones para gastar el monto recibido. Si bien el lenguaje aceptado en Bitcoin es bastante limitado, nuevas monedas -como Ethereum- incorporan lenguajes Turing-Completos, que permiten una expresividad sin precedentes en las condiciones para gastar el dinero, esto permite transacciones que, por ejemplo, obliguen a una parte a realizar una acción para obtener el dinero. Este tipo de acuerdos en monedas electrónicas es uno de sus usos con mayor proyección y se conocen como “Contratos Inteligentes”.

BIOINFORMÁTICA, ¿SOLO PROGRAMAS COMPUTACIONALES PARA ALMACENAR DATOS BIOLÓGICOS?



MARIO INOSTROZA

Profesor Asociado Departamento de Ingeniería Informática, Universidad de Santiago de Chile (DIINF-USACH). PhD Computer Science, Universidad de Newcastle, Australia. Líneas de Investigación: Aplicación y desarrollo de técnicas Metaheurísticas, de Optimización Combinatorial, Optimización Multiobjetivo aplicados a problemas en Bioinformática, tales como Análisis de datos de Expresión Génica, Predicción de Estructura de Proteínas, Docking Molecular e Inferencia Filogenética.
 mario.inostroza@usach.cl

Durante la educación media, la mayoría de los y las jóvenes deben tomar la decisión sobre qué área seguir. Dependiendo del establecimiento educacional, éstas reciben diferentes denominaciones: matemático, biólogo, humanista, arte y una variedad de otros nombres, que intentan describir cuál es el área de interés que seguirá profundizando durante su educación secundaria. En nuestros días esta decisión puede ser considerada arcaica, toda vez que la educación y las especializaciones tienden a trabajos multidisciplinarios, que hace poco tiempo no existían. El desarrollo de muchas áreas en general se ha dado de manera independiente, pero tienden a juntarse dada la sinergia que se produce al unir una o más disciplinas. Ejemplos claros de esta situación son bioquímica, biofísica, econofísica, computación afectiva, entre otras que aún no han recibido un nombre propio. En particular, con el nacimiento de los primeros computadores, los avances obtenidos en el área de ciencia de la computación y especialmente los rápidos avances tecnológicos en el área de la biología, hemos visto el nacimiento de una nueva área de desarrollo, la bioinformática. Ésta nació como respuesta natural a las nuevas necesidades que la biología presenta por la gran cantidad de datos generados. Sin embargo, lo que en un principio apuntaba solo al manejo de grandes volúmenes de datos, rápidamente se convirtió en un área crucial para el entendimiento de sistemas biológicos complejos, gracias a las técnicas y algoritmos avanzados que han permitido extraer información que a simple vista parecía oculta. En este artículo revisaremos brevemente

una perspectiva histórica de la bioinformática, el aporte de la ciencia de la computación a la biología, a través de un ejemplo concreto, y una pequeña discusión sobre cómo es el trabajo entre ambas disciplinas y los diversos roles profesionales que existen en el área.

UN POCO DE HISTORIA

Los primeros antecedentes del uso de la palabra bioinformática se remontan a 1970, en un trabajo de Hesper y Hogeweg donde se define como “el estudio de los procesos de información en sistemas bióticos”. Esta definición hace que sea equivalente a conceptos como biofísica (el estudio de procesos físicos en sistemas biológicos) y bioquímica (el estudio de procesos químicos en sistemas biológicos). Sin embargo, desde esa fecha hasta ahora, el concepto de bioinformática ha mudado, debido en parte a su característica multidisciplinaria y a los avances tecnológicos que han creado nuevos desafíos. Actualmente, bioinformática puede ser entendida como el área que se preocupa por la recolección y el análisis de datos biológicos complejos, por medio del desarrollo de métodos computacionales y herramientas de software avanzadas. El objetivo final, es el descubrimiento de la información que se encuentra en los datos biológicos recolectados, para apoyar el entendimiento y estudio de los procesos biológicos de interés.



Sin embargo, llegar al estado actual de desarrollo de la bioinformática responde a una serie de avances tanto en ciencias de la computación como en biología. Antes de la década del setenta, hubo grandes avances en biología que permitieron conocer un poco más la forma en que nuestro código genético está escrito y como funciona: la estructura de hélice del ADN (1953), propiedades moleculares estructurales (1953, 1957), rutas metabólicas (1945), regulación génica (1969), entre muchas otras. Por el lado de la ciencia de la computación podemos contar bases teóricas en el ámbito de Teoría de la Información (1962, 1966), Definición de Gramáticas (1959), Teoría de Juegos (1953), Automatas Celulares (1966) entre otros avances. Luego, en la década del setenta, donde se reconoce el primer uso del término bioinformática, se considera como la década donde se desarrollaron las bases teóricas del área: métodos de análisis de secuencias, predicción de la estructura del RNA, aplicaciones de máxima verosimilitud a inferencia filogenética, algoritmos de predicción de estructura secundaria de proteínas, entre otros. Además en esta década, se crean los primeros repositorios públicos de secuencias de proteínas, lo que puede ser considerado como una característica clave en esta área.

Ya en las décadas del ochenta y noventa, se produce un rápido avance de la disciplina, principalmente por la generación masiva de datos, lo que creó la necesidad de contar con algoritmos eficientes para su procesamiento. En esta época nacieron los primeros softwares comerciales, bases de datos moleculares (GenBank, EMBL Data Library). Se crean algoritmos que atacan los cada día más comunes problemas de comparación de secuencias (algoritmo Smith-Waterman para alineamiento local), y en el área de proteínas nacen los primeros softwares de visualización de estructuras proteicas, de comparación de estructuras y de estrategias de predicción de estructura terciaria de proteínas. En particular este último continúa siendo hasta el día de hoy uno de los problemas más difíciles

de resolver y para el que se han dedicado muchas de las máquinas de la lista del top500 (<https://www.top500.org/>). En particular en la década del noventa, el área se vio revolucionada por la creación del algoritmo BLAST (Basic Local Alignment Search Tool), que catalizó los procedimientos de comparación de secuencias y permitió realizar la búsqueda de secuencias objetivo sobre alguna base de datos de referencia. Si bien BLAST, a diferencia del algoritmo Smith-Waterman, no garantiza el mejor resultado de alineamiento, la velocidad de su respuesta al buscar sobre grandes bases de datos de información genómica, es característica suficiente para ser una de las herramientas más usadas en bioinformática.

Por otro lado, el rápido crecimiento de Internet, la masificación de sistemas de cómputo de alto rendimiento y por sobre todo el aumento explosivo de datos biológicos almacenados, provocó la aparición explosiva de nuevas técnicas computacionales que hacían uso de estos sistemas de cómputo y procesaban los datos libremente disponibles a través de las plataformas virtuales. El proyecto GOLD¹ del Joint Institute of Genomics mantiene un repositorio de los proyectos de genoma existentes, donde puede ser consultado el número de proyectos de secuenciamiento de genomas por año y su referencia, dando una idea clara del crecimiento masivo de los datos disponibles y que necesitan ser analizados. Finalmente, el rápido crecimiento del poder computacional en los últimos quince años, sumado al cambio de paradigma de cómputo y a una disminución dramática en el costo de la tecnología, crean un nuevo escenario, donde los sistemas de análisis de datos ya no solo deben lidiar con datos ruidosos y masivos, sino con nuevos tipos de datos que entregan otra mirada de los procesos biológicos en estudio. La tendencia es hacia el entendimiento de los procesos biológicos a un nivel tal que permita diferenciar entre individuos y poder entregar en un futuro no muy lejano el concepto de medicina personalizada.

¿CÓMO LA CIENCIA DE LA COMPUTACIÓN Y LA INFORMÁTICA AYUDAN A LOS BIÓLOGOS?

Los principales efectos del nacimiento y desarrollo de la bioinformática pueden verse principalmente en los grandes avances en medicina y biología que se han producido, dado que ha aportado al entendimiento de los complejos sistemas biológicos que rigen nuestro diario vivir. Sin embargo, no solo la biología se ha visto beneficiada, sino que la computación y la informática han debido crear nuevas formas de trabajar con estos problemas. Dentro de las técnicas computacionales usadas se pueden encontrar: modelamiento con grafos y sus algoritmos, string matching, uso de gramáticas, optimización lineal, no lineal, optimización combinatorial, estructuras de árbol y sus algoritmos, procesamiento de lenguaje natural, búsqueda de patrones, metaheurísticas, heurísticas, redes neuronales, computación de alto rendimiento, ingeniería de software, diseño de interfaces de usuario (muy importante a la hora de construir herramientas útiles para los biólogos), solo por mencionar algunas. Sin embargo, el uso de estas técnicas y algoritmos ha debido adaptarse a las particularidades del área, donde lo común son las excepciones, más que las reglas. Algo difícil y frustrante para personas que estamos acostumbradas a encontrar un flujo en el procesamiento, en las reglas que gobiernan los procesos y codificarlas de manera elegante en nuestros códigos.

Los datos de expresión génica corresponden a la medición de la actividad de una secuencia génica bajo ciertas condiciones, como enfermedad, tratamiento con medicamentos, una serie de tiempo, etc. Son usados típicamente para

1. Genomes Online Database, <https://gold.jgi.doe.gov/>



conocer el comportamiento de la generación de productos génicos (como proteínas) sobre un conjunto de muestras biológicas. Para hacer esta medición se usan los microarreglos. Esta tecnología, considerada un tanto antigua al día de hoy, ha permitido conocer con mayor detalle cómo se comportan los genes en un gran número de procesos biológicos, descubrir y aportar genes de acuerdo a sus patrones de expresión, e identificar posibles tratamientos a ciertas enfermedades. Este tipo de datos posee características de ser ruidosos, poseer pocas muestras y contar una gran cantidad de genes a estudiar. Es común que la relación entre el número de genes y el número de muestras sea de varios órdenes de magnitud (por ejemplo, un conjunto de datos podría tener la expresión de 25.000 secuencias sobre 100 muestras). Existen variadas herramientas de análisis de este tipo de datos, siendo la principal el *clustering* o agrupamiento de acuerdo a sus perfiles de expresión. Dentro de los algoritmos de *clustering* más comunes y usados por la comunidad bioinformática, están *k-means*, agrupamiento aglomerativo y *self or-*

ganizing maps. Si bien sus resultados en general son satisfactorios, en la literatura es posible encontrar muchos ejemplos de técnicas más avanzadas, no necesariamente más complejas, que producen resultados más completos. Para ejemplificar el uso de una mezcla de estas técnicas, pasaré a explicar un *pipeline* de análisis de datos de expresión génica, basada en grafos, árboles, optimización combinatoria y metaheurísticas.

El pipeline está compuesto de dos partes: (1) el algoritmo de *clustering* MSTkNN y (2) la aplicación de algoritmo QAPgrid para producir un layout de los genes o secuencias en un espacio cartesiano, que responda a las relaciones entre los genes. En la Figura 1 se puede ver gráficamente cómo es el proceso de MSTkNN. Inicialmente se tiene un conjunto de datos de expresión génica y se crea un grafo completo $G(V,E,W)$, donde cada nodo del grafo representa un gen o secuencia, y existe una arista entre todo par de nodos con peso igual a la distancia entre los perfiles de expresión de la secuencia (Proceso (A) en la Figura 1). En este punto es importante

destacar que una de las claves en el éxito de aplicación de estos algoritmos está en la definición de la medida de distancia, porque de ella depende lo que el algoritmo considerará como cercano o parecido. Una vez obtenido el grafo completo, el proceso calcula dos grafos de proximidad: un árbol de cobertura mínimo $G(V,E_{MST})$ y un grafo de k vecinos más cercanos $G(V,E_{kNN})$ (proceso (B) en la Figura 1). Posteriormente el algoritmo realiza una intersección entre los conjunto de aristas de esos dos grafos, produciendo una partición del grafo en 1 o más componentes. En caso que se encuentren más componentes, el algoritmo aplica recursivamente el método en cada componente hasta que el grafo no puede ser subdividido. Con este proceso, el algoritmo MSTkNN produce una partición del conjunto de datos sin necesidad de indicar el número de grupos que debe encontrar. Esta característica es importante en esta área, dado que es común desconocer el número de grupos o cómo son las características de los grupos a encontrar. Una vez obtenidos los grupos, es posible generar ahora un layout de los elementos que represente

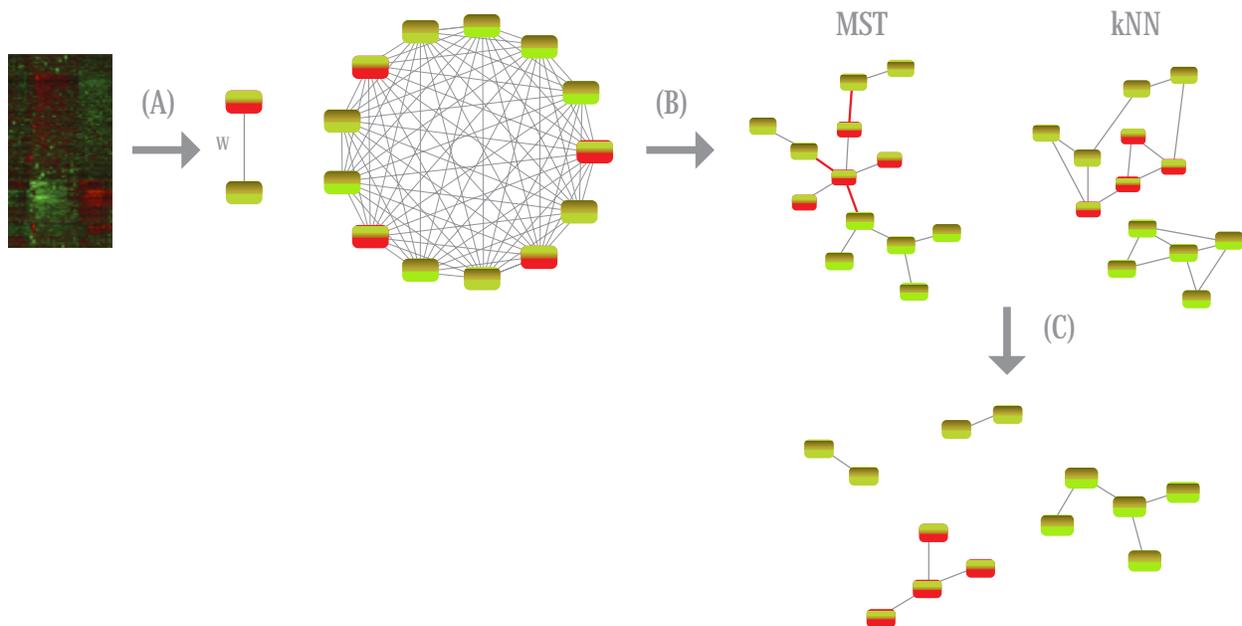


FIGURA 1. ALGORITMO DE *CLUSTERING* MSTkNN. EL PROCESO SE INICIA CONSTRUYENDO UN GRAFO COMPLETO CON PESOS DE ACUERDO A LA CORRELACIÓN DE LAS EXPRESIONES GÉNICAS. LUEGO INTERSECTA LOS GRAFOS MST Y KNN PRODUCIENDO UNA PARTIÇÃO DEL GRAFO ORIGINAL EN UNA O MÁS COMPONENTES.

las relaciones entre ellos. Para esto el algoritmo QAPgrid modela los datos de expresión génica como instancias del problema de asignación cuadrática (QAP por sus siglas en inglés) y usa un algoritmo memético para resolver estas instancias. El problema de QAP es un problema difícil de resolver (pertenece a la clase NP-Hard), por lo que es necesario usar técnicas alternativas, que no garantizan el óptimo pero encuentran soluciones de buena calidad. En la Figura 2 se muestra un esquema simplificado del proceso. Inicialmente se recibe la información de expresión y el resultado de un algoritmo de clustering. Para cada grupo se genera una instancia del problema de QAP (proceso (A) en la Figura 2), más una instancia donde cada objeto del problema de QAP corresponderá a un grupo de la solución del algoritmo de *clustering*. Posteriormente, estas instancias son resueltas por el algoritmo memético mencionado (proceso (B) en la Figura 2). Como resultado se obtendrá un layout de cada grupo en un espacio bidimensional, donde las posiciones de los elementos responden a la similitud entre los perfiles de expresi-

ón de cada elemento. Además, cada grupo es también localizado en un espacio bidimensional de acuerdo a la expresión de los elementos miembros de cada grupo, es decir, grupos con elementos parecidos quedarán en regiones próximas del layout. Este método ha sido usado para analizar datos de alzheimer, secuencias no codificantes del cerebro de ratón, datos de expresión génica de muestras de múltiple esclerosis, y otros datos de naturaleza distinta.

La disponibilidad de herramientas computacionales para esta área es gigante, lo que hace fácil caer en la tentación de usar herramientas de manera indiscriminada, sin realmente saber qué y cómo la herramienta enfrenta el problema. Errores típicos de esta área corresponden a la mala parametrización de los métodos y la inadecuada elección de funciones de distancia. Por ejemplo en este último caso, no entender cuál es el impacto de las opciones de distancia empleadas. Malos parámetros igual llevarán a una solución al problema, pero una solución de mala calidad.

UNA MINI TORRE DE BABEL

El trabajo multidisciplinario entre biólogos y científicos de la computación es un desafío en sí mismo. Para poder llegar a las soluciones que existen actualmente se requirió de horas de entendimiento entre personas que han sido formadas de manera distinta, con intereses muchas veces divergentes. Por un lado, la abstracción de los problemas y métodos es una técnica muy usada en computación, que nos permite crear soluciones que abarcan un amplio espectro de casos. Por otro lado, los biólogos están acostumbrados a estudiar procesos particulares y específicos, donde no es solo difícil sino a veces imposible generalizar el funcionamiento o explicación del proceso. Es esta dificultad la que hace fracasar las primeras iniciativas de colaboración. Es común que los científicos más cercanos a la computación no se interesen mucho por

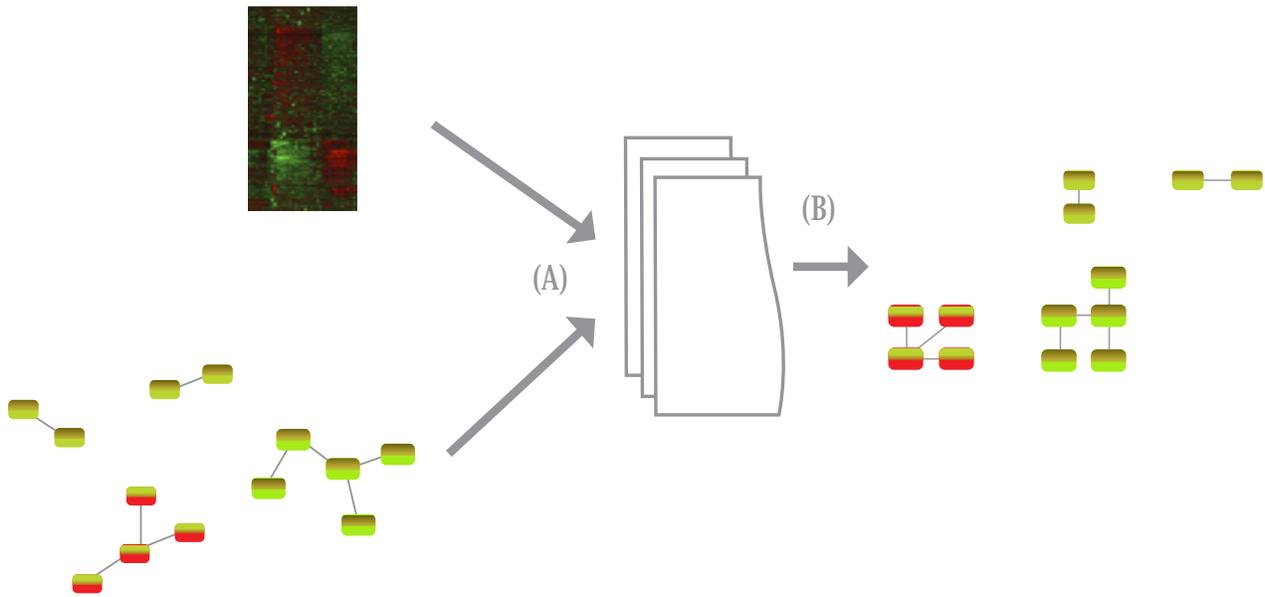


FIGURA 2.

ESQUEMA SIMPLE DE APLICACIÓN DE QAPGRID. RECIBE COMO ENTRADA LAS MATRICES DE EXPRESIÓN GÉNICA Y ALGÚN RESULTADO DE *CLUSTERING* (POR EJEMPLO, EL MOSTRADO EN LA FIGURA 1). LUEGO RESUELVE INSTANCIAS DEL PROBLEMA DE QAP USANDO ALGORITMOS AD HOC PARA ESTE PROBLEMA. LOS OBJETOS SON FINALMENTE ORGANIZADOS DE ACUERDO A SU SIMILITUD DE EXPRESIÓN.

conocer en detalle el problema a resolver y solo se preocupen de los datos. Por otro lado, también es común que los científicos más relacionados al área biológica no se interesen por entender los métodos, ni estén abiertos a nuevas formas de ver o interpretar los datos. Solo quieren “apretar un botón” para procesar sus datos recién recopilados.

Una formación más transversal, con foco en alguna de las áreas específicas (biología o ciencias de la computación) ayudará a formar profesionales que tengan un tiempo de adaptación

menor a los diferentes proyectos en los que participen. Para aquellos programas de formación en bioinformática, la participación en proyectos de investigación reales es de gran importancia, así como contar con académicos biólogos que usen herramientas de bioinformática y académicos del área de ciencias de la computación que hayan participado en proyectos de bioinformática. La disponibilidad de recursos online para comenzar en esta área es grande, por lo que es importante tener en cuenta la experiencia de otras instituciones de educación en esta área, y aprovechar los

recursos que ofrecen. En este tema, los trabajos de David Searls de 2012 y 2014, dan una luz sobre la oferta académica disponible online a la fecha de publicación. En particular un tópico interesante que se discute en esos artículos tiene que ver con los diferentes roles que una persona en el área puede desarrollar, identificando cinco caminos que tienen que ver con diferentes tipos de desempeño. Esta guía puede ser útil para definir nuestras necesidades como país en la formación de los profesionales que la industria requiere.

COMENTARIOS FINALES

HABLAR SOBRE BIOINFORMÁTICA EN GENERAL NO ES FÁCIL, DADA LA DIVERSIDAD DE ENFOQUES QUE EXISTEN EN EL ÁREA, BASADOS EN LA EXPERIENCIA PERSONAL MÁS QUE EN FUNDAMENTOS BIEN ESTABLECIDOS. OBIAMENTE UN EJEMPLO DE ESTO ES ESTE ARTÍCULO. EL IMPACTO DE DESARROLLAR FUERTEMENTE ESTA ÁREA PUEDE APOYAR LA CADA VEZ MAYOR NECESIDAD DE DIVERSIFICAR LA INDUSTRIA NACIONAL, CREANDO UN POLO DE DESARROLLO EN ÁREAS COMO LA BIOTECNOLOGÍA, PARA LA QUE SE REQUIERE PROFESIONALES QUE SEAN CAPACES DE ENTENDER ESTE TRABAJO MULTIDISCIPLINARIO. ACTUALMENTE EN CHILE EXISTEN VARIOS GRUPOS DE TRABAJO, CENTROS DE INVESTIGACIÓN DE ALCANCE REGIONAL Y NACIONAL, Y CIENTÍFICOS QUE DESDE LA BIOLOGÍA O DESDE LA CIENCIA DE LA COMPUTACIÓN APORTAN AL DESARROLLO DE LA BIOINFORMÁTICA. ME RESERVO EL DERECHO DE NO NOMBRARLOS PARA NO DEJAR FUERA A NINGUNO DE LOS QUE EXISTEN EN EL PAÍS. FINALMENTE, LA APARICIÓN DE NUEVAS ÁREAS RELACIONADAS A CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN (POR EJEMPLO BIOINFORMÁTICA QUE HEMOS HABLADO EN ESTE ARTÍCULO), VA DE LA MANO CON LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS APLICADAS QUE NOS PRESENTAN DESAFÍOS A LOS CUALES DEBEMOS RESPONDER CON NUESTRAS MEJORES PRÁCTICAS TÉCNICAS Y CON LA CERTEZA QUE SE CONSEGUIRÁN MAYORES CONTRIBUCIONES SI SOMOS CAPACES DE ENTENDER EN PROFUNDIDAD LOS PROBLEMAS QUE SE NOS PRESENTAN. ■

REFERENCIAS

Hogeweg P. (2011). The Roots of Bioinformatics in Theoretical Biology. *PLoS Comput Biol* 7(3): e1002021. doi:10.1371/journal.pcbi.1002021.

Altschul, Stephen; Gish, Warren; Miller, Webb; Myers, Eugene; Lipman, David (1990). "Basic local alignment search tool". *Journal of Molecular Biology*. 215 (3): 403–410. doi:10.1016/S0022-2836(05)80360-2. PMID 2231712.

Inostroza-Ponta M, Berretta R, Moscato P (2011) QAPgrid: A Two Level QAP-Based Approach for Large-Scale Data Analysis and Visualization. *PLOS ONE* 6(1): e14468. doi: 10.1371/journal.pone.0014468.

David B. Searls. An Online Bioinformatics Curriculum *PLoS Comput Biol*. 2012 Sep; 8(9): e1002632.

Searls DB (2014). A New Online Computational Biology Curriculum. *PLoS Comput Biol* 10(6): e1003662. doi:10.1371/journal.pcbi.1003662.

SISTEMAS RECOMENDADORES





DENIS PARRA

Profesor Asistente Departamento de Ciencia de la Computación, Pontificia Universidad Católica de Chile. Doctor en Information Science, University of Pittsburgh, Estados Unidos; Ingeniero Civil en Informática, Universidad Austral de Chile. Lidera el laboratorio de investigación en Computación Social y Visualización (SocVis). Líneas de Investigación: Sistemas de Recomendación, Interfaces de Usuario Inteligentes, Minería de Datos, Visualización de Información, Análisis de Redes Sociales.
dparra@ing.puc.cl

“LO QUE LA INFORMACIÓN CONSUME ES BASTANTE OBVIO: CONSUME LA ATENCIÓN DE SUS DESTINATARIOS. POR LO TANTO, UNA GRAN CANTIDAD DE INFORMACIÓN CREA UNA POBREZA DE ATENCIÓN Y UNA NECESIDAD DE ASIGNAR ESA ATENCIÓN EFICIENTEMENTE ENTRE LA SOBREABUNDANCIA DE FUENTES DE INFORMACIÓN QUE PODRÍAN CONSUMIRLA”.

HERBERT SIMON

PREMIO TURING (1975) Y PREMIO NOBEL DE ECONOMÍA (1978).

Uno de los principales efectos que ha tenido el avance de las tecnologías de la información y comunicación en los últimos treinta años —la Internet, la WWW, la tecnología móvil y sus aplicaciones— es permitirnos el acceso de manera casi instantánea a grandes volúmenes de información. Así mismo, muchas actividades que en el pasado sólo podíamos llevar a cabo movilizándonos físicamente como hacer compras, planificar viajes, hacer trámites para obtener certificados, etc., ahora podemos realizarlas de forma remota accediendo a la Web o vía aplicaciones móviles. De esta forma, las tecnologías han aumentado la disponibilidad de información, productos y servicios, y a la vez han facilitado enormemente su acceso.

A pesar de los grandes beneficios que nos trae la mayor disponibilidad y acceso a información, estos avances han producido también un problema: sobreabundancia de información. La aparición de la Web Social a mediados de la década 2000-2010 solo ayudó a exacerbar este problema, ya que cualquier persona —no solo programadores web— pueden generar contenido para la Web como blogs, vídeos o música.

Bajo este escenario, cuando queremos comprar un producto en línea y estamos a una distancia de un *click* de un catálogo de varios millones de productos, ¿cómo elegir el producto a comprar? ¿cómo asegurarnos que se están tomando en cuenta nuestras preferencias personales? Bajo este escenario es que los *sistemas recomendadores* han florecido y siguen creciendo día a día.

Tales sistemas tienen como rol principal ayudarnos a encontrar ítems relevantes dentro de una sobreabundancia de información [McNee et al, 2006] considerando nuestras preferencias individuales. Compañías tan diversas como Amazon, Netflix, Google, Booking y Spotify basan buena parte de sus funcionalidades y modelos de negocio en sistemas recomendadores. Estos sistemas se han desarrollado por más de treinta años pero han evolucionado especialmente rápido en la última década.

En este artículo presentamos estos sistemas a través de su evolución histórica, describiendo sus principales técnicas de implementación, así como algunos importantes dominios de aplicación y desafíos del área.

CONTEXTO HISTÓRICO Y EL PROBLEMA DE RECOMENDACIÓN

A comienzos de los años noventa, el tiempo requerido para filtrar mensajes de correo electrónico crecía velozmente y en Xerox PARC se estaba convirtiendo en un problema para sus funcionarios. El problema los motivó a desarrollar

	Promedio Rojo	Caluga o Menta	Machuca	...	Sexo con Amor
Usuario 1	5	2	1		?
Usuario 2	1	?	5		3
...					
Usuario n	1	3	?		1

FIGURA 1. MATRIZ DE USUARIOS E ÍTEMS QUE PRESENTA EL PROBLEMA DE RECOMENDACIÓN COMO PREDICCIÓN DE LAS EVALUACIONES DE USUARIOS SOBRE ÍTEMS, EN ESTE CASO PELÍCULAS, AÚN NO CONSUMIDOS.

el sistema Tapestry [Goldberg et al, 1992], que les permitía filtrar mensajes usando de forma colaborativa las anotaciones de relevancia que los usuarios daban a los mensajes. Este sistema es usualmente reconocido como el primer sistema recomendador ya que introduce una de las técnicas más usadas en el área, el filtrado colaborativo, el cual explicaremos en detalle en la siguiente sección.

Los sistemas recomendadores se continuaron desarrollando por varios años, pero siempre dentro de una comunidad de investigadores más bien limitada, hasta el año 2006 en que la empresa de arriendo de películas por correo

postal Netflix anuncia el Netflix Prize [Bennet y Lanning, 2007]. Este concurso, que se llevó a cabo hasta 2009, estuvo abierto vía Web a cualquier competidor y consistía en mejorar el algoritmo de predicción de preferencias de películas llamado *Cinematch* en al menos un 10%, con un premio de un millón de dólares. En este concurso se popularizó el siguiente modelo como problema de recomendación: dada una matriz de usuarios, ítems y evaluaciones explícitas (ratings) observadas, crear una función capaz de predecir la evaluación (rating) que un usuario daría a un ítem aún no consumido. La Figura 1 ejemplifica el problema descrito.

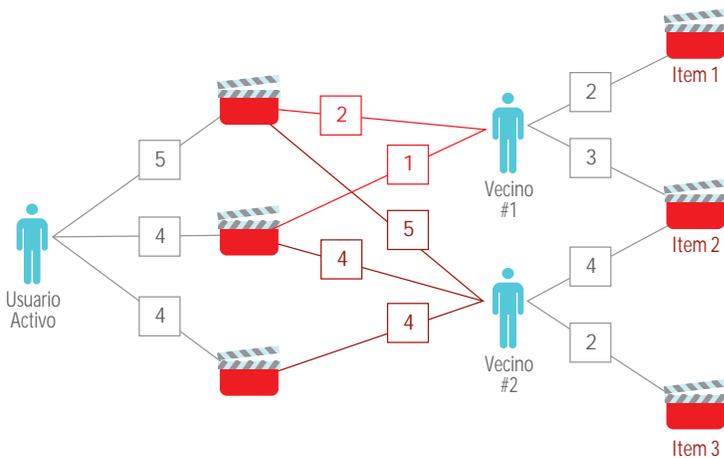


FIGURA 2. EN EL FILTRADO COLABORATIVO BASADO EN EL USUARIO, SE CALCULAN LOS K VECINOS MÁS CERCANOS (VECINOS #1 Y #2), Y LUEGO SE INTENTA PREDECIR LA EVALUACIÓN QUE EL USUARIO ACTIVO DARÍA A ÍTEMS QUE NO HA CONSUMIDO, PERO QUE SUS VECINOS SÍ HAN CONSUMIDO (ÍTEMS 1, 2 Y 3).

El efecto positivo del concurso fue hacer más notoria el área de sistemas recomendadores entre ingenieros, desarrolladores y científicos de computación y otros campos, además de acelerar el desarrollo de algoritmos. Sin embargo, también generó el perjuicio de centrar la investigación de sistemas recomendadores en un dominio específico (recomendación de películas) y en un tipo específico de evaluación, como es minimizar métricas de error de predicción como RMSE y MAE [Parra y Sahebi, 2013]. En los años posteriores al Netflix Prize se ha visto un resurgimiento de otras formas de formular el problema de recomendación y de evaluar la calidad de estos sistemas.

TÉCNICAS DE RECOMENDACIÓN

Siguiendo la definición de Adomavicius y Tuzhilin [2005], podemos definir el problema de recomendación de forma general como encontrar una función de utilidad $u(c, s)$ tal que dado un usuario c y potenciales elementos en un dataset S , retorne un conjunto de ítems R que maximicen la utilidad del usuario:

$$\forall c \in C, s'_c = \underset{s \in S}{\operatorname{argmax}} u(c, s)$$

$u : C \times S \rightarrow R$, función de utilidad

Eq1: Formulación del problema de recomendación basado en Adomavicius y Tuzhilin [2005].

FILTRADO COLABORATIVO

El método conocido como filtrado colaborativo se basa en la intuición de que usuarios con gustos similares pueden servir de base para predecir gustos en el futuro [Resnick et al. 1994]. La versión más común de este método es el filtrado colaborativo basado en el usuario, que se puede ver en la Figura 2. Este método comprende dos pasos principales: (a) dado un "usuario activo" a quien se le desean realizar recomendaciones, encontrar

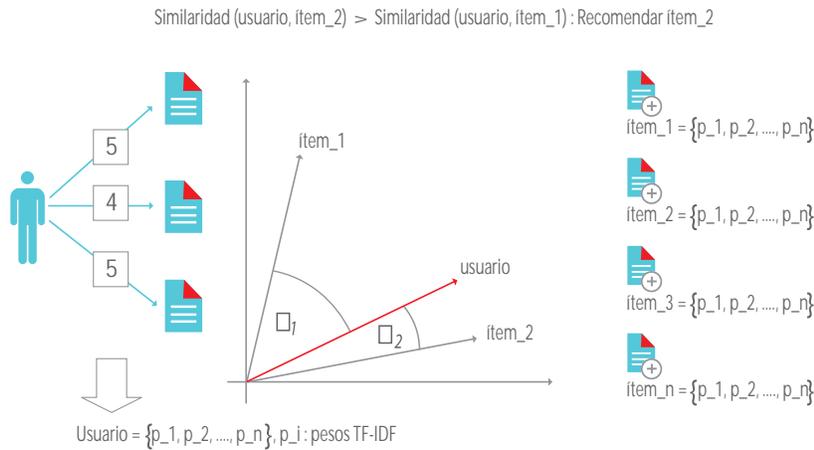


FIGURA 3. REPRESENTACIÓN DEL FILTRADO BASADO EN CONTENIDO. EL PERFIL DEL USUARIO ES REPRESENTADO POR LOS ÍTEMS QUE HA CONSUMIDO Y SE BUSCAN ÍTEMS A RECOMENDAR EN LA BASE DE DATOS EN BASE A UNA FUNCIÓN DE SIMILARIDAD, QUE PODRÍA SER EL COSENO DEL ÁNGULO ENTRE EL VECTOR DEL USUARIO Y EL VECTOR DEL ÍTEM.

a los usuarios con mayor similaridad en cuanto a sus ratings, es decir, sus vecinos más cercanos, y luego (b) predecir el rating que el “usuario activo” dará a un ítem multiplicando la similaridad del usuario central con el vecino por el rating dado por el vecino.

Si bien este modelo es adecuado para datasets pequeños, en la práctica es poco escalable así es que suele usarse la alternativa llamada filtrado colaborativo basado en ítems [Sarwar et al, 2001]. Además, este método presenta tres grandes problemas: (a) partida en frío (*cold start*): usuario nuevo que ha dado muy pocas o ninguna valoración a ítems, (b) nuevo ítem: ítem nuevo en la base de datos que pocos usuarios han evaluado, y (c) escasez de datos (*sparsity*): es esperable que pocos usuarios den valoración explícita, pero cuando menos de un 2% de las $n \times m$ celdas de una matriz usuario-ítem posee datos, el algoritmo de filtrado colaborativo tiende a fallar en las predicciones [Parra y Sahebi, 2013].

FILTRADO BASADO EN CONTENIDO

La técnica de recomendación basada en contenido, si bien menos precisa en la predicción de

ratings, se suele usar para aliviar problemas del filtrado colaborativo como el “nuevo ítem” y la escasez de datos. En esta técnica se suele representar al usuario como un vector de las características de los ítems que ha evaluado positivamente. Como los ítems no consumidos por el usuario se pueden representar igualmente como vectores, es posible hacer recomendaciones calculando la similaridad de un usuario y un ítem en base, por ejemplo, a su distancia coseno [Pazzani et al, 2007], como se ejemplifica en la Figura 3.

Al contrario que el filtrado colaborativo, los sistemas de recomendación basados en contenido permiten recomendar ítems que no han sido evaluados por ningún usuario, eliminando el problema del “nuevo ítem”. Sin embargo, tienden a la sobreespecialización y corren el riesgo de caer en una burbuja de filtrado. Por ejemplo, si hago siempre “like” a noticias de mi equipo de fútbol favorito, el recomendador tenderá a mostrar sólo esas noticias y no las de otros equipos. Este ejemplo parece no ser tan nocivo, pero en el caso de política, por ejemplo, esto puede reforzar nuestra posición o sesgo, evitando que pudiéramos tener acceso a contenido más diverso.

SISTEMAS BASADOS EN REGLAS Y SISTEMAS HÍBRIDOS

En ocasiones los usuarios de sistemas recomendadores tienen restricciones o limitaciones específicas. Por ejemplo, para comprar una cámara, un usuario podría tener un presupuesto específico o preferencias por una cámara en particular. En estos casos, los sistemas basados en reglas [Jannach et al, 2010] tienen una ventaja importante. Sin embargo, estos sistemas tienen la debilidad de ser difíciles de mantener actualizados ya que los usuarios cambian sus preferencias en el tiempo y las reglas suelen fijarse de forma relativamente manual, algo que en inglés se denomina “user interest drift” [Koren et al, 2009].

Otra solución es la de los sistemas híbridos, los cuales combinan las fortalezas de distintos métodos y así permitir sistemas más robustos a la escasez de datos o a la sobreespecialización. El trabajo de Burke [2007] muestra distintas técnicas de combinación de recomendadores, que se pueden agrupar en 3: a) monolítico, b) paralelizado y c) pipeline. Para más detalle, revisar [Jannach et al, 2010].

FACTORIZACIÓN MATRICIAL

La factorización matricial es una de las técnicas más comunes para implementar sistemas de recomendación debido a su buen poder predictivo y a su rapidez en generar recomendaciones en línea. Se hizo popular luego de ser uno de los principales métodos usados para ganar el Netflix Prize [Koren et al, 2009]. En esta técnica, la intuición se basa en que tanto usuarios como ítems pueden ser llevados a un espacio “latente” común en base a sus interacciones, como se ve en la Figura 4.

La forma de obtener los valores de los usuarios y de los ítems en el espacio latente es a través de una optimización como la descrita en la ecuación siguiente, donde se intenta obtener los valores



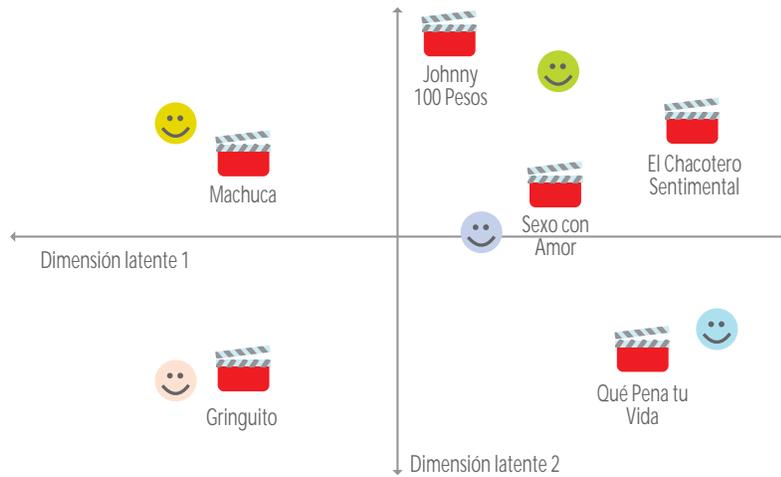


FIGURA 4. ÍTEMS Y USUARIOS DISPUESTOS EN UN ESPACIO LATENTE COMÚN LUEGO DE UNA FACTORIZACIÓN MATRICIAL.

de los vectores q^* y p^* que minimizan el error de predicción

$$\min_{q^*, p^*} \sum_{(u,i) \in K} (r_{ui} - q_i^T p_u)^2 + \lambda (\|q_i\|^2 + \|p_u\|^2)$$

Eq. 2 Modelo de factorización regularizado. El objetivo es aprender los valores de los vectores q_i y p_u , los cuales al multiplicarse permiten hacer una predicción. Los términos a la derecha corresponden a la regularización, que permite penalizar valores muy altos dentro de los vectores q_i y p_u y así evitar el sobreentrenamiento.

En la ecuación anterior, p_u y q_i son vectores latentes del usuario u y del ítem i , respectivamente, y λ corresponde al factor de regularización. La regularización permite controlar el sobreentrenamiento (*overfitting*). A partir de este modelo de optimización, decenas de otros métodos han extendido esta formulación ya sea incorporando variables nuevas (*feedback* implícito, contactos en una red social, efecto del tiempo), nuevos tipos de regularización (L_1 y $L_{1,2}$) y formas de aprendizaje de los factores latentes (SGD, ALS, etc.)

Uno de los principales problemas de la factorización matricial tradicional es su falta de versa-

tilidad para incluir variables de contenido o contexto nuevas para hacer los modelos (por ejemplo, la hora en que se realizó el consumo). Parte de este problema fue resuelto por Steffan Rendle, quien introdujo las máquinas de factorización [Rendle, 2012]. Este modelo generaliza muchos otros modelos publicados anteriormente y es capaz de replicarlos sólo con cambiar el formato de los datos, además de introducir una forma eficiente de aprender varios de los parámetros del modelo. El modelo de Rendle ha sido tan exitoso que se ha ocupado en varias tareas de minería de datos más allá de sistemas de recomendación, con excelentes resultados en muchos concursos en línea como los del portal Kaggle¹.

DESAFÍOS DE LOS SISTEMAS DE RECOMENDACIÓN

Los sistemas de recomendación han avanzado rápidamente en la última década. El problema inicial de recomendación basado en predicción de ratings ha dado paso a muchas variantes. Es importante considerar, por ejemplo, que la re-

comendación en distintas áreas tiene particularidades que requieren de modelos diferentes. Probablemente, un usuario de un servicio de música, como Spotify o iTunes, no tendría problema en escuchar la misma canción en repetidas ocasiones. Sin embargo, se aburriría si Netflix le recomendará la misma película varias veces. Por otro lado, recomendar un restaurant o un café puede tener un aspecto geográfico importante relacionado, ya que un usuario podría tener restricciones de tiempo y distancia para acceder al servicio más allá de una predicción de rating. Los siguientes puntos detallan algunos desafíos de los sistemas de recomendación.

Evaluación. Considerar sólo métricas objetivas como el RMSE para evaluar un recomendador es nocivo porque muchas variables inciden en la decisión de un usuario de aceptar una recomendación. Factores como la diversidad de las recomendaciones, la transparencia del sistema para explicar las recomendaciones o la sensación de control del usuario respecto de la interfaz han mostrado ser muy importantes, al punto que mejoras pequeñas en RMSE no están en absoluto correlacionadas con una mayor satisfacción del usuario. Un gran desafío en estos sistemas es buscar la mejor manera de evaluarlos de forma holística [Konstan and Riedl, 2012], considerando una evaluación centrada en el usuario.

Contexto. Un área importante en la investigación y desarrollo de sistemas de recomendación es el contexto bajo el cual se consume un ítem. Un ejemplo típico es considerar con quién se va a ver una película: si el sistema tiene información de que se verá la película con un hermano menor de siete años, debería producir una recomendación distinta a si se ve con la pareja. El área de sistemas recomendadores basados en Contexto ha tenido un gran desarrollo en los últimos años y sigue creciendo en la actualidad [Adomavicius et al, 2015].

Aprender a Rankear. Un tema que inició su desarrollo en el área de recuperación de información pero que permeó rápidamente a los sistemas de información es la de "aprender a rankear" (Learning to Rank). Este tema produce un cambio de

1. <https://www.kaggle.com/>

paradigma importante, ya que el foco en predicción de ratings se transforma en producir directamente una lista ordenada de recomendaciones considerando las preferencias parciales de los usuarios y usando métricas distintas al RMSE, como nDCG, MAP, o MRR [Karatzoglou et al., 2013].

Aprendizaje Profundo (Deep Learning). El impacto que han tenido en los últimos cuatro años las redes neuronales profundas en el avance de modelos de visión por computador, de procesamiento de lenguaje natural y de juegos ha llegado de forma tardía pero con alto impacto a los sistemas de recomendación. En la última

conferencia del área realizada en Boston en 2016 (ACM RecSys 2016), varios modelos incorporaron redes neuronales profundas con resultados de gran calidad, destacando el modelo de recomendación de videos del sitio YouTube presentado por Google [Convington et al, 2016].

CONCLUSIÓN

LOS SISTEMAS RECOMENDADORES CUMPLEN UN ROL ESENCIAL BAJO EL ESCENARIO ACTUAL DE SOBRECARGA DE INFORMACIÓN, Y SON UNO DE LOS MEJORES EJEMPLOS DE LOS AVANCES DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL. SIN EMBARGO, HAY MUCHO TRABAJO PENDIENTE EN SU DESARROLLO. RECIENTEMENTE, EL GOBIERNO DE ESTADOS UNIDOS LIBERÓ UN INFORME CON MUCHOS DESAFÍOS COMO RESULTADO DE LOS AVANCES DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL². EL INFORME MENCIONA TEMAS CON DIRECTO IMPACTO EN EL ÁREA DE SISTEMAS DE RECOMENDACIÓN, POR EJEMPLO: (A) TRANSPARENCIA EN LOS SISTEMAS, (B) PRIVACIDAD, Y (C) ROBUSTEZ DE LOS SISTEMAS DE RECOMENDACIÓN. ESPERAMOS QUE LOS SISTEMAS RECOMENDADORES SE SIGAN DESARROLLANDO COMO HERRAMIENTAS ÚTILES Y QUE LOS ALGORITMOS A DESARROLLAR APUNTEN A UN ACCESO INCLUSIVO DE LA INFORMACIÓN PARA EVITAR SITUACIONES COMO EL FILTER BUBBLE³, EL CUAL PODRÍA DAÑAR NUESTRA SOCIEDAD REFORZANDO NUESTROS SESGOS DE OPINIÓN Y COGNITIVOS EN LUGAR DE VOLVERNOS MÁS INCLUSIVOS. ■

REFERENCIAS

- Bennett, J., & Lanning, S. (2007). The Netflix Prize. In Proceedings of KDD cup and workshop (Vol. 2007, p. 35).
- Parra, D., & Sahebi, S. (2013). Recommender systems: Sources of knowledge and evaluation metrics. In *Advanced Techniques in Web Intelligence-2* (pp. 149-175). Springer Berlin Heidelberg.
- Adomavicius, G., & Tuzhilin, A. (2005). Toward the next generation of recommender systems: A survey of the state-of-the-art and possible extensions. *IEEE transactions on knowledge and data engineering*, 17(6), 734-749.
- Sarwar, B., Karypis, G., Konstan, J., & Riedl, J. (2001). Item-based collaborative filtering recommendation algorithms. In Proceedings of the 10th international conference on World Wide Web (pp. 285-295). ACM.
- Resnick, P., Iacovou, N., Suchak, M., Bergstrom, P., & Riedl, J. (1994). GroupLens: an open architecture for collaborative filtering of netnews. In Proceedings of the 1994 ACM conference on Computer supported cooperative work (pp. 175-186). ACM.
- Pazzani, M. J., & Billsus, D. (2007). Content-based recommendation systems. In *The adaptive web* (pp. 325-341). Springer Berlin Heidelberg.
- Burke, R. (2007). Hybrid web recommender systems. In *The adaptive web* (pp. 377-408). Springer Berlin Heidelberg.
- McNee, S. M., Kapoor, N., & Konstan, J. A. (2006). Don't look stupid: avoiding pitfalls when recommending research papers. In Proceedings of the 2006 20th anniversary conference on Computer supported cooperative work (pp. 171-180). ACM.
- Rendle, S. (2012). Factorization machines with libfm. *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology (TIST)*, 3(3), 57.
- Koren, Y., Bell, R., & Volinsky, C. (2009). Matrix factorization techniques for recommender systems. *Computer*, 42(8).
- Jannach, D., Zanker, M., Felfernig, A., & Friedrich, G. (2010). *Recommender systems: an introduction*. Cambridge University Press.
- Adomavicius, G., & Tuzhilin, A. (2015). Context-aware recommender systems. In *Recommender systems handbook* (pp. 191-226). Springer US.
- Covington, P., Adams, J., & Sargin, E. (2016, September). Deep neural networks for Youtube recommendations. In Proceedings of the 10th ACM Conference on Recommender Systems (pp. 191-198). ACM.
- Konstan, J. A., & Riedl, J. (2012). Recommender systems: from algorithms to user experience. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 22(1-2), 101-123.
- Karatzoglou, A., Baltrunas, L., & Shi, Y. (2013). Learning to rank for recommender systems. In Proceedings of the 7th ACM conference on Recommender systems (pp. 493-494). ACM.

2. https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/whitehouse_files/microsites/ostp/NSTC/preparing_for_the_future_of_ai.pdf
3. http://www.ted.com/talks/eli_pariser_beware_online_filter_bubbles/transcript?language=en



COMPUTACIÓN AFECTIVA: UNA MIRADA A LA HISTORIA, APLICACIONES Y PROYECCIONES





ROBERTO GONZÁLEZ-IBÁÑEZ

Profesor Asistente Departamento de Ingeniería Informática, Universidad de Santiago de Chile. PhD in Information Science, Rutgers University, Estados Unidos. Magíster e Ingeniero Civil en Informática, Universidad de Santiago de Chile. Líneas de Investigación: Búsqueda de Información, Recuperación de Información, Interacción Humano-Información, Visualización de Información, Computación Afectiva.

roberto.gonzalez.i@usach.cl

25 años atrás la idea de convivir con computadores capaces de expresar, reconocer y hasta “tener” emociones eran temas de ciencia ficción. Blockbuster tales como “2001 odisea en el espacio”, “Wall-E”, “Ex-machina”, “Uncanny”, o novelas de Isaac Asimov como el “Hombre Bicentenario” y “Yo Robot”, son algunos ejemplos donde los personajes principales son máquinas con un desarrollo avanzado de inteligencia artificial. Destaca en estas historias que tal inteligencia no solo se limita a la lógica, matemática y/o lingüística, sino también abarca otras dimensiones de inteligencia como la kinestésica, visual, interpersonal y afectiva [10]. Más allá de la ciencia ficción, el desarrollo en ciencia y tecnología a lo largo de los años ha permitido avances significativos hacia la construcción de máquinas y sistemas¹ con inteligencias múltiples, siendo una de éstas la afectiva.

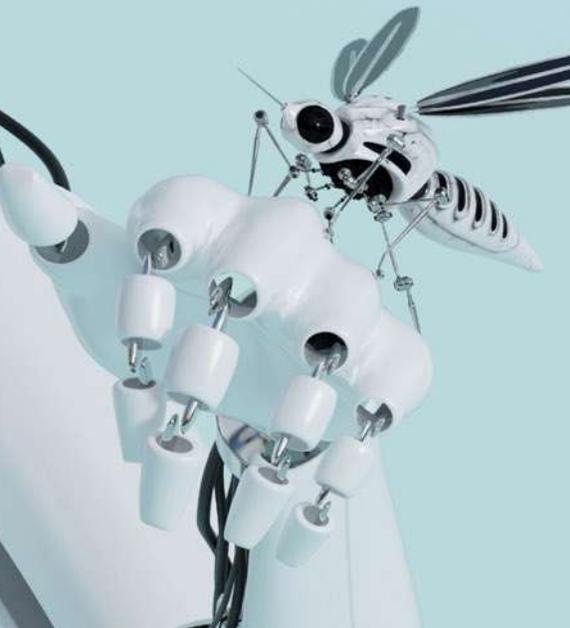
CONTEXTO HISTÓRICO

Las investigaciones en inteligencia artificial contextualizadas en el área de la computación datan desde hace más de setenta años. Influenciada en parte por contribuciones de la matemática, filosofía y neurología, entre otras disciplinas, surge la idea de poder construir un símil del cerebro humano. En aquel entonces, en parte por sesgos propios de la época sobre la irrelevancia y connotación negativa de la dimensión afectiva, el foco principal era el desarrollo de sistemas con inteligencia lingüística y lógico-matemática. En los cuarenta aparecen las primeras contribuciones formales en inteligencia arti-

ficial a partir del desarrollo de neuronas artificiales. Luego, con el paso de los años aparecieron programas capaces de entablar conversaciones limitadas con seres humanos, sistemas capaces de “almacenar” el conocimiento de expertos, o inclusive capaces de probar teoremas. En los cincuenta Alan Turing propuso una prueba, hoy conocida como el test de Turing, en la cual se establece que si un juez humano no puede distinguir a un par humano de una máquina a partir de una conversación en lenguaje natural, entonces se puede decir que la máquina evaluada exhibe un comportamiento inteligente [18].

Las ciencias de la computación, matemática y otras disciplinas han contribuido de forma directa e indirecta al desarrollo de nuevas técnicas en inteligencia artificial. Métodos estadísticos, probabilidades y redes neuronales, podrían considerarse como parte de la variedad de recursos disponibles para crear sistemas o máquinas artificialmente inteligentes o al menos con capacidades que podrían considerarse en principio como propias de animales en general y humanos en específico (ej.: reconocer patrones, resolver problemas, clasificar datos).

Fuera del dominio lógico-matemático y lingüístico, la mecánica, electrónica y computación, entre otras disciplinas, han contribuido con desarrollos de máquinas para distintos propósitos capaces de operar físicamente en su entorno a través del reconocimiento de objeto, navegación, desplazamiento y manipulación. Tales habilidades, las que pueden situarse de cierta manera en el marco de inteligencias como la kinestésica y visual-espacial, resultan particular-



1. Los términos máquina y sistema de aquí en adelante se usan en un sentido amplio para referirse a computadores, robots, sistemas eléctricos y sistemas de software.



mente útiles para realizar tareas repetitivas, riesgosas y/o que requieren un esfuerzo físico mayor. Esto explica que ciertos desarrollos en robótica han tenido buena acogida en aplicaciones industriales y militares.

El paradigma imperante de la racionalidad por sobre lo afectivo durante el desarrollo emergente en áreas como la inteligencia artificial y robótica, llevaron de una u otra forma a que la dimensión afectiva fuera omitida. La idea de que "la emoción nubla la razón" [7], perduró por siglos influenciando el trabajo de muchos. Por lo mismo, concebir máquinas con algún grado de desarrollo afectivo parecía no tener sentido en ese entonces. Por otro lado, aún cuando las emociones hubiesen tenido una connotación positiva, se podría especular que dada las limitaciones tecnológicas de la época, pensar en crear máquinas con algún nivel de "inteligencia emocional" hubiese sido altamente complejo o incluso imposible. De esta forma, su exclusión de la agenda de desarrollos ligados a la inteligencia artificial podría considerarse de cierta manera propicia y hasta beneficiosa.

COMPUTACIÓN AFECTIVA

Fue necesario un cambio de paradigma para que las emociones tomaran un rol protagónico. Desde la filosofía, neurología, psicología y economía, entre otras disciplinas, se comenzó a dar cuenta sobre la importancia de la dimensión afectiva (i.e. emociones, sentimientos, estados de ánimos, afectos) en escenarios donde la racionalidad primaba. A modo de ejemplo, Antonio Damasio destacó el rol central de la emoción en procesos que tradicionalmente se consideraban como racionales, como es el caso de la toma de decisiones. Este tipo de planteamientos resultó en un quiebre tomando en cuenta que la emoción se consideraba como un obstáculo para tales efectos [7]. Por otro lado, desde la psicología se dio un vuelco importante al estudio de las emociones y su influencia positiva en áreas tan diversas como la salud, educación y trabajo, entre otras [17].

Aquellos vinculados a la ingeniería y la computación, no estuvieron exentos de este cambio paradigmático. Una persona clave en esta materia es Rosalind Picard, quien proviniendo de una formación en ciencias e ingeniería vio que la dimensión afectiva podría tener un rol fundamental en el desarrollo de máquinas "inteligentes". A mediados de los noventa, y luego de trabajos previos en el área, Picard publicó el libro *Computación Afectiva (Affective Computing)* en el que aborda el concepto, motivación, fundamentos, hallazgos y técnicas hacia el desarrollo de máquinas con algún grado de inteligencia emocional [15].

Picard define la Computación Afectiva (CA) como la "computación que se relaciona con, surge de, o influencia las emociones." [15, p.3]. La CA plantea la idea de máquinas capaces de expresar, detectar, reconocer y en algunos casos hasta "tener" o "experimentar" emociones. Esta idea, concebida originalmente desde una perspectiva cognitivista, no ha estado exenta de críticas desde otras corrientes de pensamiento o bien por su impacto en la sociedad. Para algunos, la idea de máquinas con algún grado de afectividad es considerada absurda, esto desde la perspectiva que las máquinas deberían ser objetivas y predecibles. En efecto, crear máquinas con algún grado de desarrollo afectivo podría ser contraproducente en algunos dominios de aplicación. Tal es el caso de las máquinas empleadas para la realización de trabajos repetitivos en el sector productivo, donde en la mayoría de los casos el desarrollo afectivo podría no tener cabida. Por otro lado, se debe considerar que las máquinas han trascendido el plano industrial y en la actualidad, para una gran mayoría, forman parte de lo cotidiano.

Actualmente es cada vez más común que las personas interactúen de manera directa o indirecta con máquinas (ej.: cajeros automáticos, teléfonos inteligentes, computadores). Si bien tales interacciones son en su mayoría impersonales, la tendencia muestra que las máquinas están cubriendo otros dominios donde interacciones más humanas son demandadas (ej.: cuidado de pacientes, compañía, atención al cliente, etc.) [3]. En estos escenarios las interacciones

con máquinas pueden causar algún tipo de rechazo y por lo mismo, el desarrollo e incorporación de componentes afectivos en éstas es fundamental.

A modo de ejemplo, hoy en día es bastante común que organizaciones de distinto tipo se apoyen en sistemas automáticos o semiautomáticos de respuesta para agilizar la comunicación con sus clientes. Tales sistemas, conocidos como bots conversacionales o *chatbots*, se integran en componentes de mensajería instantánea de los sitios web de la organización. Se da el caso que estos agentes pueden ser máquinas con respuestas predefinidas en base a patrones de conversación, en otros casos son sistemas híbridos donde la máquina se hace cargo de procesos protocolares de comunicación con el cliente para luego dejar la comunicación en manos de un agente humano. Desde la perspectiva del cliente, el determinar si el agente es en realidad una máquina o un ser humano puede en ocasiones ser difícil, lo que hace pensar en el test de Turing descrito anteriormente. Sin embargo, cuando los esquemas de comunicación no son híbridos, el usuario por lo general termina percatándose de que quien está al otro lado de la línea no es precisamente un ser humano. Para construir máquinas capaces de interactuar naturalmente con seres humanos, resulta necesario dotarlas no solo de recursos para entender el lenguaje y el mundo que las rodea, sino que también resulta primordial equiparlas de componentes afectivos que les permitan alcanzar algún grado de empatía con sus contrapartes humanas.

DESARROLLO DEL ÁREA

Pasaron más de cincuenta años desde los primeros esfuerzos centrados en crear máquinas "inteligentes" para que la CA emergiera como área de investigación. De cierta forma este inicio tardío propició un punto de partida ventajoso para la CA, esto tomando en consideración los avances tecnológicos y científicos acumulados durante este período. Avances en reconocimiento



de patrones, visión por computador, robótica, procesamiento de señales, procesamiento del lenguaje natural, técnicas de clasificación y un mejor entendimiento de la dimensión afectiva, entre otros, resultaron en un conjunto de herramientas clave cuyas aplicaciones se tradujeron incrementalmente en sistemas con un desarrollo parcial de componentes afectivos para reconocer, expresar y “tener” emociones.

RECONOCIMIENTO

La combinación adecuada de técnicas de procesamiento de imágenes para detectar rostros y extraer características de estos, bases de datos de rostros clasificados en distintas emociones básicas, y métodos de clasificación, permitieron la construcción de sistemas capaces de detectar y reconocer expresiones/microexpresiones faciales asociadas en principio a emociones básicas (ej.: miedo, alegría, tristeza) [9] a partir de imágenes fijas o videos del rostro (Figura 1). En

cierta medida el rostro, como fuente expresiva y observable de estados afectivos, ha sido uno de los recursos más estudiados en la CA [16]. Desarrollos posteriores han permitido cubrir otras fuentes de información bajo enfoques unimodales y multimodales, además de extenderse hacia la identificación de estados afectivos y mentales más complejos [4].

Como alternativa al rostro, la voz y el lenguaje natural también han sido ampliamente explorados como fuentes de información afectiva [19]. A esto se suman investigaciones en fisiología y neurociencia, que en algunos casos han derivado en el desarrollo de técnicas y herramientas especializadas para estudiar la dimensión afectiva desde fuentes menos evidentes en comparación con el rostro o la voz. Ejemplos de éstas son la actividad eléctrica de los músculos, de la piel y del cerebro, e inclusive los movimientos oculares. Esto dio paso no solo al desarrollo de nuevas técnicas de procesamiento y análisis de señales neurofisiológicas,

sino que también al desarrollo de dispositivos y software especializado en la detección y reconocimiento de estados afectivos.

EXPRESIÓN

En cuanto a la expresión de emociones, ésta se ha abordado desde distintos frentes. Independientemente del enfoque, los esfuerzos se han concentrado en recursos afectivos evidentes como es el caso de la voz, el rostro, los gestos y el lenguaje. Por ejemplo, a nivel de la robótica se han desarrollado máquinas capaces de expresar emociones y otros estados afectivos a través de rostros mecanizados que imitan parcialmente algunas expresiones faciales humanas. Esfuerzos similares se han hecho a nivel de software y diseño a través de avatares humanoides en dos o tres dimensiones. En otros casos se han creado máquinas (software o hardware) con estilos únicos -no humanos- de expresiones afectivas a través de colores, movimientos o sonidos [10].

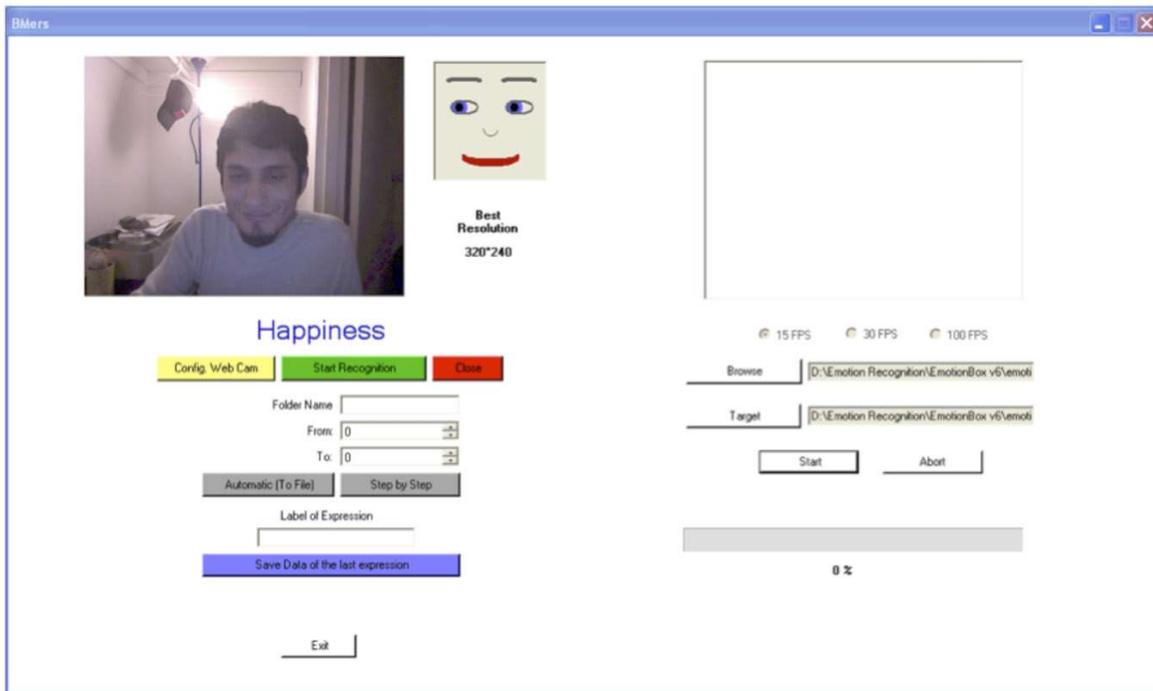


FIGURA 1.

BMERS - SOFTWARE DE IMITACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE EXPRESIONES FACIALES A PARTIR DE IMÁGENES Y VÍDEOS [11].



EXPERIENCIA

Más allá del grado de realismo alcanzado por estas formas artificiales de expresión afectiva, éstas no necesariamente se vinculan con la experiencia o vivencia (“tener”) de emociones u otros estados afectivos subyacentes. De hecho, se puede decir que el objetivo central de estos desarrollos ha sido el dotar a las máquinas de recursos para la socialización con seres humanos o con otras máquinas. Además, se debe considerar que crear máquinas capaces de “tener” o “experimentar” emociones resulta ser una ambición mucho mayor y de la cual aún se cuestiona su factibilidad y consecuencias para la sociedad. De momento la noción de desarrollar máquinas capaces de “tener” emociones se ha enfocado en la implementación de comportamientos o respuestas a nivel cognitivo que se vinculan a estados afectivos, como es el caso de la reacción de lucha o huida como respuesta ante una amenaza [2].

APLICACIONES

Ciertas investigaciones en CA derivan en productos tales como dispositivos electrónicos, sistemas de software o algoritmos. Algunos de estos tienen cabida en aplicaciones a nivel industrial o investigativo. Desde mejoras en la interacción hombre-máquina [6] hasta aplicaciones en marketing, son varias las áreas y disciplinas que han visto en la CA oportunidades y herramientas para enfrentar problemas donde la dimensión afectiva juega un papel central.

En un plano más general, soluciones como Affdex² y FaceReader³, entre otras, ofrecen a investigadores y profesionales de distintas áreas, herramientas para el reconocimiento de estados afectivos y cognitivos a partir del rostro. Si bien en la actualidad resulta bastante normal encon-

trar empresas que prestan servicios integrales en áreas como marketing, publicidad y experiencia de usuario; algunas han incorporado tecnologías de la CA en sus procesos de captura y análisis de datos, esto con el fin de estudiar respuestas afectivas de personas en determinadas condiciones (ej.: exposición a un logo, interfaz de usuario, anuncio publicitario).

Mientras que algunas de estas soluciones se ofrecen como servicios online, otras se presentan como *APIs* (Application Programming Interfaces) o componentes de software que pueden incorporarse rápidamente en proyectos de distinta naturaleza y envergadura tales como videojuegos, vehículos, aplicaciones móviles o sistemas robóticos. A partir de estas herramientas, los desarrolladores pueden incorporar en sus soluciones el reconocimiento de estados afectivos a partir del rostro. Si bien los propósitos de esto pueden ser variados, se destaca el foco en el mejoramiento de la experiencia de usuario, la personalización de sistemas y la adaptación dinámica del software.

De manera complementaria al procesamiento del lenguaje, se han desarrollado herramientas capaces de identificar distintos estados afectivos a partir de atributos prosódicos en la verbalización (ej.: pausas, intensidad y duración). Herramientas como Good Vibrations⁴ y Vokaturi⁵ permiten el desarrollo de sistemas de software y hardware dotados de recursos para la detección y reconocimiento de estados afectivos y cognitivos como la alegría, estrés o aburrimiento. Las posibilidades de aplicación de este tipo de herramientas son diversas, destacándose aquellas de apoyo a los sistemas de venta, atención al cliente, retroalimentación, conducción asistida y robótica, por mencionar algunas.

A nivel fisiológico, hoy resulta cada vez más común el uso de dispositivos de monitoreo de actividad diaria. El conteo de pasos, el ritmo cardíaco, temperatura, la actividad electrodérmica,

la actividad cerebral y la actividad muscular son ejemplos de los tipos de señales que algunos de estos dispositivos pueden capturar, procesar y analizar. Productos como Bitalino⁶, Embrace Watch⁷ y Emotiv Insight⁸, ofrecen a desarrolladores y usuarios finales la posibilidad de acceder a señales afectivas internas de sus usuarios. Las aplicaciones de este tipo de tecnología son diversas, sin embargo se destaca su uso como herramienta de monitoreo personal (ej.: actividad, sueño, salud), como recurso para integración social de individuos con trastornos del espectro autista, o inclusive como interfaces que –a partir de la información recolectada– pueden gatillar acciones concretas tales como alertas, sugerencias y cambios en condiciones del entorno (ej.: temperatura, música, luz).

En cuanto a la expresividad de estados afectivos por parte de máquinas, ésta tiene como foco principal el dotarlas de recursos para socializar y empatizar con las personas con quienes interactúan. En esta línea se han producido distintas herramientas de software y hardware, ya sea como productos finales o bien como herramientas especializadas para el desarrollo de soluciones concretas como robots o sistemas de software. En este contexto llama particularmente la atención la creación de unidades de procesamiento emocional o EPU, por su sigla en inglés. Estas unidades de cómputo se concentran en el procesamiento de señales afectivas, adaptabilidad y expresividad afectiva. Un ejemplo de este tipo de tecnología es la EPU II⁹ la cual puede emplearse en robots, aplicaciones de software, e Internet de las Cosas (IoT), entre otras. Un ejemplo concreto que usa este tipo de tecnología es EmoSpark AI, un dispositivo capaz de detectar, reconocer y expresar un amplio espectro de estados afectivos.

Más allá del plano comercial, se destacan las aplicaciones a nivel de investigación realizadas por otras disciplinas. La creación de tutores inteligentes y empáticos para asistir el aprendizaje

2. <http://www.affectiva.com/solutions/affdex/>

3. <http://www.noldus.com/human-behavior-research/products/facereader>

4. <http://www.good-vibrations.nl/>

5. <http://vokaturi.com/>

6. <http://www.bitalino.com/>

7. <https://www.empatica.com/product-embrace>

8. <https://www.emotiv.com/insight/>

9. <http://emoshape.com/>



[8], el estudio del panorama político del país (Figura 2) o de la sensación de seguridad ciudadana (Figura 3) a partir de las opiniones vertidas en redes sociales; ambientes de realidad virtual (Figura 4), el uso de respuestas y patrones afectivos para determinar la relevancia percibida de un documento en el contexto de la búsqueda y recuperación de información [1, 14] (Figura 5), el uso de las variaciones afectivas de los usuarios en videojuegos para alterar dinámicamente aspectos de los mismos [5], o el contrastar el desempeño humano y el de las máquinas en la detección de sarcasmo [12], son algunos ejemplos que dan cuenta del vasto terreno en investigación para aplicar elementos de la CA.

tivos para determinar la relevancia percibida de un documento en el contexto de la búsqueda y recuperación de información [1, 14] (Figura 5), el uso de las variaciones afectivas de los usuarios en videojuegos para alterar dinámicamente aspectos de los mismos [5], o el contrastar el desempeño humano y el de las máquinas en la detección de sarcasmo [12], son algunos ejemplos que dan cuenta del vasto terreno en investigación para aplicar elementos de la CA.

pectos de los mismos [5], o el contrastar el desempeño humano y el de las máquinas en la detección de sarcasmo [12], son algunos ejemplos que dan cuenta del vasto terreno en investigación para aplicar elementos de la CA.



FIGURA 2. EVOLUCIÓN Y RESUMEN DE MENCIONES POSITIVAS, NEGATIVAS Y NEUTRALES (OBJETIVAS) EN TWITTER PARA UN TÓPICO DE BÚSQUEDA DENTRO DEL OBSERVATORIO POLÍTICO¹⁰.

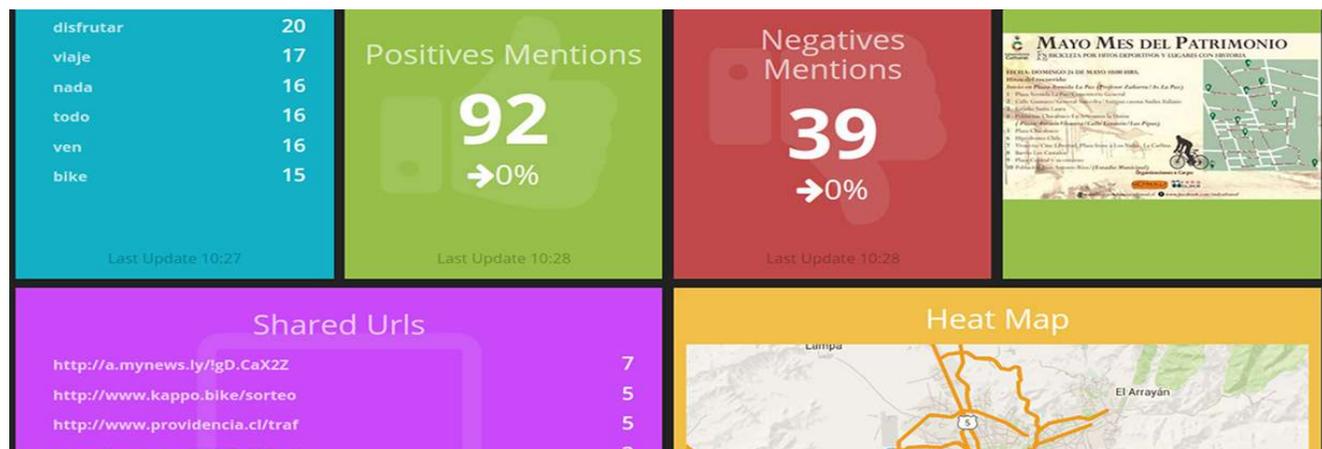


FIGURA 3. OBSERVATORIO EN TIEMPO REAL DE LA SEGURIDAD CIUDADANA. EJEMPLO DE APLICACIÓN DE ANÁLISIS DE SENTIMIENTOS EN REDES SOCIALES RESPECTO DE LA PERCEPCIÓN DE SEGURIDAD EN LA COMUNIDAD DE CICLISTAS CON EL FIN DE APOYAR LA TOMA DE DECISIONES DE INDIVIDUOS Y ORGANIZACIONES [13].

10. <http://www.observatoriopolitico.cl/>





FIGURA 4. VORTICES – AMBIENTE DE REALIDAD VIRTUAL PARA APOYAR LA EXPERIMENTACIÓN Y EVALUACIÓN EN LA INTERACCIÓN HUMANO-INFORMACIÓN A TRAVÉS DE INTERFACES NATURALES, CEREBRALES Y AFECTIVAS¹¹.

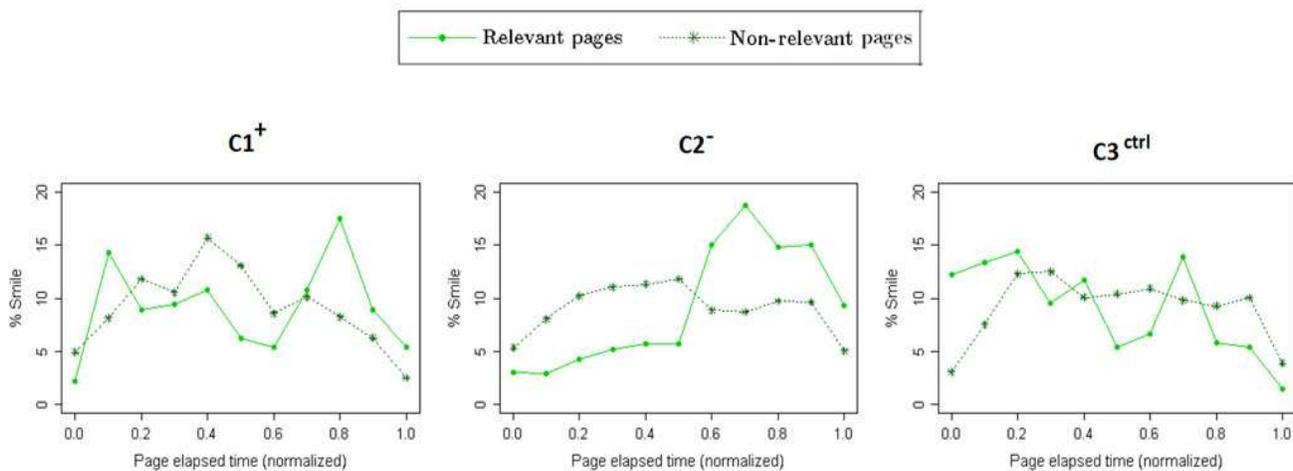


FIGURA 5. FRECUENCIA NORMALIZADA DE SONRISAS EXPRESADAS DURANTE LA EXPOSICIÓN A PÁGINAS WEB RELEVANTES Y NO RELEVANTES. C1⁺ Y C2⁻ CORRESPONDEN A CONDICIONES EXPERIMENTALES ASOCIADAS A PARTICIPANTES QUE COMENZARON EL PROCESO DE BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN EN UN ESTADO AFECTIVO INDUCIDO POSITIVO Y NEGATIVO RESPECTIVAMENTE. C3^{CTRL} CORRESPONDE AL GRUPO CONTROL [14]¹¹.

DESARROLLO A NIVEL INTERNACIONAL Y NACIONAL: PRESENTE Y FUTURO

Hoy en día la CA es abordada a nivel internacional por equipos interdisciplinarios (diseño, ro-

bótica, computación, electrónica, lingüística, psicología, neurociencia, etc.). Probablemente uno de los grupos con mayor presencia y contribuciones en el área corresponde al Affective Computing Group del MIT Media Lab en los Estados Unidos, el cual es dirigido por Rosalind Picard. No obstante, en el mundo existen varios investigadores y equipos que han focalizado sus esfuerzos, desde distintas perspectivas, hacia el desarrollo de máquinas emocionalmente inteligentes.

A nivel internacional, existe una amplia red de investigadores trabajando en CA. Estados Unidos, Alemania, Reino Unido y Australia son algunos países con destacada presencia en el área. Comunidades online como *emotion-research.net*, asociaciones como la AAAC, revistas especializadas como el *IEEE Transactions on Affective Computing*, conferencias dedicadas al área como la *ACII*, y empresas y servicios como los señalados anteriormente, ilustran la consolidación de la CA como área de estudio interdisciplinaria.

11. <http://interaction.informatica.usach.cl/>

En el plano nacional, si bien es posible encontrar contribuciones directas al área (ej.: publicaciones de carácter científico, tesis, memorias y proyectos de título), hay poca evidencia de proyectos de investigación y productos derivados de los mismos con visibilidad internacional. En este sentido y a modo de ejemplo, se han desarrollado trabajos enmarcados en la computación afectiva en la Universidad de Santiago de Chile (Departamento de Ingeniería Informática), Universidad de Chile y Universidad Católica con aplicaciones en robótica, sistemas colaborativos, tutores

inteligentes, detección de mentiras, entre otros. No obstante, los investigadores en Chile que han desarrollado este tipo de trabajo no necesariamente consideran a la CA como su línea principal de investigación.

Si bien la computación afectiva tiene más de veinte años como área de investigación, en Chile constituye un área emergente en la que existen diversos problemas –desde lo tecnológico hasta lo ético– a la espera de ser abordados. Aún se está bastante lejos de crear máquinas capaces

de pasar una prueba de Turing ampliada, donde la comunicación entre hombre-máquina se dé en un plano natural y no solo limitado al lenguaje escrito, como se planteaba en su diseño original. En este sentido, la CA como área enfocada en crear máquinas “más humanas” a nivel afectivo, tiene mucho camino por recorrer. Por último, tal como se ha señalado anteriormente, la CA tiene un gran potencial de aplicación directa y transferencia tecnológica, lo que supone oportunidades claras de emprendimiento y crecimiento a nivel país. ■

REFERENCIAS

- [1] Arapakis, I., Konstas, I., & José, J. M. (2009, October). Using facial expressions and peripheral physiological signals as implicit indicators of topical relevance. *In Proceedings of the 17th ACM international conference on Multimedia* (pp. 461-470). ACM.
- [2] Arkin, R. C. (1992). Homeostatic control for a mobile robot: Dynamic replanning in hazardous environments. *Journal of Robotic Systems*, 9(2), 197-214.
- [3] Broekens, J., Heerink, M., & Rosendal, H. (2009). Assistive social robots in elderly care: a review. *Gerontechnology*, 8(2), 94-103.
- [4] Calvo, R. A., & D'Mello, S. (2010). Affect detection: An interdisciplinary review of models, methods, and their applications. *IEEE Transactions on affective computing*, 1(1), 18-37.
- [5] Christy, T., & Kuncheva, L. I. (2014). Technological advancements in affective gaming: A historical survey. *GSTF Journal on Computing (JoC)*, 3(4), 32.
- [6] Cowie, R., Douglas-Cowie, E., Tsapatsoulis, N., Votsis, G., Kollias, S., Fellenz, W., & Taylor, J. G. (2001). Emotion recognition in human-computer interaction. *IEEE Signal processing magazine*, 18(1), 32-80.
- [7] Damasio, A. R. (1994). *El error de Descartes: la razón de las emociones*. Andrés Bello.
- [8] D Mello, S., Jackson, T., Craig, S., Morgan, B., Chipman, P., White, H., ... & Graesser, A. (2008). AutoTutor detects and responds to learners affective and cognitive states. In *Workshop on emotional and cognitive issues at the international conference on intelligent tutoring systems* (pp. 306-308).
- [9] Ekman, P., Friesen, W. V., & Ellsworth, P. (2013). *Emotion in the human face: Guidelines for research and an integration of findings*. Elsevier.
- [10] Fong, T., Nourbakhsh, I., & Dautenhahn, K. (2003). A survey of socially interactive robots. *Robotics and autonomous systems*, 42(3), 143-166. Gardner, H., & Gardner, H. (1994). *Estructuras de la mente: la teoría de las inteligencias múltiples* (No. 159.928. 22). Fondo de Cultura Económica.
- [11] González-Ibáñez, R. (2006). Evaluación de la Integración del Darse-Cuenta Emocional en una Aplicación Colaborativa. Tesis de Magíster, Universidad de Santiago de Chile. Santiago, Chile.
- [12] González-Ibáñez, R., Muresan, S., & Wacholder, N. (2011). Identifying sarcasm in Twitter: a closer look. In *Proceedings of the 49th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies: short papers-Volume 2* (pp. 581-586). Association for Computational Linguistics.
- [13] González-Ibáñez, R., Bonacic, C., & Fernández, A. (2015). A real time web observatory for cycling safety: A tool for supporting research and decision making of people and organizations. In *Proceedings of the 78th ASIS&T Annual Meeting*, 52(1), 1-4.
- [14] González-Ibáñez, R., & Shah, C. (2016). Using affective signals as implicit indicators of information relevance and information processing strategies. In *Proceedings of the 79th ASIS&T Annual Meeting*, 53(1), 1-10.
- [15] Picard, R. W (1997). *Affective Computing*. Cambridge, MA: The MIT press.
- [16] Sariyanidi, E., Gunes, H., & Cavallaro, A. (2015). Automatic analysis of facial affect: A survey of registration, representation, and recognition. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 37(6), 1113-1133.
- [17] Seligman, M.E.P., & Csikszentmihalyi, M. (2014). *Positive psychology: An introduction*. Springer Netherlands, 2014.
- [18] Turing, A. M. (1950). Computing machinery and intelligence. *Mind*, 59(236), 433-460.
- [19] Zeng, Z., Pantic, M., Roisman, G. I., & Huang, T. S. (2009). A survey of affect recognition methods: Audio, visual, and spontaneous expressions. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 31(1), 39-58.

ENTREVISTA A:

RODRIGO ALONSO

Por Jorge Pérez

CIENCIA DE LA COMPUTACION

ECOSISTEMA
TECNOLOGICO

fcfm

STARTUP

Silicon Valley

innovación

CCO





RODRIGO ALONSO

Rodrigo Alonso es Ingeniero Civil en Computación y Magister en Ciencias mención Computación de la Universidad de Chile. Actualmente se encuentra trabajando en una empresa en Menlo Park, California, Estados Unidos. Le hicimos unas preguntas para saber su opinión del mundo laboral en Estados Unidos, qué hace un ingeniero típico en Silicon Valley, y también conocer su opinión acerca de los ingenieros chilenos y cómo nuestro país podría generar un ecosistema tecnológico de punta.

Cuéntanos Rodrigo, ¿de qué se trata la empresa donde trabajas y cuál es el trabajo típico que te toca a ti día a día?

Estoy trabajando en Sudo (<https://www.sudo.ai/>). Somos una startup de nueve personas y estamos creando un producto para departamentos de ventas. El producto incluye un asistente virtual llamado Sudo. Lo que hacemos es simplificar la vida de los vendedores usando herramientas de Procesamiento de Lenguaje Natural (NLP) para recopilar datos de correos electrónicos y llamadas que realizan los vendedores con los clientes, además de datos de mensajes de chat que los vendedores tienen con Sudo. Esto hace más fácil la vida de los vendedores y también significa que las personas a cargo tienen información más completa para administrar y tomar decisiones.

En el día a día, trabajo en varias cosas específicas como implementar y evaluar algoritmos de NLP, generando conjuntos de datos para un modelo particular por ejemplo etiquetando datos, o buscando casos borde. También escribo tests y arreglo el código además de participar en reuniones donde discutimos cómo debe ser el producto, tanto a gran escala como en detalle, por ejemplo la experiencia de usuario en algún aspecto particular.

¿Qué crees que es lo que mejor que te ha entregado tus estudios en Chile, en particular en el Departamento de Computación de la Universidad de Chile (DCC), en cuanto a la formación profesional y en tu formación en general?

Creo que el DCC me ayudó a formar un pensamiento analítico, en especial en los cursos de Algoritmos y de Complejidad Computacional; algo de lo que vi en este último grupo de cursos me ha servido para entender mejor la lógica detrás de algunas herramientas de NLP. También mencionaría los talleres de programación donde pude aplicar con extrema frecuencia lo visto en Algoritmos. También me gustaron mucho otros cursos, como Programación de Software de Sistemas o Sistemas Operativos, pero no he tenido la necesidad de implementar nada relacionado con sincronización de threads y/o procesos, aunque sí es algo importante también. En Sudo hay módulos relacionados con esto que estaban antes de que llegara y que por suerte no han fallado.

En tu experiencia trabajando en Estados Unidos ¿cómo comparas la calidad técnica de un ingeniero recién egresado de Chile y uno de otro lugar del mundo?

No he interactuado mucho con otros recién egresados, pero hablando con otras personas de más experiencia, creo que la calidad técnica es tan buena como la de egresados de otros lugares. No siento que tengamos desventajas, de hecho mi impresión es que lo que aprendemos sobre Linux, por ejemplo, es más de lo que sabe un recién egresado de Ingeniería en Computación acá.

Entiendo que en tu trabajo ser un buen programador, es algo fundamental. ¿Cómo comparas esto con la visión que a veces se tiene en Chile de que un programador es alguien más bien técnico, no "ingeniero"?

Creo que para ser un buen programador es importante tener nociones de algoritmos, patrones de diseño e ingeniería de software. Esto no significa que alguien que no estudió ingeniería no las pueda adquirir, pero sí puede ser más lento y complicado. Tener código que sea entendible, que pueda probarse de forma sencilla y que permita detectar errores temprano son herramientas clave en especial cuando queremos desarrollar rápido. Por otro lado, hay otros campos más específicos que deberían fomentarse más, como análisis de datos y aprendizaje de máquinas, en los que tener algo de conocimiento y ojalá experiencia es muy positivo.

Me ha tocado hacer entrevistas de nuevos postulantes, y conversando con otros entrevistadores, he aprendido que si bien se intenta evaluar un poco de patrones de diseño e ingeniería de software en general, aparte de la motivación y la buena comunicación, diría que el tema de algoritmos es una de las partes más determinantes al tomar la decisión de contratar o no.

En una línea similar, ¿qué crees que debiera pasar en Chile para que haya una masa crítica más grande de empresas de alta tecnología, en particular, de alta tecnología computacional?

Esto es súper complicado, un poco el problema del huevo y la gallina. Se necesitan incentivos para que las startups empiecen y para que la gente llegue. Silicon Valley se llena de startups porque aquí hay muchos inversionistas y porque el mercado es grande. Es necesario tener una fuente de ingresos inicial (ya sean capitales de riesgo privados o el estado) porque para empezar una empresa necesitas dinero. Si bien la infraestructura para una startup que piensa vender un producto computacional puede no ser tan cara, el costo por horas de trabajo de personas sí lo será. El mercado tiene que ser grande porque eventualmente la startup se tiene que sustentar y generar ingresos.

También es importante persuadir a gente talentosa para que llegue a trabajar a estas empresas, y hay varios motivos por los que alguien podría ir a trabajar a Chile, por ejemplo la estabilidad del país, los ingresos, la posibilidad de crecer profesionalmente, etc. Este último punto creo que depende de qué haga la startup y de cuáles son los intereses de los futuros talentos, pero de todas formas son factores que se tienen que considerar.

Finalmente ¿qué consejo le darías a los alumnos que ahora están en la Universidad y que quieran buscar trabajo en una compañía de alta tecnología fuera de Chile?

Un consejo inicial es preparar muy bien las entrevistas. Para eso, hay que estudiar muchos algoritmos y desarrollar el pensamiento analítico. Esto no solo ayuda en las entrevistas, a la larga son herramientas que si bien uno no usa todo el tiempo, de vez en cuando aparecen problemas donde es necesario usarlas. También es bueno practicar el formato de entrevista, hay miles de preguntas de entrevistas en Internet, y hacerlo ayuda a acostumbrarse al formato, a enfrentar los nervios y a que la entrevista sea fluida. Por último, conocer la empresa donde uno está postulando: qué hacen, qué problemas tienen. Eso puede ayudar en las entrevistas (uno quiere contratar a alguien comprometido con la empresa, después de todo) y puede servir para saber qué habilidades está buscando esa empresa particular. ■

DOCTORADOS DEL DCC



HÉCTOR FERRADA



Mi trabajo de Doctorado se enmarca en el campo de Document Retrieval (DR), el cuál se enfoca en el diseño de representaciones de conjuntos de textos (documentos), que usualmente son un gran número, a fin de responder en tiempo real y rápidamente a consultas por documentos. En esta área el principal objetivo es que las soluciones puedan llevarse a cabo sobre estructuras que respondan más rápido y/o requieran de menos espacio en memoria principal que lo obtenido por las soluciones existentes, considerando para ello tanto la teoría como la práctica.

Mi trabajo de tesis considera al menos con la misma relevancia que el dado por DR al tiempo de respuesta de la consulta, que el espacio en memoria principal de la estructura final resulte ser tan pequeño como su cota inferior lo permita, y que idealmente su construcción también sea eficiente en los mismos términos de espacio y tiempo. Dentro de este marco general, abordamos el caso cuando los documentos provienen de una gran colección de textos arbitrarios. Este escenario ocurre con colecciones de secuencias biológicas y repositorios de software, entre otros. Existen varias estructuras de datos comprimidas para DR para hacer frente a este problema. Sin embargo, en la práctica las propuestas con el mejor rendimiento en tiempo requieren de demasiado espacio adicional con respecto al mínimo teórico conocido.

Las principales contribuciones de mi tesis fueron las siguientes: (1) construimos índices para DR en base a la compresión Lempel-Ziv 1978 en lugar del clásico arreglo de sufijos; (2) manipulamos colecciones altamente repetitivas en base a la compresión Lempel-Ziv 1977; (3) iniciamos un estudio para entregar respuestas aproximadas a problemas de DR. Como

principales resultados obtenidos destacan nuestros índices para DR basados en la compresión Lempel-Ziv, siendo las primeras propuestas en incorporar estos esquemas de compresión al campo de DR. Nuestras estructuras resuelven los dos problemas fundamentales en este campo: Document Listing (DL) y Top-k Document Retrieval (Top-k). Por otro lado, ofrecemos estructuras que entregan respuestas aproximadas a dichos problemas, ahorrando considerable espacio y/o tiempo comparado con cualquier otra estructura que entregue una respuesta completa a alguno de estos problemas. Finalmente, ofrecemos también contribuciones en indexación de texto y la mejor implementación existente para consultas de valores mínimos en rangos (Range Minimum Queries).

Los inicios de mi estadia en el Doctorado no fueron fáciles. En primer lugar, tuve que lidiar con el problema de descubrir mi área de investigación. Me involucré en diversos cursos para ver en qué podría trabajar, hasta que finalmente comencé a trabajar con el Profesor Dr. Gonzalo Navarro en el área de Algoritmos. Además, siempre tuve muchos problemas con el inglés, lo cual me paso la cuenta en el DCC. También venía de trabajar ya más de cuatro años en la industria, lo que creo que me sacó del ritmo de estudios que tenía en pregrado. Otro gran desafío fue el desarrollar habilidades para investigar; por ejemplo, cómo desarrollar bien una idea novedosa. Es decir, primeramente que ésta madure lo suficiente (y en poco tiempo) como para redactarla, defenderla y presentarla a fin de convencer a otros que ésta vale la pena y así continuar con su desarrollo y posible implementación. Además se requiere de gran capacidad, estudios y práctica para lograr redactar adecuadamente una nota científica que seduzca al lector.

Actualmente me encuentro realizando un Postdoctorado en Finlandia, en la Universidad de Helsinki, en el grupo de Genome-Scale Algorithmics. Estaré en ese trabajo hasta fines del 2017 y después de eso quisiera ejercer en mi país. ■



IMAGEN 1.
HÉCTOR FERRADA (AL CENTRO) JUNTO A SU COMISIÓN EVALUADORA. DE IZQUIERDA A DERECHA, PROFESORES: CLAUDIO GUTIÉRREZ, DIEGO ARROYUELO, GONZALO NAVARRO Y BENJAMÍN BUSTOS.

CRISTÓBAL NAVARRO



Soy Ingeniero Civil en Informática de la Universidad Austral de Chile y recientemente Doctor en Ciencias de la Computación del Departamento de Ciencias de la Computación (DCC) de la Universidad de Chile. Mi supervisor de Doctorado en el DCC fue la Profesora Nancy Hitschfeld del DCC, con quien trabajé en el problema de cómo acelerar algoritmos geométricos usando procesamiento por GPU. La experiencia de trabajar con la profesora Nancy fue totalmente gratificante, lo cual me dejó motivado para seguir el camino de la investigación. Durante 2011 comencé además a trabajar en temas de investigación interdisciplinaria de física computacional con el Dr. Fabrizio Canfora.

Me gustaría decir que escogí el DCC para realizar mi Doctorado no solo por su excelente nivel orientado a la investigación en Ciencias de la Computación, sino también por la calidad humana de los académicos, secretarías y técnicos. Es sabido que ir a otra ciudad a hacer un postgrado es un desafío en varios aspectos, sin embargo la Universidad y los amigos que hice me hicieron sentir como en casa. Mi estadía en el DCC fue un período de crecimiento académico y personal que requirió de mucha dedicación y una actitud perseverante. Pude formar fuertes lazos de amistad con compañeros de distintos países, así como conocer nuevos colegas, lugares y culturas de otros países.

Mi tesis de Doctorado corresponde a una investigación interdisciplinaria que combina el área de algoritmos paralelos con modelos de *spin* de la física teórica. Un modelo de spin es un modelo matemático que comenzó siendo usado para entender el comportamiento magnético y termodinámico de un sistema de partículas (spins) fijas que interactúan energética-

mente entre ellas en base a una definición microscópica del sistema. Todo esto queda bien representado por un grafo, donde los vértices corresponden a estados y los arcos representan las interacciones. Hoy en día, se sabe que los modelos de spin no son importantes solo en física, sino también pueden modelar problemas de optimización, crecimiento celular o incluso comportamiento de redes sociales. En particular, dado un grafo donde las interacciones pueden ser definidas por un Hamiltoniano, es posible obtener características a nivel general que no son triviales de predecir.

Mi tesis propone dos algoritmos paralelos para acelerar el estudio de modelos de spin. El primero es un algoritmo paralelo exacto que aprovecha ciertas simetrías que emergen en el espacio de configuraciones, pudiendo así procesar múltiples elementos por el costo de uno, y al mismo tiempo realizar este proceso en paralelo. El segundo algoritmo propuesto es un algoritmo Monte Carlo paralelo que acelera la convergencia de los cálculos utilizando un método adaptativo. La principal ventaja del algoritmo es que ajusta de forma dinámica los parámetros sobre cada grafo para así poder realizar una simulación más eficiente en paralelo. Ambos resultados brindan mejoras notorias en rendimiento, abriendo la posibilidad de poder estudiar grafos más complejos y de mayor tamaño.

Desde marzo de 2016 soy académico de la Universidad Austral de Chile, en Valdivia. La mitad del tiempo avanzo en un proyecto de postdoctorado Fondecyt y la otra mitad me dedico a hacer docencia en cursos relacionados con algoritmos paralelos y computación gráfica. Mi plan académico a futuro es quedarme en Valdivia, seguir avanzando en mi postdoctorado, y realizar estancias en el extranjero para formar nuevos vínculos de investigación. En el futuro trataré de transmitir a mis estudiantes el gusto por la investigación, ayudando así a impulsar la Ciencia de la Computación en el sur de Chile. ■



IMAGEN 2.

CRISTÓBAL NAVARRO (AL CENTRO) JUNTO A SU COMISIÓN EVALUADORA. DE IZQUIERDA A DERECHA, PROFESORES: ROMAIN ROBRES, FABRIZIO CANFORA, NANCY HITSCHFELD, GONZALO NAVARRO Y RODRIGO SOTO.

MIGUEL ROMERO



Finalicé mi Doctorado en el Departamento de Ciencias de la Computación (DCC) de la Universidad de Chile, en agosto de 2016 bajo la supervisión del Profesor Pablo Barceló. Desde el comienzo recibí el apoyo de mi supervisor en todo sentido. Cada vez que quería discutir alguna idea, podía ir a su oficina y él se daba el tiempo para conversar. Además me ayudó a hacer contactos con investigadores extranjeros,

lo cual me permitió realizar varias pasantías de investigación. Esto fue fundamental para el desarrollo de mi tesis, ya que ésta se basó en varias ideas que nacieron de estas colaboraciones. También me gustaría destacar la gran calidad humana de mis compañeros, de todo el cuerpo docente y del cuerpo administrativo del DCC, los cuales hicieron que toda esta experiencia fuera realmente excelente.

Mi tesis se enmarcó en el área de bases de datos de grafos, la cual ha ganado mucha relevancia hoy en día debido a aplicaciones como la Web Semántica o las redes sociales. Nuestro foco fue estudiar la complejidad de dos lenguajes fundamentales para grafos: las *Unions of Conjunctive two-*

way Regular Path Queries (UC2RPOs) y las *Regular Queries* (RQs), las cuales han sido propuestas recientemente como una extensión natural de las UC2RPOs.

Nuestra principal contribución fue obtener nuevos algoritmos para el problema de evaluación y contención de estos lenguajes. En particular, definimos restricciones de UC2RPOs que se pueden evaluar más eficientemente que el caso general (evaluar UC2RPOs es NP-completo en general, y luego computacionalmente intratable). También demostramos que la complejidad de contención (o implicancia lógica) de RQs no es significativamente más alta que la del caso de las UC2RPOs. Esto último muestra que las RQs alcanzan un buen balance entre expresividad y complejidad.

Después de mi Doctorado, en el segundo semestre de 2016, realicé una estadía de investigación en el Simons Institute for the Theory of Computing, en la Universidad de Berkeley. Estuve asociado al programa "Logical Structures in Computation". Esta estadía fue muy positiva para ampliar mis conocimientos en lógica computacional y para conectarme con investigadores de todo el mundo. Actualmente estoy realizando un postdoctorado en la Universidad de Oxford bajo la supervisión de Standa Zivny en el área de satisfacción de restricciones. ■



IMAGEN 3.
MIGUEL ROMERO (AL CENTRO) JUNTO A SU COMISIÓN EVALUADORA. DE IZQUIERDA A DERECHA, PROFESORES: GONZALO NAVARRO, JORGE PÉREZ, PABLO BARCELÓ Y AIDAN HOGAN.

Postgrado y Educación Continua en el DCC

Doctorado en Computación
Magíster en Ciencias mención Computación

estudios@dcc.uchile.cl
Tel.: 22 978 4891

Magíster en Tecnologías de la Información
(vespertino)

pec@dcc.uchile.cl
Tel.: 22 978 4965

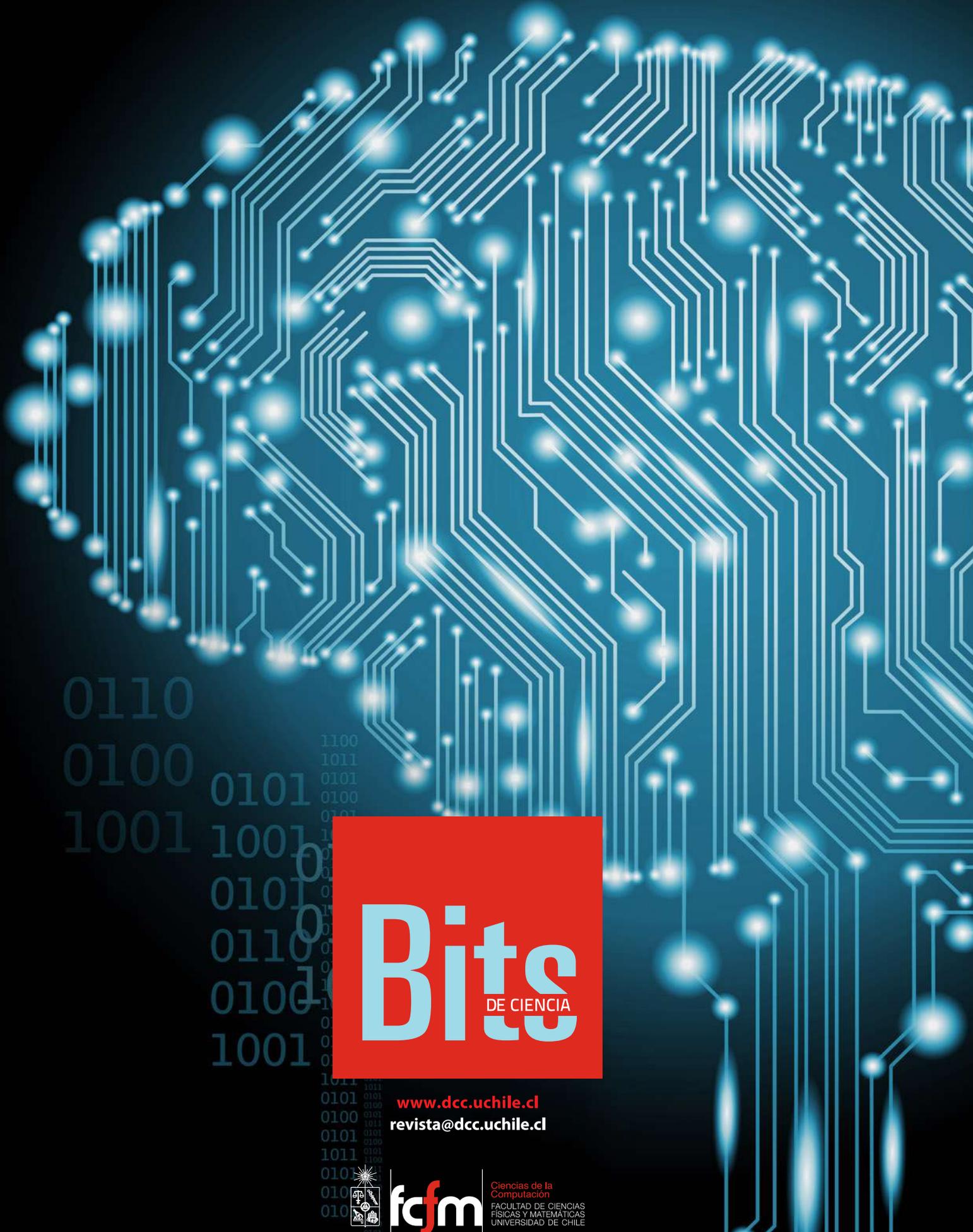
Diplomas de Postítulo

- Calidad de Software
- Ciencia e Ingeniería de Datos
- Gestión de Proyectos Informáticos
- Ingeniería de Software
- Ingeniería y Calidad de Software
- Seguridad Computacional
- Tecnologías de la Información

pec@dcc.uchile.cl
Tel.: 22 978 4965

Programas Corporativos

Cursos que se adaptan a las necesidades de su empresa



Bits

DE CIENCIA

www.dcc.uchile.cl

revista@dcc.uchile.cl



fcfm

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