

Especial: NIC Chile celebró el
medio millón de dominios .CL



fcfm

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

14

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

Bits

DE CIENCIA

SEGUNDO SEMESTRE 2016

EN LAS REDES DE CHILE

LA RED SISMOLÓGICA NACIONAL

| Sergio Barrientos

CONOCIMIENTO CLIMÁTICO Y REDES
DE DATOS METEOROLÓGICOS

¿POR QUÉ NECESITAMOS MONITOREAR EL CLIMA?

| Francisca Muñoz

REDES DE SENSORES Y SISTEMAS CIBERFÍSICOS
AL SERVICIO DE SISTEMAS DE TRANSPORTE
INTELIGENTE

| Sandra Céspedes

IPv6

UN DESAFÍO PENDIENTE PARA
CHILE

| Eduardo Mercader

EL CORTE DE SHAKARIAN

| Ivana Bachmann, Javier Bustos

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
PERIODISTAS

Karin Riquelme

Marta Apablaza

DISEÑO

Puracomunicación

FOTOGRAFÍAS E IMÁGENES

Comunicaciones DCC

Comunicaciones FCFM

Comunicaciones NIC Chile

Mauricio Quezada

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°14

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

ESPECIAL CEREMONIA NIC CHILE



02 NIC CHILE CELEBRÓ EL MEDIO MILLÓN DE DOMINIOS .CL

INVESTIGACIÓN DESTACADA



06 DESCUBRIMIENTO DE LÍNEAS DE PROCESOS

| Jocelyn Simmonds

COMPUTACIÓN Y SOCIEDAD



12 LA HORA DEL CÓDIGO

| Camilo Garrido
| Mauricio Quezada

18 EL FIN DE MOORE Y EL SOFTWARE

| José Miguel Piquer

20 HISTÓRICA REUNIÓN DE ICANN EN MARRAKECH

| Patricio Poblete

EN LAS REDES DE CHILE



26 LA RED SISMOLOGICA NACIONAL

| Sergio Barrientos

34 CONOCIMIENTO CLIMÁTICO Y REDES DE DATOS METEOROLÓGICOS ¿POR QUÉ NECESITAMOS MONITOREAR EL CLIMA?

| Francisca Muñoz

42 REDES DE SENSORES Y SISTEMAS CIBERFÍSICOS AL SERVICIO DE SISTEMAS DE TRANSPORTE INTELIGENTE

| Sandra Céspedes

48 IPV6 UN DESAFÍO PENDIENTE PARA CHILE

| Eduardo Mercader

52 EL CORTE DE SHAKARIAN

| Ivana Bachmann
| Javier Bustos

CONVERSACIONES

58 ENTREVISTA A JOSÉ MIGUEL PIQUER

| Por Patricio Poblete

64 ENTREVISTA A PATRICIO POBLETE

| Por José Miguel Piquer

DOCTORADOS DEL DCC



68

| Violeta Chang
| Pedro Rodríguez
| Carlos Bedregal

Fue en 1987 que el DCC de la Universidad de Chile comenzó a administrar la lista de dominios .CL, y en 1997 que esto empezó a realizarse bajo el nombre de NIC Chile. Debido a la creciente demanda que el servicio presentaba en ese entonces, además de los incipientes conflictos por nombres de dominio, esto fue más que un simple cambio de nombre e incluyó, entre otros, un sistema de resolución de controversias basado en arbitraje, y una reglamentación escrita para regular el funcionamiento del sistema.

A casi 20 años de tal acontecimiento, NIC Chile se ha convertido en un referente a nivel latinoamericano en temas de administración de dominios. Un ejemplo de aquello es que más de un 90% de los dominios inscritos en Chile se halla bajo el dominio .CL (lo que constituye una excepción a nivel mundial, donde predominan los dominios genéricos como .COM). Recientemente, además, NIC alcanzó los 500.000 dominios inscritos, un hito en su historia que fue reconocido a través de una ceremonia en la FCFM. Hemos querido hacernos parte de este hito iniciando esta edición de la Bits con una breve reseña de tal actividad.

Al mismo tiempo, dos académicos del DCC –que han sido parte integral de la historia del NIC– fueron recientemente reconocidos con importantes premios a nivel nacional. Nos referimos a José Miguel Piquer, quien recibió el Premio Nacional de Telecomunicaciones, y Patricio Poblete, galardonado con los premios “Raúl Devés Jullian”, del Instituto de Ingenieros de Chile, y el premio de la Sociedad Chilena de Educación en Ingeniería (SOCHEDI). Ambos conversan extensamente en nuestra sección de “Entrevistas”, explayándose no solo sobre el contexto de estos premios, sino sobre sus carreras y visiones de futuro.

Siendo NIC uno de los referentes de esta edición de la Bits, decidimos que sería bueno dedicar nuestra sección principal precisamente al tema de Redes y Conectividad en Chile. Tal sección incluye artículos de:

- Sergio Barrientos, Director del Centro Sísmológico Nacional, sobre la red de observación sísmica de nuestro país.
- Francisca Muñoz, Ingeniera de Datos del Centro del Clima y la Resiliencia, (CR)2, acerca del monitoreo del clima a nivel nacional.
- Sandra Céspedes, académica del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la FCFM, sobre redes de transporte inteligente.
- Eduardo Mercader, Ingeniero de NIC Chile, acerca de la adopción del protocolo IPV6.
- Javier Bustos e Ivana Bachmann sobre las nociones de resiliencia y su aplicación al estudio de la infraestructura del Internet chileno.

Contamos, además con nuestras secciones tradicionales:

- En Investigación Destacada, la académica Jocelyn Simmonds nos cuenta sobre su investigación en descubrimiento de líneas de proceso de software.
- En Computación y Sociedad, los alumnos de doctorado Camilo Garrido y Mauricio Quezada nos cuentan acerca de la muy interesante iniciativa “La Hora Del Código” que busca incentivar el desarrollo del pensamiento computacional a nivel escolar.
- En la misma sección, José Miguel Piquer nos relata su visión sobre el software y su relación con la Ley de Moore, mientras Patricio Poblete nos cuenta de una importante reciente reunión de ICANN, en la que se decidió el corte de amarras de la Internet con el Gobierno de Estados Unidos.

Finalmente, incluimos una nueva sección en la que nuestros recientes graduados del Programa de Doctorado hablan acerca de su trabajo, su experiencia en el DCC, y sus proyecciones académicas y laborales.

Los invitamos a leer esta nueva edición de nuestra revista. Como siempre quedamos a disposición de sus comentarios y consultas en revista@dcc.uchile.cl.

PABLO BARCELÓ

Editor General

Revista Bits de Ciencia



NIC CHILE CELEBRÓ EL MEDIO MILLÓN DE DOMINIOS .CL

La entidad conmemoró este hito en una ceremonia en la que repasó su historia y evolución, destacando el trabajo realizado en el desarrollo de la Internet en Chile.

Ya son 500.000
los nombres de
dominio .CL



En marzo pasado, el registro de nombres de dominio .CL, NIC Chile, alcanzó el medio millón de dominios inscritos. Se trata de un hito en la historia del desarrollo de la Internet en nuestro país, que fue reconocido en una ceremonia realizada el 28 de abril en el auditorio Enrique d'Etigny de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas (FCFM) de la Universidad de Chile.

Participaron en este acto el Decano de la FCFM, Prof. Patricio Aceituno, el Director y fundador de NIC Chile, Prof. Patricio Poblete, además de integrantes de NIC Chile, representantes de la comunidad académica, instituciones públicas y privadas, y emprendedores que han desarrollado su identidad digital asociada a un nombre .CL.

Cabe destacar que NIC Chile es un servicio prestado a la comunidad por el Departamento de Ciencias de la Computación (DCC) de la FCFM, siendo el encargado de administrar el registro de nombres de dominio .CL, y de operar la tecnología que permite que estos nombres funcionen de manera eficiente y segura.

Durante la ceremonia, el Prof. Patricio Poblete realizó un recorrido por la historia y evolución de NIC Chile: *"Partimos muy temprano dentro de la historia de los sistemas de nombres dominio, en 1987, con muy pocos dominios. Sin embargo, diez años después, ya teníamos mil dominios registrados. Ciertamente en ese grupo había muchas entidades que por vez primera estaban reconociendo la importancia que esto tenía, y estaban empezando a tener una identidad digital en Internet"*, dijo el académico. El Prof. Poblete también indicó que históricamente el crecimiento del registro de nombres ha estado cerca del 40% anual.

En tanto, el Decano de la FCFM Prof. Patricio Aceituno destacó el trabajo que ha realizado NIC Chile: *"Hace 30 años no era parte del discurso la innovación y el emprendimiento, pero este grupo de la Facultad ya lo tenía entonces. Los felicitamos porque son un ejemplo de trabajo bien hecho"*, afirmó la máxima autoridad.

IAS CLAVES DEL ÉXITO

En su presentación, el Prof. Patricio Poblete se refirió a los factores que han contribuido a alcanzar el medio millón de nombres de dominio inscritos. *"De partida, tenemos una preocupación constante por entregar un buen servicio a los usuarios, lo cual incluye que dentro de nuestro sitio web sea fácil inscribir y renovar nombres de dominio. Detrás de*

esto hay un sistema que está de acuerdo a los estándares vigentes de la industria", afirmó el académico.

Destacó también el sistema de resolución de controversias, el que recientemente ha tenido una actualización importante, siendo hoy un sistema en línea que ha llevado a NIC Chile a ser pionero en esta materia, realizando así un aporte también a la comunidad jurídica chilena.

Otro aspecto que destacó, es el funcionamiento técnico: *"Nuestro principal trabajo es hacer que esos dominios funcionen; que cuando en cualquier lugar del planeta alguien utilice un nombre .CL, eso se pueda traducir en la respectiva dirección IP de manera rápida y confiable. Para eso tenemos una red de servidores distribuidos por todo el planeta, que nos asegura una redundancia que nos da confiabilidad"*, explicó el Prof. Poblete.

Agregó que se han incorporado mejoras que robustecen el trabajo técnico de NIC Chile, como DNSSEC, extensiones de seguridad para DNS, e IP versión 6 (IPv6), destacando sobre éste último que han participado en todas las iniciativas dedicadas a impulsar, promover y educar a la comunidad respecto a la adopción de este protocolo.

Asimismo, se refirió al vínculo con la comunidad que hoy se refleja en instancias como el Laboratorio de Investigación NIC Labs, que ha hecho aportes importantes al país; por ejemplo, en la medición de calidad de servicios de Internet. Otra instancia es la participación en el Consejo de Nombres de Dominio y Números IP, *"que nos da la oportunidad de validar nuestras políticas y nuestras reglas, y de asegurarnos que lo que hagamos de alguna manera cuenta con el respaldo de la comunidad no sólo nacional sino también internacional. Estamos en un contexto en que parte importante de lo que hacemos es vincularnos con todas aquellas entidades internacionales que son relevantes como ICANN, LACTLD, LACNIC e Internet Society, entre otras"*.

Finalmente, el Prof. Patricio Poblete concluyó su intervención agradeciendo tanto al equipo de trabajo de NIC Chile, como a los usuarios: *"Lo que hacemos como NIC Chile es permitir que funcione todo esto, pero quienes realmente impulsan y son el motor, son nuestros usuarios. Ellos son los que concretan sus sueños en Internet inscribiendo los nombres de dominio"*. Tras sus palabras, se presentó un video en el que se recogieron testimonios de casos destacados de uso de nombres de dominio .CL. ■

Texto: Comunicaciones DCC.





500.000 dominios .Cl



Integrantes de NIC Chile celebraron este importante hito del Internet nacional junto a autoridades de la Universidad de Chile, de la FCFM y del DCC, además de personas y representantes de empresas que han desarrollado su identidad digital en torno a un nombre de dominio .CL.

DESCUBRI- MIENTO DE LÍNEAS DE PROCESOS





JOCelynSIMMONDS

Jocelyn Simmonds Profesora Asistente Departamento de Ciencias de la Computación, Universidad de Chile. Doctora en Computer Science, University of Toronto, Canadá; Master of Science en Computer Science, Vrije Universiteit Brussel, Bélgica y École Des Mines de Nantes, Francia. Líneas de investigación: Análisis y Diseño de Software, en especial aplicaciones Web y móviles; Validación y Verificación de Sistemas; Educación Apoyada con Tecnología, y cómo atraer mujeres a Ingeniería y Ciencias.
jsimmond@dcc.uchile.cl

ESTE TRABAJO [10] FUE REALIZADO EN CONJUNTO CON FABIÁN ROJAS BLUM, ALUMNO DE DOCTORADO DEL DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN (DCC) DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE, Y CON CECILIA BASTARRICA, PROFESORA DEL DCC DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE.

Una familia de procesos de software es el conjunto de todos los procesos que una empresa de desarrollo de software sigue. Una empresa puede mantener una familia predefinida de procesos, eligiendo la variante que mejor se aplica para cada proyecto, pero este enfoque tiene problemas de coevolución. Otra posibilidad es definir una línea de proceso de software (SPrL por su acrónimo en inglés): una línea de productos en el dominio de los procesos de desarrollo de software. Para crear una SPrL, la empresa debe definir los elementos comunes de los procesos que se siguen en el día a día, identificando los elementos variables y estableciendo un mecanismo sistemático para generar un proceso a la medida para cada proyecto. Este enfoque permite adaptar el proceso en forma replicable, pero tiene la desventaja de que es caro formalizar una SPrL, requiriendo personal especializado. Para abordar esta problemática, hemos propuesto el *v-algorithm*, que analiza los registros de eventos de proyectos ejecutados por la empresa para identificar los elementos comunes y variables de los procesos aplicados, descubriendo así una línea de procesos.

INTRODUCCIÓN

Las empresas de desarrollo que cuentan con un proceso definido pueden analizar, monitorear, medir y mejorar sus procesos de desarrollo de software [7]. Mas aún, si formalizan sus procesos, pueden automatizar algunas actividades y así reducir el esfuerzo general de desarrollo. El uso de herramientas además facilita la captura de métricas, que son la base para la mejora dinámica del proceso. Formalizar un proceso de software requiere trabajo, y el proceso resultante no siempre se puede usar tal como está definido, dado que los proyectos que desarrolla una empresa tienen diferentes características (proyecto pequeño versus grande, simple versus complejo, uso de tecnología conocida versus desconocida, etc.). O sea, el proceso formalizado debe ser “adaptado” antes de que pueda ser utilizado para guiar un nuevo proyecto [1].

El conjunto de los procesos seguidos por una empresa es una familia de procesos de software. Las empresas pueden mantener una familia de procesos predefinidos, eligiendo para cada proyecto el proceso que mejor se ajusta al proyecto a desarrollar. Este enfoque tiene problemas de coevolución [3]. Por ejemplo, si en un proceso de la familia cambia la forma en que se toman requerimientos, ¿entonces esta actividad debe cambiar en todos los procesos de la familia? Otra opción es definir una línea de proceso de software (SPrL) donde se define un proceso base común con ciertos puntos de variabilidad, como también un mecanismo sistemático para generar un proceso a la medida para cada proyecto [6, 9].

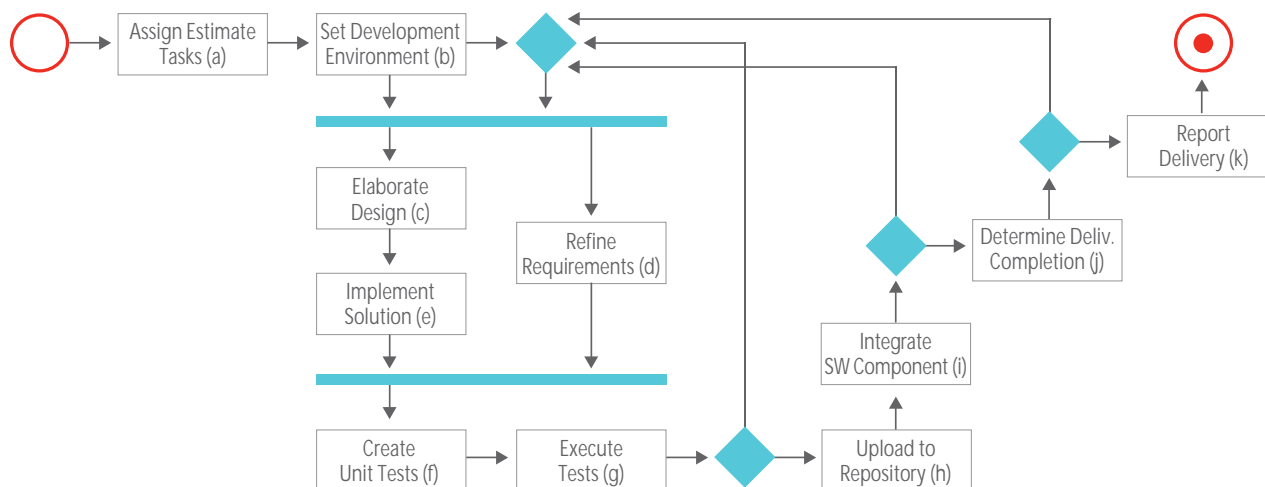


FIGURA 1.
DIAGRAMA DE ACTIVIDAD DEL PROCESO DE DESARROLLO DE MOBIUS (PARCIAL).

En los proyectos Fondef ADAPTE y GEMS hemos seguido un enfoque en base a modelos (MDE por su acrónimo en inglés) para la definición de SPRLs [4], lo que permite automatizar el proceso de adaptación. Como parte de estos proyectos, hemos ayudado a siete pequeñas y medianas empresas chilenas a formalizar sus SPRLs: Rhiscom, KI, Amisoft, Mobius, PowerData, DTS, e Imagen. Formalizar una SPRL no es tarea fácil: solo una de las empresas pudo definir su SPRL en forma independiente. También hemos determinado que los procesos formalizados tienen pobre adopción entre los desarrolladores de la mayoría de estas empresas [2], a pesar de que los ingenieros de proceso se esforzaron para representar los procesos que realmente se aplican. El problema es que muchas veces se modela el proceso que se quiere seguir, y no el que se sigue en la práctica.

DESCUBRIENDO PROCESOS

Éste es uno de los problemas que trata de resolver el área de investigación de Minería de Procesos [12]. Las técnicas de descubrimiento de procesos

intentan construir de forma automática un modelo de proceso que describe el comportamiento que se observa en un registro de eventos. En el caso de procesos de software, este registro contiene información acerca del inicio y fin de las distintas actividades de desarrollo. La Figura 1 muestra una parte del proceso de desarrollo de la empresa Mobius, y en el Cuadro 1 se muestra el resumen de un registro de eventos de este proceso para varios proyectos, donde se indica la frecuencia con que ocurre cada traza en el registro de eventos.

Id	Traza	Frecuencia
1	a, b, c, d, e, f, g, h, j, k	10
2	a, b, c, e, d, f, g, h, j, k	10
3	a, b, d, c, e, f, n, h, i, j, k	8
4	a, b, l, d, e, f, g, h, i, j, k	5
5	a, b, d, c, e, m, g, h, j, k	4
6	a, b, d, l, e, m, g, h, j, k	3
7	a, b, d, l, e, f, n, h, j, k	3
8	a, b, l, e, d, m, n, c, e, d, m, n, k	3
9	a, b, c, e, d, f, g, h, o, j, k	2
10	a, b, c, d, f, n, h, k	1
11	a, b, c, e, d, f, k	1

CUADRO 1.
REGISTRO DE EVENTOS DEL PROCESO DE DESARROLLO DE MOBIUS (PARCIAL).

Para extraer un modelo de proceso de un registro de eventos, se deben analizar las relaciones de orden entre las actividades que aparecen en el registro. Por ejemplo, α -algorithm [11] distingue cuatro posibles relaciones de orden entre dos actividades de un registro de eventos: 1) relación directa [$a \rightarrow_L b$]; 2) la causalidad [$a \rightarrow_L b$]; 3) posible concurrencia [$a \parallel_L b$]; y 4) sin relación directa [$a \nparallel_L b$]. Hay una relación directa entre a y b si a precede b en forma directa en alguna traza. Existe una relación de causalidad cuando hay una relación directa entre a y b , pero no entre b y a . Dos actividades son posiblemente concurrentes si hay una relación directa entre a y b , y viceversa. Por último, si no existe una relación directa entre a y b , y viceversa, se dice que estas actividades no están directamente relacionadas. Sólo una de estas relaciones es verdadera para cada par de actividades.

A partir de esta información se genera una *red de Petri* [8] que representa el comportamiento observado, analizando las relaciones para descubrir patrones de comportamiento. Por ejemplo, si 1) $b \rightarrow_L c$, 2) $b \rightarrow_L d$ y 3) $c \parallel_L d$, entonces, c o d se pueden ejecutar después de b (patrón XOR split). La Figura 2 muestra una red de Petri generada por α -algorithm para nuestro registro de eventos. Esta red tiene dos tipos de nodos: lugares y transiciones, representados con círculos y rectángulos, respectivamente. En nuestro caso,

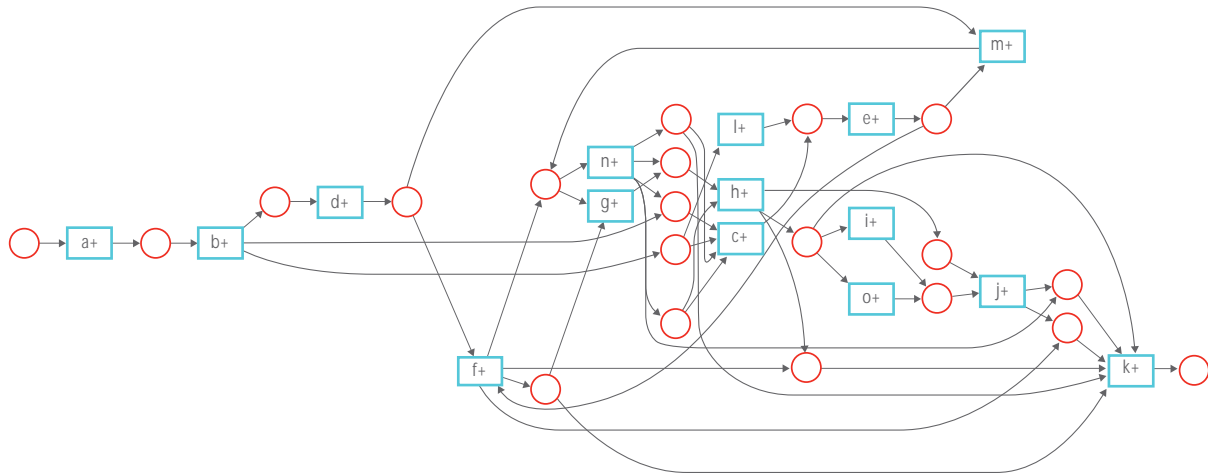


FIGURA 2.
RED DE PETRI GENERADA USANDO α -ALGORITHM.

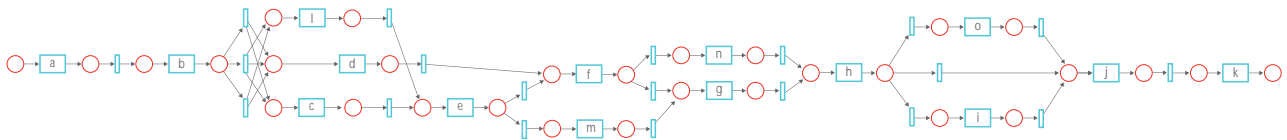


FIGURA 3.
RED DE PETRI GENERADA USANDO HEURISTIC MINER.

las transiciones representan actividades del proceso. Los arcos conectan actividades con lugares y viceversa, pero no nodos del mismo tipo. El proceso resultante es bastante complejo: esto se debe a las pequeñas diferencias que hay entre las trazas del registro de eventos.

Podemos obtener un modelo más simple introduciendo el concepto de “ruido”: en la Minería de Procesos, se define como ruido a las trazas excepcionales o de baja frecuencia que ocurren en un registro de eventos.

Por ejemplo, la técnica *Heuristic Miner* [13] le asigna pesos a las actividades, calculando una métrica que indica el grado de certeza de que exista una relación de dependencia entre dos actividades. Al construir el modelo del proceso, esta técnica descarta las dependencias que no cumplen con el umbral de corte fijado por el usuario. La Figura 3 muestra una red de Petri generada con esta técnica para nuestro registro de eventos. Este modelo es más simple que el

generado con α -algorithm. El problema es que esto es a costa de ignorar ciertos comportamientos que pueden ser importantes en un proceso. Además, al extraer un solo modelo del proceso, tampoco se pueden identificar las partes de éste que varían dependiendo de las características del proyecto a desarrollar.

DESCUBRIENDO LÍNEAS DE PROCESOS

Obtenemos un proceso más simple al descartar el ruido, pero este modelo es incompleto al ignorar comportamientos poco frecuentes o excepcionales. Podemos mitigar este problema descubriendo una línea de procesos en vez de un solo proceso. Con este fin hemos propuesto el *v-algorithm*. Este algoritmo construye un modelo del proceso general de desarrollo usando el comportamiento común y frecuente del regis-

tro de eventos, y el comportamiento un poco menos frecuente se especifica usando un modelo de variabilidad, el que está relacionado con el proceso general mediante puntos de variación.

Para lograr esto, introducimos dos umbrales (t_1 y t_2) que se usan para dividir un registro de eventos en tres grupos basados en la frecuencia de las relaciones entre actividades. El primer grupo ($f > t_1$) representa el comportamiento común y frecuente que se usa para descubrir el modelo general del proceso. El segundo grupo ($t_1 \geq f \geq t_2$) representa comportamiento poco frecuente pero relevante, por lo que debe ser incluido en el modelo de proceso. Sin embargo, esto haría que el modelo se hiciera más complejo, así que se especifica en forma separada, como un modelo de variabilidad. El último grupo ($f < t_2$) representa el comportamiento incorrecto o indeseable, o sea, lo que realmente es ruido.

El Listado 1 muestra los pasos principales del *v-algorithm*:

```

input : Event log  $L, t_1, t_2$ 
output:  $SPrL\_proc, SPrL\_var$ 
1   $M, W \leftarrow$  empty matrix
2   $frequent, variable \leftarrow$  empty list
3  foreach pair of activities  $(x, y)$  in  $L$  do
4       $M[x][y] \leftarrow TypeRelation(x, y)$ 
5       $W[x][y] \leftarrow Count(x \succ y)$ 
6      if  $W[x][y] \geq t_1$  then
7           $frequent.add((x, y))$ 
8      else if  $W[x][y] \geq t_2$  then
9           $variable.add((x, y))$ 
10 end
/* Generate base process model */
11  $SPrL\_proc \leftarrow AlphaAlgorithm(frequent)$ 
/* Generate variability model */
12  $SPrL\_var \leftarrow IdOptElements(variable)$ 
13  $SPrL\_var \leftarrow IdAltElements(variable)$ 

```

LISTADO 1. V-ALGORITHM.

Paso 1: determinar qué relación de orden se cumple para cada par de actividades del registro de eventos, y calcular la frecuencia de estas relaciones. Esta información se guarda en dos matrices: la matriz de relaciones de orden M , y la matriz de pesos de las relaciones W . En las líneas 1-2 se inicializa M y W , como también dos listas para guardar las relaciones Frecuentes (*frequent*) y Variables (*variable*). En las líneas 4-5 se calculan los elementos de M y W .

Paso 2: los umbrales t_1 y t_2 se usan para generar los grupos de relaciones frecuentes y variables, usando los valores guardados en la matriz W . Notar que las relaciones poco frecuentes (ruido) se descartan. En las líneas 6-9 se usan los umbra-

les t_1 y t_2 para clasificar las relaciones como frecuentes o variables.

Paso 3: una vez clasificadas las relaciones del registro de eventos, se aplica algún algoritmo de descubrimiento de procesos para generar el proceso base del SPrL usando las relaciones frecuentes. En este caso, hemos usado el α -algorithm (ver línea 11). Por último, se construye el modelo de variabilidad usando las relaciones variables (ver líneas 12-13).

Una actividad es opcional en el modelo de variabilidad si: 1) aparece en la lista de relaciones variables, y 2) hay un camino alternativo que evita la ejecución de esta actividad. Una actividad es una alternativa de otra actividad si: 1) aparece en la lista de relaciones variables, y 2) exhibe el mismo comportamiento que otra actividad. O sea, tiene las mismas actividades de entrada y de salida que otra actividad. La Figura 4 muestra la SPrL que descubrimos usando los umbrales $t_1 = 10$ y $t_2 = 4$. Aquí, mostramos el proceso general junto con la información de variabilidad: la actividad $I(m)$ es una alternativa a la actividad $c(f)$.

SELECCIÓN DE LOS UMBRALES

Elegimos el valor $t_1 = 10$ porque la traza más frecuente aparece 10 veces en el registro de eventos. Así podemos garantizar que la traza más frecuente será incluida en el proceso base de la SPrL. El valor de t_2 fue elegido para que algunas trazas fueran consideradas como ruido.

Eligiendo distintos valores umbral, se pueden extraer varios SPrL del mismo registro de eventos: ¿cómo podemos decidir cuál de estos SPrL es el mejor? Si dejamos fijo t_2 e incrementamos el valor de t_1 , el proceso base se hace más simple porque más comportamiento es considerado como variable. Lo mismo ocurre si dejamos fijo t_1 y disminuimos el valor de t_2 .

El ingeniero de proceso debe analizar los modelos generados con distintos umbrales para determinar cuál es el que mejor se ajusta a las necesidades de la empresa. El Grupo de Trabajo de la IEEE sobre Minería de Procesos produjo un manifiesto [5] que identifica cuatro dimensiones no-ortogonales para medir la calidad de un proceso descubierto: ejecutabilidad (*fitness*), simplicidad, precisión, y generalización.

Ejecutabilidad: ¿Cuánto del comportamiento del registro de eventos puede ser ejecutado por el modelo descubierto? Un modelo tiene buena ejecutabilidad si permite la ejecución de gran parte del comportamiento observado en el registro de eventos.

Simplicidad: ¿Cuán complejo es el modelo descubierto? Los modelos de proceso deben ser interpretados por personas, por lo que el modelo más simple que puede explicar el comportamiento observado en el registro es el mejor modelo de acuerdo con esta dimensión.

Precisión: ¿Qué fracción del comportamiento modelado no se observó en el registro de eventos? Un modelo con una buena precisión no permite un comportamiento que es muy diferente del observado en el registro.

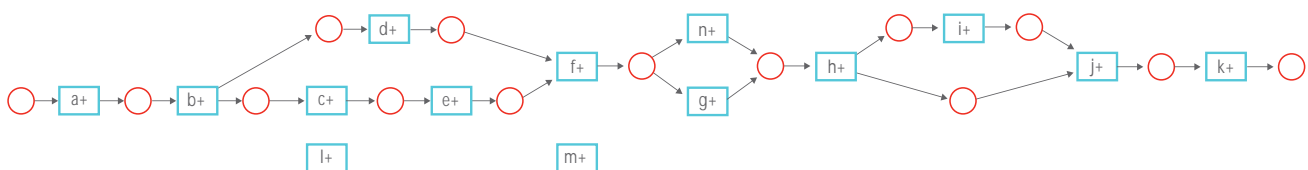


FIGURA 4.
SPrL DESCUBIERTO USANDO V-ALGORITHM ($t_1 = 10$ y $t_2 = 4$).

Generalización: ¿El modelo puede explicar el comportamiento observado en otros registros de eventos del mismo proceso? Como los registros son por definición incompletos, queremos un modelo general que pueda explicar otros registros de un mismo proceso.

Actualmente, estamos estudiando cómo la selección de umbrales afectan estas dimensiones de calidad.

¿EL RUIDO ES REALMENTE RUIDO?

Queremos descubrir un modelo de proceso con el fin de analizarlo y mejorarlo, de modo que se pueda utilizar como un proceso prescriptivo en futuros proyectos [7]. Aquí es correcto eliminar el ruido cuando corresponde a un comportamiento anómalo producido por alguna situación

poco frecuente. Por ejemplo, puede ocurrir que el cliente se declaró en quiebra y el proyecto se suspendió. Sin embargo, algunas trazas poco frecuentes pueden ser indicativas de cambios en la empresa. Este es el caso en el que se introducen nuevas formas de abordar ciertas actividades y la empresa quiere adoptar estas prácticas para futuros proyectos. Aquí no se puede descartar el ruido así no más, el ingeniero de proceso debe analizar estas trazas una a una, decidiendo cuáles incluir en el SPRL.

CONCLUSIONES

PARA CONCLUIR, LAS EMPRESAS QUE ESPECIFICAN UN SPRL TIENEN A SU DISPOSICIÓN UN PROCESO RIGUROSAMENTE DEFINIDO, QUE PUEDE SER TAMBIÉN ADAPTADO A LAS NECESIDADES DE CADA PROYECTO DE FORMA ESTRUCTURADA. SIN EMBARGO, REQUIERE BASTANTE TRABAJO ESPECIFICAR UN SPRL, Y NO HAY GARANTÍA DE QUE EL PROCESO MODELADO REPRESENTA EL PROCESO QUE SE LLEVA A CABO EN LA PRÁCTICA. LAS EMPRESAS QUE REGISTREN EVENTOS DE SUS PROYECTOS SE PUEDEN BENEFICIAR DE LOS ALGORITMOS DE DESCUBRIMIENTO DE PROCESO PARA ESTABLECER UN SPRL. CON ESTE FIN SE PROPONE EL V-ALGORITHM, QUE PERMITE DESCUBRIR UNA LÍNEA DE PROCESOS EN VEZ DE UN SOLO PROCESO. ESTO NOS PERMITE LEVANTAR RÁPIDAMENTE UNA LÍNEA DE PROCESOS EN EMPRESAS QUE NO HAN DEFINIDO FORMALMENTE SUS PROCESOS, SIEMPRE Y CUANDO LLEVEN UN REGISTRO DE LOS EVENTOS DE SUS PROYECTOS. LOS RESULTADOS DEL ESTUDIO DE CASO EN MOBIUS SON BASTANTE PROMETEDORES, Y HOY SEGUIMOS TRABAJANDO EN LOS DESAFÍOS QUE HEMOS IDENTIFICADO EN EL PROCESO DE DESCUBRIMIENTO DE LÍNEAS DE PROCESOS. ■

REFERENCIAS

- [1] O. Armbrust and H. D. Rombach. The right process for each context: objective evidence needed. In *Proc. of ICSSP'2011*, pages 237-241. ACM, 2011.
- [2] M. C. Bastarrica, G. Matturro, R. Robbes, L. Silvestre, and R. Vidal. How does Quality of Formalized Software Processes Affect Adoption? In *Proc. of CAiSE'2014*, volume 8484 of *LNCS*, pages 226-240. Springer, 2014.
- [3] M. C. Bastarrica, J. Simmonds, and L. Silvestre. Using megamodeling to improve industrial adoption of complex MDE solutions. In *Proc. of MiSE'2014*, pages 31-36, 2014.
- [4] J. A. Hurtado Alegría, M. C. Bastarrica, A. Quispe, and S. F. Ochoa. MDE-based process tailoring strategy. *Journal of Software: Evolution and Process*, 26(4):386-403, 2014.
- [5] IEEE Task Force on Process Mining. Process-Mining Manifesto. In F. Daniel, K. Barkaoui, and S. Dustdar, editors, *BPM Workshops*, volume 99 of *Lecture Notes in Business Information Processing*, pages 169-194. Springer-Verlag, Berlin, 2012.
- [6] T. Martínez-Ruiz, F. García, M. Piattini, and J. Münch. Modelling software process variability: an empirical study. *IET Software*, 5(2):172-187, 2011.
- [7] J. Münch, O. Armbrust, M. Kowalczyk, and M. Soto. *Software Process Definition and Management*. Springer, 2012.
- [8] T. Murata. Petri nets: Properties, analysis and applications. *Proceedings of the IEEE*, 77(4): 541-580, 1989.
- [9] R. Pillat, T. Oliveira, P. Alencar, and D. Cowan. BPMNt: A BPMN extension for specifying software process tailoring. *Information and Software Technology*, 57:95-115, 2015.
- [10] F. Rojas Blum, J. Simmonds, and M. C. Bastarrica. Software Process Line Discovery. In *Proc. of ICSSP'2015*, pages 127-136. ACM, 2015.
- [11] W. van der Aalst, B. van Dongen, J. Herbst, L. Maruster, G. Schimm, and A. Weijters. Workow mining: A survey of issues and approaches. *Data & knowledge engineering*, 47(2):237-267, 2003.
- [12] W. P. van der Aalst. *Process Mining: Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes*. Springer Publishing Company, Inc., 1st edition, 2011.
- [13] A. Weijters, W. P. van der Aalst, and A. De Medeiros. Process mining with the heuristics miner-algorithm. *Technische Universiteit Eindhoven, Tech. Rep. WP*, 166:134, 2006.

LA HORA DEL CÓDIGO

¿Cuánto tiempo crees que te tomaría explicarle los conceptos básicos de Programación Computacional a un niño o niña de ocho años? ¿Explicarle conceptos como ejecutar y repetir instrucciones, o ejecutar instrucciones en base a una condición? La Hora del Código es una actividad que pretende enseñar estos mismos conceptos durante una hora.





CAMILO GARRIDO

Estudiante de Doctorado en Ciencias mención Computación, Universidad de Chile. Sus intereses incluyen promover la programación competitiva y el pensamiento computacional en escolares.

@hirohope



MAURICIO QUEZADA

Estudiante de Doctorado en Ciencias mención Computación Universidad de Chile. Dedicado a promover la Computación como un tema importante en la educación escolar y universitaria.

@waxkun

De acuerdo a los creadores de la campaña, la Hora del Código es “una introducción de una hora a la Ciencia de la Computación, diseñada para desmitificar la programación y mostrar que cualquiera puede aprender los conceptos básicos”¹.

En diciembre de 2013, personalidades como Barack Obama (presidente de Estados Unidos), Mark Zuckerberg (creador de Facebook) y Jack Dorsey (creador de Twitter), entre otras, fueron parte del lanzamiento de la campaña en Estados Unidos. Alrededor de 20 millones de personas participaron, y 600 millones de líneas de código fueron generadas. Incluso tiendas de Apple fueron sedes de la actividad en 2014².

La actividad consiste en resolver pequeños desafíos de programación disfrazados de juegos interactivos. De forma similar a la programación con bloques de Logo o Scratch, los juegos de la Hora del Código deben ser resueltos usando bloques con instrucciones que permiten a un personaje salvar obstáculos y cumplir metas. En la iniciativa estadounidense, se han desarrollado

juegos inspirados en las películas de *Star Wars* y *Frozen*, o incluso en otros juegos, como *Angry Birds* y *Plants vs Zombies*³.

Consideramos la Hora del Código como una gran oportunidad para acercar a la gente la programación computacional, en especial a los niños. En Chile se han llevado a cabo diversas iniciativas para incentivar el aprendizaje de la programación, tales como Jóvenes Programadores de Biblioredes, o las Olimpiadas Chilenas de Informática impulsadas por la corporación C¹⁰⁰ y apoyadas por otras instituciones. Sin embargo, varias de estas iniciativas lo que terminan haciendo es sólo incentivar a quienes ya saben de programación a seguir aprendiendo, en vez de introducir a quienes no están al tanto. Esto es lo que llamamos la brecha digital 2.0. No es una brecha entre quienes tienen y no tienen acceso a la tecnología, sino entre quienes saben y no saben crear nueva tecnología. Iniciativas como la Hora del Código permiten acceder a una mayor parte de la población, sin importar si han tenido acceso a educación en Pensamiento Computacional con anterioridad. El Pensamiento

¹ <https://hourofcode.com/>

² <http://www.telegraph.co.uk/technology/apple/11275819/Learn-to-code-at-Apple-stores-across-the-world.html>

³ <https://code.org/learn>



IMAGEN 1.
EVENTO DE LANZAMIENTO DE LA HORA DEL CÓDIGO.

Computacional involucra “resolver problemas, diseñar sistemas, y comprender el comportamiento humano, apoyándose en los conceptos fundamentales de la Ciencia de la Computación. El Pensamiento Computacional incluye una gama de herramientas mentales que reflejan el ámbito de la Ciencia de la Computación”⁴.

En este artículo describimos cómo fue realizado el evento en Chile en octubre de 2015, los resultados y las expectativas a futuro de ésta y otras iniciativas relacionadas.

LA CAMPAÑA EN CHILE

Durante octubre de 2015 se llevó a cabo la versión local de la Hora del Código. Muchas institu-

ciones se sumaron, apoyando de manera concreta, organizando un evento o solo manifestando su apoyo a la campaña. En particular, integrantes del Departamento de Ciencias de la Computación de la Universidad de Chile, de la Subsecretaría de Economía y de la Fundación Kodea fueron los principales organizadores de esta iniciativa. Cabe mencionar también a NIC Chile, cuyo auspicio permitió, en parte, realizar un evento de lanzamiento, y al Centro de Educación y Tecnología Enlaces, que fue un actor importante para llegar a los profesores y motivarlos a participar (los profesores, junto con los estudiantes, son los protagonistas principales de esta campaña).

El sábado 3 de octubre de 2015 se llevó a cabo el evento de lanzamiento (Imagen 1), y del 5 al 11 del mismo mes se realizó la campaña a lo largo de todo Chile, con más de 22 mil niños que participaron e hicieron una hora de código en sus colegios (Imagen 2).

El 3 de octubre de 2015, en la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, alrededor de 150 niñas y niños de colegios del sector participaron del evento de lanzamiento, donde más de la mitad de los asistentes eran niñas⁵. En el evento, cada niño hizo una hora de código resolviendo el juego “*Salva a tus Perros*”, desarrollado por alumnos de la Universidad de Chile, el cual es descrito más adelante. Además, tuvimos alrededor de 200 monitores, entre alumnos y exalumnos de la Universidad, e incluso voluntarios de otras instituciones y empresas (Imagen 3). La idea consistía en que cada monitor estuviera a cargo de un niño, apoyándolo e incentivándolo a completar el juego. Hubo presencia de prensa escrita y televisiva, además de la subsecretaria del Ministerio de Economía de ese entonces, Katia Trusich. Al final de la jornada, se reconoció a cada niño entregándole un diploma por haber cumplido una hora de código. Los niños no tuvieron mayores problemas para terminar todos los niveles del

⁴ <http://cacm.acm.org/magazines/2006/3/5977-computational-thinking/fulltext>

⁵ <http://www.t13.cl/videos/nacional/videos-hora-del-codigo-campana-busca-ensenar-programacion>



IMAGEN 2.
(IZQ.) COLEGIO SANTA JULIANA Y (DER.) LICEO AGRÍCOLA.

juego, y evaluamos su recepción como muy positiva.

Durante la semana posterior al evento de lanzamiento, del 5 al 11 de octubre, estudiantes de todo Chile participaron de la actividad durante sus horas de clases. En nuestro sitio web incentivamos a profesores a registrar su intención de

realizar la Hora del Código en sus clases. De acuerdo al registro, profesores de 958 colegios se inscribieron para realizar la actividad, de Arica a Punta Arenas. Una vez finalizada, los profesores registraron un resumen de la actividad realizada: 488 profesores declararon que un total de 26,660 niños participaron en la Hora del Código, de los cuales el 49.53% eran niñas (Imágenes 4). Del

total de colegios que declararon haber realizado la actividad, 205 de ellos fueron municipales, 195 particular subvencionados, 34 liceos técnicos, y 33 particulares pagados. Los colegios municipales declarados corresponden al 3,8% del total de colegios municipales en funcionamiento al 2015. Asimismo, el total de colegios declarados corresponde al 4% del total de establecimientos.



IMAGEN 3.
EQUIPO DE MONITORES QUE PARTICIPARON EN EL EVENTO REALIZADO EL 3 DE OCTUBRE DE 2015.



IMAGEN 4.
LA HORA DEL CODIGO EN NÚMEROS.

Nótese que de los 958 colegios que se registraron para realizar la actividad, sólo 488 declararon haberla realizado. No obstante, es posible que haya habido más colegios que llevaron a cabo una hora de código, pero que no declararon su realización al término de la campaña. Si bien los números son bajos con respecto al total de colegios en el país, somos optimistas con respecto a la cobertura obtenida en colegios municipales y particulares subvencionados.

Cabe destacar que con no más de una hora de preparación, cualquier profesor está capacitado para dirigir la Hora del Código de manera exitosa en todos sus cursos. Para esto, publicamos unos breves instructivos para ellos con consejos de cómo llevar a cabo la actividad con sus alumnos. Familiarizarse con estas actividades no toma más tiempo de lo que demora preparar una clase normal. Entendemos que la carga de los profesores típicamente es muy alta, y que esta situa-

ción es uno de los mayores obstáculos para incentivarlos a participar en el evento. Pero basta con escoger un tutorial, familiarizarse con éste, y organizar a los alumnos en un laboratorio. Los tutoriales existentes están dirigidos a niños de todas las edades, siendo algunos más desafiantes que otros. Por esto, es perfectamente posible, entendible y aceptable que el profesor o profesora no pueda resolver alguno de los desafíos, y es aconsejable que lo intente junto a sus alumnos, mediante ensayo y error, y colaboración. En la etapa de preparación se invitó a los profesores a registrar su intención de realizar la Hora del Código, además de publicar o enviarnos fotografías de sus clases por medio de las redes sociales. La acogida fue muy grande⁶.

Desarrollamos y diseñamos una versión local del juego educativo, tanto para el evento de lanzamiento como para la campaña principal (Imagen 5). Esto gracias a alumnos del Departamento de Ciencias de la Computación y del Plan Común de la Universidad de Chile, quienes hicieron la mayor parte del trabajo técnico de desarrollo y diseño gráfico del juego. Así como la versión original de la Hora del Código tiene juegos basados en *Frozen*, *Angry Birds* y *Plants vs Zombies*, nosotros decidimos inspirarnos en el programa de televisión *31 minutos*, y en la campaña del Gobierno Regional Metropolitano "Cuidado con el Perro", también con personajes de *31 minutos*⁷. El juego fue nombrado "*Salva a tus Perros*"⁸, cuyo protagonista es el personaje Mario Hugo, quien debe cuidar de sus mascotas en cada nivel. Completando los 20 niveles del juego (y 4 niveles ocultos), se introduce a los jugadores a los conceptos básicos de programación, como ejecutar instrucciones (realizar un movimiento), repetirlas (instrucciones *for* y *while*), y ejecutarlas en base a condiciones (instrucción *if*). Tras completar cada nivel, el jugador puede hacer clic en un botón en la interfaz y observar el código fuente generado por su desarrollo del juego, para mostrar que su solución al nivel es en realidad un programa que lo resuelve. Según los datos extraídos del juego, 4.8 millones de líneas de código fueron generadas tras el término de la campaña. Como referencia, el programa que corre el Mars Curiosity Rover (nave de exploración enviada a Marte) tiene aproximadamente 2.5 millones de líneas de

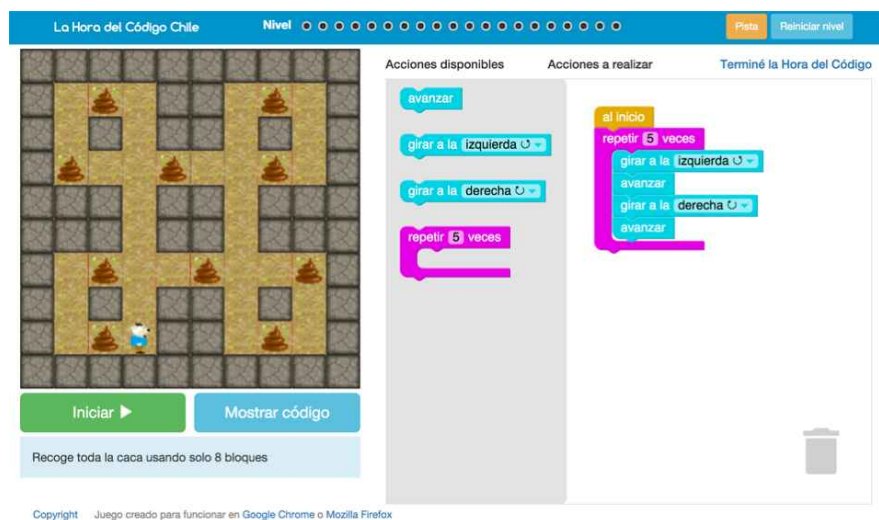


IMAGEN 5.
JUEGO DESARROLLADO PARA EL EVENTO DE LANZAMIENTO Y CAMPAÑA EN LOS COLEGIOS.

⁶ <https://twitter.com/horadelcodigoCL>

⁷ <https://www.youtube.com/watch?v=Gt8e2xK0fGM>

⁸ <http://hoc.dcc.uchile.cl/perros/v1.0/juego/>



IMAGEN 6.
LA ALUMNA DEL DCC DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE, JAZMINE MALDONADO PARTICIPÓ EN EL MATERIAL AUDIOVISUAL PARA PROMOCIONAR LA HORA DEL CÓDIGO.

código⁹. El juego desarrollado no es exclusivo para la Hora del Código en Chile, permitiendo a los profesores y alumnos escoger la actividad que les hubiera parecido más adecuada (incluyendo actividades de Code.org, tales como la de *Frozen* o de *Angry Birds*), de acuerdo a sus intereses o al nivel de dificultad. Existen incluso actividades orientadas a niños preescolares, tales como Mapas Felices¹⁰.

Además del evento, la preparación de profesores y el juego interactivo, también preparamos material audiovisual para la promoción y apoyo a la actividad. La Fundación Kodea produjo un video promocional en el cual aparecen celebridades locales publicitando la campaña. Para apoyar el aprendizaje de los conceptos de programación, hicimos tutoriales en vídeo con la ayuda de alumnas y alumnos del Departamento de Ciencias de la Computación (Imagen 6). Cada video explica brevemente un concepto en particular (introducción al juego, instrucción *for*, *if*, y *while*). Por medio del sitio web, además de Twitter y Facebook, logramos mantener un canal de comunicación y de difusión de las actividades relacionadas a la Hora del Código. Finalmente, gracias a la oportunidad de presentar la iniciativa en la pasada ExpoEnlaces¹¹, la promoción del evento fue mucho más efectiva. De acuerdo al registro de compromiso para realizar la Hora del Código en los colegios, un 31% de los profesores

se enteraron de la iniciativa por medio del contacto directo con algún colega, un 17% por medio de ExpoEnlaces, y un 16% por medio de las redes sociales online.

EXPECTATIVAS A FUTURO

La Hora del Código es de todos. O así debe ser si queremos seguir avanzando en educación sobre Pensamiento Computacional. Más campañas de incentivo al aprendizaje de las nuevas tecnologías son necesarias si queremos estar preparados para el mundo del futuro, o más bien, del presente. Poner este tema en la agenda política, educacional y económica es esencial si queremos pasar de simples consumidores a productores de tecnología.

Evaluamos la iniciativa como muy exitosa. La recepción de los profesores y alumnos fue muy positiva. Sin embargo, necesitamos aumentar la cobertura y llegar a más colegios e instituciones.

La colaboración con instituciones del mundo público y privado también es muy necesaria para crear conciencia sobre la importancia de este tipo de habilidades. La Hora del Código solo es un pequeño paso para poner este tema en el inconsciente colectivo. Es necesario tener más iniciativas a distintos niveles, tanto para quienes desconocen la Programación Computacional como para quienes se quieren dedicar a ella de manera profesional. No obstante, todos deberían tener acceso a educación sobre Pensamiento Computacional.

Necesitamos tu ayuda. Si quieres colaborar con nosotros, eres muy bienvenido. Si quieres organizar tu propio evento, podemos ayudar con la experiencia obtenida en las iniciativas que hemos llevado a cabo hasta ahora. También puedes firmar una petición hacia el Ministerio de Educación en Change.org¹² para que todos los estudiantes de Chile puedan aprender Programación Computacional.

Para contactarte con nosotros, puedes hacerlo al correo: corporacionc100@gmail.com. ■

Datos establecimientos educacionales: <http://centroestudios.mineduc.cl/index.php?t=96&i=2&cc=2519&tm=2>
Hora del Código Chile: <http://www.horadelcodigo.cl>
Code.org: <http://code.org>
Hour of Code (iniciativa original): <http://hourofcode.com>

⁹ <http://programmers.stackexchange.com/a/159638>

¹⁰ http://www.horadelcodigo.cl/docs/mapas_felices.pdf

¹¹ <http://www.enlaces.cl/index.php?t=64&i=2&cc=2557&tm=2>

¹² <https://www.change.org/p/ministerio-de-educaci3n-de-chile-quiero-que-todos-los-estudiantes-de-chile-puedan-aprendan-programaci3n-computacional>

EL FIN DE MOORE Y EL SOFTWARE

Parece increíble lo que ha cambiado la tecnología
en los últimos veinte años...





JOSÉ MIGUEL PIQUER

Director de Servicios de Tecnologías de Información y Comunicaciones (STI), Universidad de Chile. Profesor Asociado Departamento de Ciencias de la Computación, Universidad de Chile. Director Técnico de NIC Chile y socio fundador de la consultora IT-Talk Ltda. y de E-voting Chile SpA, dedicada a servicios de votación electrónica. Entre 2011 y 2013, fue el encargado del desarrollo de proyectos científicos de transferencia en INRIA Chile, centro de excelencia internacional, donde se busca establecer un puente entre la investigación y el desarrollo productivo.
jpiquer@uchile.cl

En 1996 habían 22 servidores web en todo Chile, un supercomputador era apenas capaz de servir 100 videos simultáneos en una red local, nos conectábamos a Internet por teléfono a 28.8 Kbps y sacar 1 Kbyte/s era considerado óptimo. El servidor de medios del DCC tenía 100 Gbytes de almacenamiento y 2 procesadores de 100 MHz.

Hoy todos esos números son ridículos. A modo de ejemplo, bajar una película común hoy en día, de unos 2 Gbytes, habría tomado 2.000.000 de segundos, es decir casi un mes en 1996. Los chicos de hoy están acostumbrados a que eso demore unos minutos. Demás está decir que un celular en la época apenas lograba llamar por teléfono.

Por otro lado, todas estas mejoras se multiplican a veces entre ellas, o al menos trabajan juntas en lograr cambiar radicalmente lo que puedo hacer con ellas: si no tengo ancho de banda, procesador, almacenamiento y pantalla con la resolución suficiente, no puedo ver películas en alta definición. Esto hace que lo que hoy podemos lograr con la tecnología disponible no tiene ninguna relación con lo que soñábamos veinte años atrás. En ese tiempo llegué a escribir que yo no pensaba que fuera viable que Internet compitiera con una tienda de videos (¡afortunadamente no aclaré si lo pensaba para 1996 o para siempre!).

Desgraciadamente, no siento que hayamos logrado seguir ese ritmo en el lado nuestro: el software. En 1996 apareció Java, como una revolución en la forma de programar aplicaciones. Hoy aparecen y desaparecen lenguajes de programación por todos lados, pero no siento que logremos estar a la altura de lo que se requiere. Incluso buenos nuevos lenguajes como Scala, son básicamente un re-empaquetamiento de los lenguajes funcionales de los años sesenta. Me preocupa que sigamos programando como artistas y artesanos en un mundo en que tantas vidas dependen de que el software funcione.

Los sistemas operativos también se sienten un poco anticuados. En 1996 ya usábamos Linux como un sistema moderno. Es cierto que Linux hoy no

tiene mucho código que haya sobrevivido desde 1996, pero el modelo y el paradigma de base son los mismos.

Me da la impresión que el vertiginoso avance del hardware nos ha impedido mejorar el software a la velocidad adecuada. La ley de Moore nos hizo conformistas: De alguna forma era más barato y simple esperar a que Moore arreglara un programa ineficiente a intentarlo nosotros mismos. Incluso reiniciar el computador se hizo tan rápido que ni siquiera es demasiado molesto que se nos caiga el sistema. Por otro lado, la primacía de una, o a lo más dos arquitecturas, hace que no debamos preocuparnos demasiado por la portabilidad.

Pero esos tiempos han terminado, Moore ya no es lo que era.

El primer síntoma lo tuvimos cuando los procesadores comenzaron a multiplicarse en vez de aumentar su velocidad, y eso nos ha hecho revisar muchos programas que no eran paralelos y tener que reescribirlos. Pero ahora parece que será mucho peor. Llegando a la escala atómica, los procesadores se enfrentan a cambios tecnológicos mayores, y volveremos a un mundo complejo, con arquitecturas diferentes y paralelas, donde el software tendrá que adaptarse en forma mucho más difícil que antes. Es bastante probable que aparezcan arquitecturas más especializadas y no sea tan fácil escribir software para todas y portable entre todas.

Ojalá estos desafíos sirvan para que repensemos el software. ¿Cómo debíamos programar ahora en la nube? ¿Cómo manejamos múltiples computadores distribuidos por la red? ¿Cómo manejamos la movilidad con conectividad y contexto?

Me parece que es un muy buen momento para tomar lo que hemos aprendido en veinte años de programación para generar nuevos paradigmas, nuevas propuestas que pongan nuevamente al software a la par de la innovación y cambios radicales que nos ha aportado más bien el hardware todos estos años. ■



HISTÓRICA REUNIÓN DE ICANN EN MARRAKECH

La reunión número 55 de ICANN (Internet Corporation for Assigned Names and Numbers), realizada en Marrakech del 7 al 11 de marzo de este año (Imagen 2) probablemente va a pasar a la historia como el momento en que Internet comenzó a cortar las últimas amarras con el Gobierno de Estados Unidos, pero no para pasar a estar controlado por un organismo multilateral como la UIT (Unión Internacional de las Telecomunicaciones), sino por la comunidad global organizada a través de lo que se ha dado en llamar el modelo "multistakeholder".





PATRICIO POBLETE

Profesor Titular del Departamento de Ciencias de la Computación de la Universidad de Chile, del cual es uno de sus fundadores y fue director en dos períodos. También es fundador y Director de NIC Chile, organismo encargado de administrar el .CL. Entre 2000 y 2014 se desempeñó como Director de la Escuela de Ingeniería y Ciencias de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas (FCFM) de la Universidad de Chile.
ppoblete@nic.cl

UN POCO DE HISTORIA

La arquitectura de Internet está basada en un esquema descentralizado en donde se evita, en general, que haya "puntos únicos de falla". Dado que la red global es el resultado de la interconexión de miles de redes, cada una de ellas de propiedad y controlada por distintas entidades. En un cierto sentido nadie controla o es dueño de Internet.

Sin embargo, hay algunas componentes de Internet que, por su diseño, requieren ser administradas centralizadamente. Esto es así, por ejemplo, para las direcciones IP, que necesariamente deben ser asignadas de manera única, o para los parámetros de los protocolos, tales como números de puertos u otros, o para los dominios de alto nivel del sistema de nombres de dominio (DNS). Todos estos "identificadores únicos" deben ser asignados y registrados en una base de datos central, asegurando precisamente su unicidad.

En los orígenes de Internet, la responsabilidad de llevar esta lista central recayó en uno de los pioneros, Jon Postel (Imagen 1), quien era también el editor de la serie de estándares de Internet, llamados RFCs, y quien ejecutó esta tarea bajo el título de Internet Assigned Numbers Authority (IANA) hasta su fallecimiento el 16 de octubre de 1998.

De todas las funciones que se encarga IANA, hacia esa fecha la que tenía que ver con llevar el registro de los dominios de alto nivel (como

.COM o .CL) era la que se había vuelto más conflictiva. En efecto, desde diversos sectores de la comunidad había críticas al número limitado de dominios genéricos (.COM, .ORG, .NET, etc.), pidiendo que se abriera este espacio a nuevos participantes.

En principio, cualquiera podría crear nuevos dominios de alto nivel (TLDs, por "top level domains") e incorporarlos a su propia zona raíz, pero la visibilidad global solo se lograba si estos dominios se incorporaban a "la" zona raíz administrada por IANA.

Los intentos que se realizaron en ese momento para acordar un mecanismo para la extensión del espacio de los gTLDs quedaron frustrados

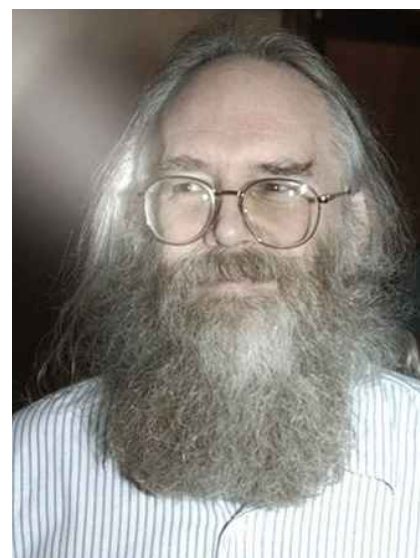


IMAGEN 1.
JON POSTEL.



IMAGEN 2.
REUNIÓN NÚMERO 55 DE ICANN, 7 AL 11 DE MARZO DE 2016.

cuando quedó en evidencia que el control último de la zona raíz lo tenía el Gobierno de Estados Unidos. Esto porque había contratos de investigación que financiaron el funcionamiento de la IANA en sus inicios, los que originados en ARPA, luego transferidos a la NSF y finalmente a cargo del Departamento de Comercio (DoC), significaban en la práctica que ningún cambio se podría hacer en la raíz sin el visto bueno del DoC.

En lugar de los planes que se habían estado elaborando, la administración Clinton propuso un camino para lo que se llamó la "privatización del DNS", formulado en un documento llamado White Paper. Éste planteaba la creación de una organización privada sin fines de lucro, para encargarse de la administración de los identificadores únicos de Internet, a la cual se le transferiría la responsabilidad completa en un plazo breve, que se estimaba en dos años.

A través de un proceso de discusión que involucró a múltiples actores de la comunidad, así como de gobiernos, se llegó finalmente a la constitución de ICANN como la entidad planteada en el White Paper, la cual fue reconocida por el DoC en 1998. ICANN se estructuró como una corporación sin fines de lucro establecida en el estado de California, en cuya estructura de gobierno participarían las distintas partes interesadas ("multistakeholders"), con los gobiernos participando en un rol asesor, a través del Government Advisory Committee (GAC). La función de IANA fue asignada en ese momento a ICANN a través de un contrato de servicios, mediante el cual

ICANN se comprometía a realizarla a costo cero para el Gobierno de Estados Unidos.

Los atentados de septiembre de 2001 hicieron que muchos en Estados Unidos vieran con reticencia el ceder el control completo del DNS a ICANN, y la meta de transferencia de autoridad que en un principio se creía cercana se fue diluyendo, y se pasó en cambio a un *status quo* en que el DoC e ICANN se relacionaban a través de un Memorandum de Entendimiento (MoU) que se renovaba de tiempo en tiempo, y a través del cual el DoC se reservaba el derecho de dar el visto bueno a cualquier cambio que se hiciera en la zona raíz.

Este paso de obtención del visto bueno del DoC a poco andar se convirtió en parte de la rutina a cualquier cambio en la raíz, y si bien en la práctica nunca fue utilizado como poder de veto, se mantenía siempre como una muestra de desequilibrio entre la posición de Estados Unidos frente a la de otros países en Internet. Un paso en la dirección de la independencia de ICANN se dio cuando se dejó de operar en base al MoU, y a cambio Estados Unidos e ICANN acordaron un "Affirmation of Commitments", mediante el cual se establecieron condiciones más exigentes para la transparencia del funcionamiento de ICANN, y un mecanismo periódico de "reviews" por parte de la comunidad sobre ICANN. Pero esto no alteró el hecho que IANA siguió siendo una función adjudicada a ICANN por contrato, renovable o incluso reconcurable de tiempo en tiempo, y con el DoC autorizando cada cambio a la raíz.

EL MUNDO POST SNOWDEN

La revelaciones de Edward Snowden respecto de la vigilancia masiva sobre Internet que ejercía la National Security Agency (NSA), especialmente la que involucraba a jefes de gobiernos extranjeros, causaron un remezón en toda la red de confianzas que se había logrado construir en torno a los mecanismos de gobernanza de Internet. Después de que se reveló que se habían espiado las comunicaciones de Dilma Rousseff, el Gobierno de Brasil convocó de urgencia a una reunión internacional que se llamó "Net Mundial", la cual podría haber conducido a un esquema totalmente nuevo de gobernanza para Internet.

Anticipándose a lo que se pudiera decidir en "Net Mundial", en marzo de 2014, el Gobierno de Estados Unidos dio un paso de gran audacia. A través de la National Telecommunications and Information Agency, la agencia del DoC encargada de administrar el contrato de IANA con ICANN, anunció que estaba dispuesto a renunciar a su rol de supervisión de la IANA ("stewardship", en inglés), con lo cual se concluiría finalmente el proceso iniciado en 1998.

Cuando la NTIA comunicó su intención de transferir su rol de supervisión, indicó que la propuesta de transición debería contar con el amplio

respaldo de la comunidad y respetar los siguientes cuatro principios:

- Respaldo y mejorar el modelo de múltiples partes interesadas ("multistakeholder").
- Mantener la seguridad, estabilidad y flexibilidad del DNS.
- Atender a las necesidades y expectativas de los clientes y socios de los servicios de IANA a nivel global.
- Mantener la apertura de Internet.

La NTIA también señaló que no aceptaría propuestas que reemplazaran su rol con una solu-

ción liderada por un gobierno o por una organización intergubernamental.

Además, la elaboración de una propuesta de transición debería hacerse de manera rápida, para entrar en vigencia al expirar el contrato de IANA, en septiembre de 2015. De no lograrse esta meta, dicho contrato podría ser extendido, lo cual en la práctica ocurrió, pero igual existía un sentido de urgencia porque se esperaba que todo esto se concretara antes del fin de la presidencia de Obama, para que no dependiera de las políticas de otra administración futura.

CONSTRUYENDO UNA PROPUESTA DE TRANSICIÓN

El desafío lanzado por la NTIA puso en marcha un intenso proceso de discusión a nivel mundial, el que finalmente tomó dos años, como se aprecia en la infografía de la Figura 1.

Al término de estos dos años, se habían realizado más de 600 reuniones e intercambiado más de

IANA STEWARDSHIP TRANSITION TIMELINE

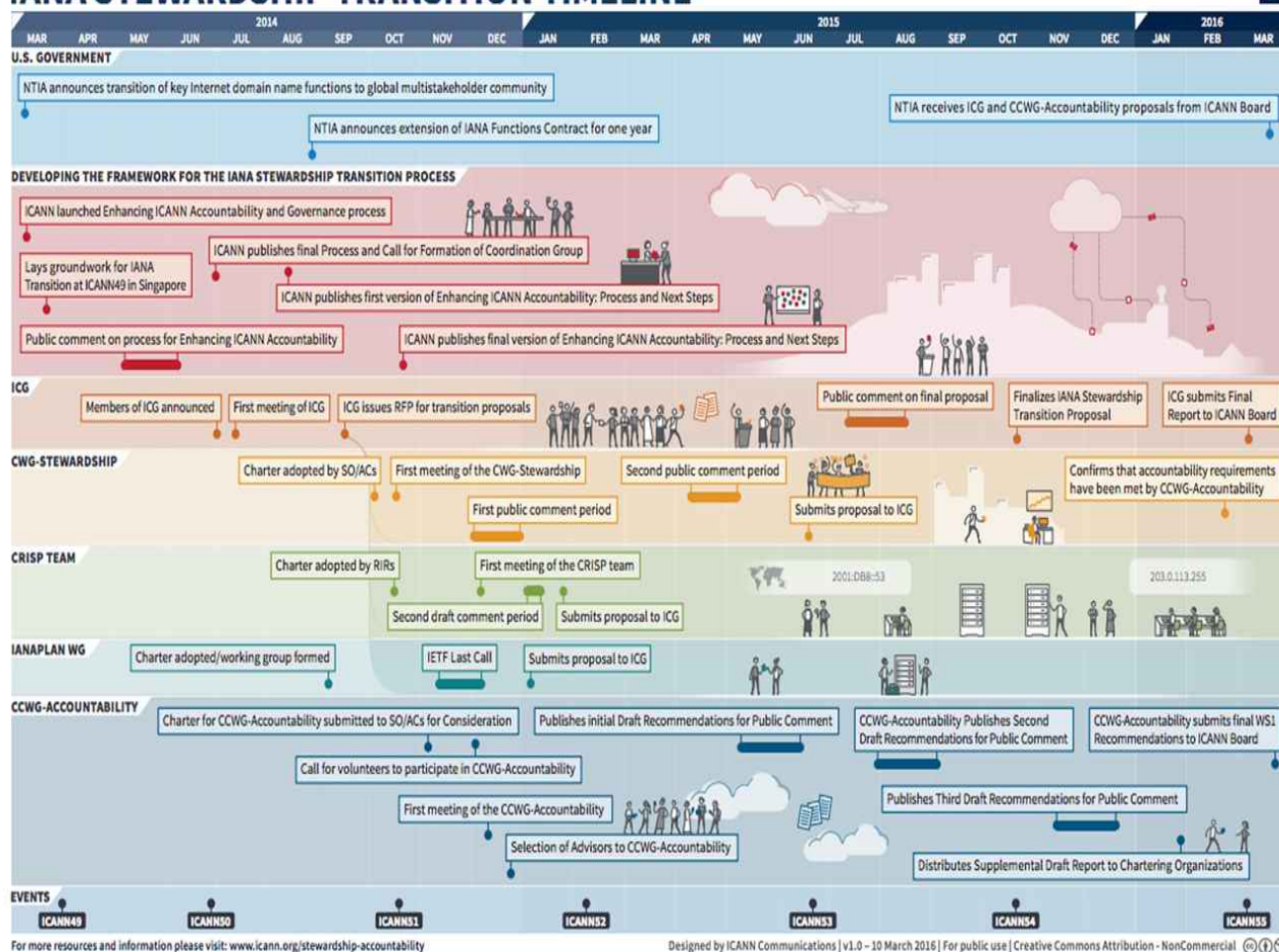


FIGURA 1.
IANA STEWARDSHIP TRANSITION TIMELINE.

FUENTE: [HTTPS://WWW.ICANN.ORG/SITES/DEFAULT/FILES/ASSETS/IANA-STEWARDSHIP-TIMELINE-10MAR16-EN.PDF](https://www.icann.org/sites/default/files/assets/iana-stewardship-timeline-10mar16-en.pdf)

33 mil mensajes de correo electrónico. Se trató de un esfuerzo sin precedentes de participación masiva en la elaboración de una política de impacto global.

El trabajo en esta materia se organizó en dos “tracks” paralelos. El primero se dedicó a la elaboración de una propuesta que respondiera a lo solicitado por la NTIA. Esto finalmente convergió en un esquema mediante el cual ICANN seguiría a cargo de la función de la IANA, privilegiando de esta manera la estabilidad del DNS, pero se encomendó al segundo “track” la elaboración de una propuesta que reforzara la transparencia y la “accountability” de ICANN.

Durante los años en que Estados Unidos había tenido (y sigue teniendo a la fecha) el control último sobre IANA, ese poder nunca se ha utilizado en la práctica para contradecir lo decidido por ICANN respecto de modificaciones a la zona raíz, pero sí ha existido siempre implícita la posibilidad de que el contrato de IANA se le quitara a ICANN y se asignara a un tercero. Esta sería la opción última frente a un mal comportamiento reiterado de parte de ICANN y sería la “opción nuclear”. De más está decir que esto nunca ha ocurrido.

En el nuevo escenario, a falta de este “garrote” que pudiera esgrimirse contra ICANN para asegurar su buen funcionamiento en relación a IANA, fue necesario diseñar un mecanismo equivalente. El resultado fue que la “comunidad empoderada” tendría la posibilidad, a través de un proceso de escalamiento bien definido, de aplicar diversas medidas ante incumplimientos por parte de ICANN, incluyendo ir a un “Independent Review Panel”, las cuales podrían eventualmente llegar hasta la separación de IANA e ICANN.

Evidentemente, el proceso de diseño y de construcción de acuerdos para llegar a definir este proceso fue largo y complicado, porque en él se evidenció el delicado equilibrio de poderes entre los distintos actores, muy en especial el de los gobiernos agrupados en el GAC. Una de las incógnitas de la reunión de Marrakech era si el



IMAGEN 3.
AUTORIDADES DE ICANN OBSERVAN DECISIÓN DE CCNSO.

GAC iba a respaldar una propuesta que algunos gobiernos sostenían les quitaba poder comparado con la situación actual. Finalmente, GAC, tal como ya lo habían hecho antes otros comités asesores y organizaciones de soporte, respaldó la propuesta.

Casualmente, debido a la programación de su agenda, la última organización de soporte que aprobó el acuerdo fue ccNSO, que agrupa a los administradores de dominios de países, y de la cual forma parte NIC Chile. La fotografía de la Imagen 3 muestra la expectación con la que las distintas autoridades de ICANN observaron la decisión de la ccNSO desde el fondo de la sala de sesiones.

EPÍLOGO

La propuesta fue puesta en manos de la NTIA, quien debía evaluar si cumplía con las condiciones que estableció –no se esperaban sorpresas en esa materia– y gestionar su oficialización. Con fecha 16 de agosto, la NTIA anunció que la propuesta de transición presentada y su plan de implementación cumplían con todos los re-

quisitos estipulados, y que en consecuencia el Gobierno de Estados Unidos dejaría que el contrato por las funciones de la IANA expirara el 1 de octubre de 2016. Con esto concluiría la supervisión que Estados Unidos había ejercido hasta ahora sobre estas funciones.

Lo anterior enfrentó una oposición formidable de parte de algunos líderes republicanos que montaron una campaña para frenar lo que consideraban la “entrega” de Internet por parte de la administración de Obama, incluso argumentando que caería en manos de gobiernos hostiles. Finalmente, no lograron que se aprobara legislación que pusiera un obstáculo al proceso, con lo cual éste pudo seguir adelante. Un juicio de último minuto presentado por los fiscales generales de cuatro estados, pidiendo una orden de no innovar para frenar el proceso fue denegada por el juez, con lo cual éste llegó finalmente a término la medianoche del 30 de septiembre.

Con esto, se inicia una nueva era, y el enorme esfuerzo hecho por la comunidad para construir un esquema que diera garantías a todas las partes permitió que se lograra en definitiva concluir el proceso que se había iniciado en 1998 con la creación de ICANN. ■



EN LAS REDES DE CHILE

LA RED SISMOLÓGICA NACIONAL

Chile es uno de los países con mayor actividad sísmica del mundo. A partir del arribo de los españoles, cuando se inició el registro escrito en la región a mediados del siglo XVI, ha ocurrido en promedio un terremoto de magnitud 8 o mayor cada docena de años.

7.8

6

4.4

4.8

2.9

3.5

4

3.7



SERGIO BARRIENTOS

Director del Centro Sismológico Nacional de la Universidad de Chile. Doctor en Ciencias de la Tierra de la Universidad de California, Santa Cruz, Estados Unidos, y Magister en Ciencias mención Geofísica de la Universidad de Chile. Ha realizado investigaciones postdoctorales en el Instituto de Cooperación para la Investigación en Ciencias del Medioambiente (Universidad de Colorado) y Centro de Terremotos del Sur de California (USC). Ocupó el cargo de jefe de sección sísmica del Sistema de Vigilancia Internacional de la Organización del Tratado de Prohibición Completa de los Ensayos Nucleares, ubicada en Viena, Austria. contacto@csn.uchile.cl

En los últimos cien años, más de diez eventos de magnitud 8 o superior han tenido lugar en esta parte del mundo (Beck et al., 1998). Tres eventos con $M > 8$ han ocurrido sólo en los últimos seis años. Los registros históricos de daños locales, reportes de tsunamis registrados en Japón asociados a sismos chilenos y estudios paleo-sismológicos (Cisternas et al., 2005; Moernaut et al., 2014), han evidenciado que varios de estos terremotos han alcanzado magnitudes cercanas a 9 o superiores. Entre ellos se encuentra el caso de 1960, el terremoto más grande registrado en el mundo desde el inicio de la sismología instrumental (Kanamori, 1977). Tal actividad sísmica extrema en Chile es el resultado de la interacción entre las placas de Nazca, Antártica, Escocia y América del Sur. Como se muestra en la Figura 1 la mayor parte de la sismicidad de Chile es el resultado directo de la interacción entre las placas de Nazca y de Sudamérica.

Para ello, se requiere instalar, mantener y operar una red sísmológica que cubra todo el territorio nacional, en lo posible, rodeando completamente aquellas zonas donde se generan los sismos. Lograr este objetivo no es sencillo en un país como el nuestro, ya que posee una gran longitud y gran parte de la sismicidad se encuentra ubicada costa afuera.

Existen varios sistemas de observación sísmológica permanentes en el país: a) La base del sistema de observación de la Universidad de Chile y b) estaciones que son producto de colaboraciones internacionales. En el lenguaje sísmológico, una red se denomina por su código, de modo que en Chile coexisten varias redes con sus propios códigos que nutren el sistema de información sísmica del país. Las redes C y C1 son la base de la red universitaria que incluye alrededor de 80 instrumentos de seis componentes (tres que miden velocidad y tres que miden aceleración).

La red C1 está compuesta por 65 estaciones multiparamétricas (sismómetros de banda ancha, acelerómetros y equipos GNSS, Global Navigation Satellite System), además de 65 dispositivos GNSS adicionales. Este equipamiento ha sido recientemente adquirido y complementa la red original de la Universidad. La mayor parte de los datos provenientes de las estaciones de seis componentes -banda ancha y acelerográficas- se transmiten en tiempo real al Centro de Datos en Santiago, en tanto que la instalación y conexión de las estaciones de GNSS se completará durante los próximos meses. Como complemento a este equipamiento, la Oficina Nacional

EL SISTEMA DE OBSERVACIÓN

El Centro Sismológico Nacional de la Universidad de Chile (CSN), continuación del Servicio Sismológico de la misma Universidad, inició sus operaciones en marzo de 2013. La tarea de este organismo consiste en impulsar y desarrollar los aspectos observacionales de terremotos en el país con el fin de entregar la mejor, más completa, depurada y oportuna información posible relacionada con la observación del proceso de terremotos.

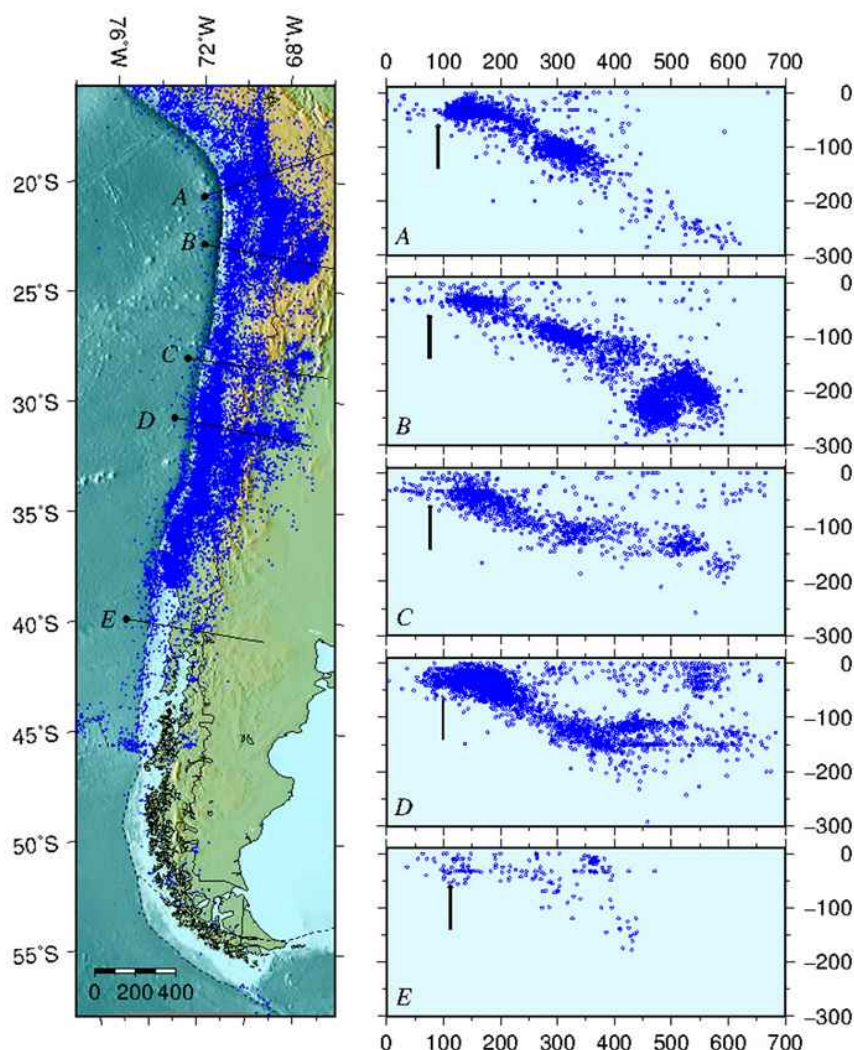


FIGURA 1.

SISMICIDAD DE CHILE. CINCO PERFILES (PANELES DE LA DERECHA) MUESTRAN LA DISTRIBUCIÓN EN PROFUNDIDAD DE LOS TERREMOTOS EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DESDE LA FOSA CHILE-PERÚ. EL CATÁLOGO INCLUYE TRES FUENTES DE INFORMACIÓN SISRA (1900-1981), USGS (1982-1999), CSN (2000-2015).

de Emergencia (Onemi) del Ministerio del Interior y Seguridad Pública, en cooperación con el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (Minvu) han desplegado 297 acelerógrafos, para registrar el movimiento fuerte asociado a grandes terremotos (umbral de activación a 5% g, la aceleración de la gravedad); este equipamiento se encuentra siendo transferido al CSN para su operación y mantenimiento. Se puede entender este grupo de 297 acelerógrafos como parte de una Red de Infraestructura y Suelos concebida para entregar

información acerca del comportamiento del terreno en las zonas afectadas por terremotos significativos.

Existen varios sistemas de observación sísmológica permanente en el país que son resultado de colaboraciones internacionales: IPOC, IRIS, Geoscope y GSN. El Integrated Plate Boundary Observatory Chile (IPOC, <http://www.ipoc-network.org/>) es un importante esfuerzo llevado a cabo en el norte de Chile para estudiar el pro-

ceso del ciclo sísmico en la región donde –hasta el 1 de abril de 2014– no habían ocurrido sismos interplaca de magnitud significativa desde 1877 (región costa afuera comprendida aproximadamente entre Arica y la Península de Mejillones). Las primeras instalaciones de estaciones se iniciaron en 2007 por iniciativa de GeoForschungs-Zentrum Potsdam (Alemania) que en la actualidad alcanzan a 16 estaciones multiparamétricas; en tanto que el Instituto de Física del Globo de París contribuye con cuatro estaciones multiparámetro.

Las 20 estaciones IPOC (red CX) contemplan sensores de desplazamiento GNSS (Leica), velocidad (STS-2, Streickeisen) y aceleración (Episensor, Kinematics); estos últimos incluyen sistemas de adquisición de datos Quanterra. Las variables ambientales (temperatura, presión) también se incluyen en el flujo de datos.

La Red Sísmológica Nacional cuenta además con 10 estaciones GRO (Geophysical Research Observatories Chile), que son el resultado de un proyecto de colaboración conjunta entre Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS) y la Universidad de Chile, financiado por la Fundación Nacional de Ciencias de EE.UU. a partir de 2011 como consecuencia del terremoto Mw=8.8 de Maule ocurrido en 2010. Estas estaciones, parte de la red de código C (<https://www.iris.edu/hq/projects/chile>), están equipadas con sensores de velocidad (Trillium 240, Nanometrics), aceleración (Episensor, Kinematics) y sistemas de adquisición Quanterra 330. Estos instrumentos se complementan con sensores de infrasonido (Chaparral), junto con sensores ambientales (temperatura, pluviómetro y presión). Adicionalmente, el CSN se encuentra incorporando equipos GNSS a cada una de estas estaciones.

La red C1 consiste en 65 estaciones que miden velocidad, aceleración y desplazamiento del suelo. Los sensores que se utilizan son: banda ancha (Trillium 120, Nanometrics) para medir velocidad y Güralp 5T para medir aceleración, ambos con un sistema de adquisición Quanterra de 6 canales, los que son complementados con dispositivos GNSS Trimble (NetR9).

Las estaciones adicionales de la red C (LMEL, ROC1) y de la red Geoscope (PEL, COY) conjuntamente con las de GSN (Global Seismographic Network; LVC, LCO y RPN) complementan la red de observación sísmológica en el país.

La ubicación de cada estación de estos tres elementos principales, a diciembre de 2015: a) 98 sismómetros de banda ancha y acelerómetros, b) 91 estaciones GNSS y 37 por instalar, y c) 297 acelerógrafos, se muestran en la Figura 2. La separación intersensor para el elemento de la red mostrada en a) es de unos 80 - 90 kilómetros, en tanto que la red mostrada en c) se concentra principalmente en cuencas donde se han fundado ciudades; estas últimas ubicaciones han sido reportadas por Onemi.

Los datos de los 98 instrumentos de seis componentes (banda ancha y acelerográficas) se transmiten en tiempo real hasta el Centro de Datos ubicado en Santiago. Para ello se utilizan variados medios de comunicación: radio, para la mayoría de las estaciones que se encuentran en los alrededores de Santiago, satelital para aquellas que se encuentran ubicadas en zonas más alejadas, la red de comunicaciones de la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) para aquellas que se pueden conectar vía radio a las torres de control de los diferentes aeropuertos del país y una combinación de radio e Internet para las restantes. Es en el Centro de Datos donde estos se procesan, analizan, distribuyen y archivan. El sistema consiste en tres servidores conectados entre sí creando ambientes virtuales donde se ejecutan los programas especializados de adquisición, procesamiento automático, análisis manual, distribución y almacenamiento de la información. Se tiene proyectado un almacenamiento de alrededor de 7 TB por año.

La localización hipocentral (coordenadas geográficas y profundidad), el tiempo de ocurrencia y la magnitud del sismo se estiman de manera preliminar, dentro de los 5 minutos de haber ocurrido, mediante el programa EarlyBird. Las soluciones finales –dentro de 20 minutos- se obtienen utilizando los programas Seisan y Seis-Comp.

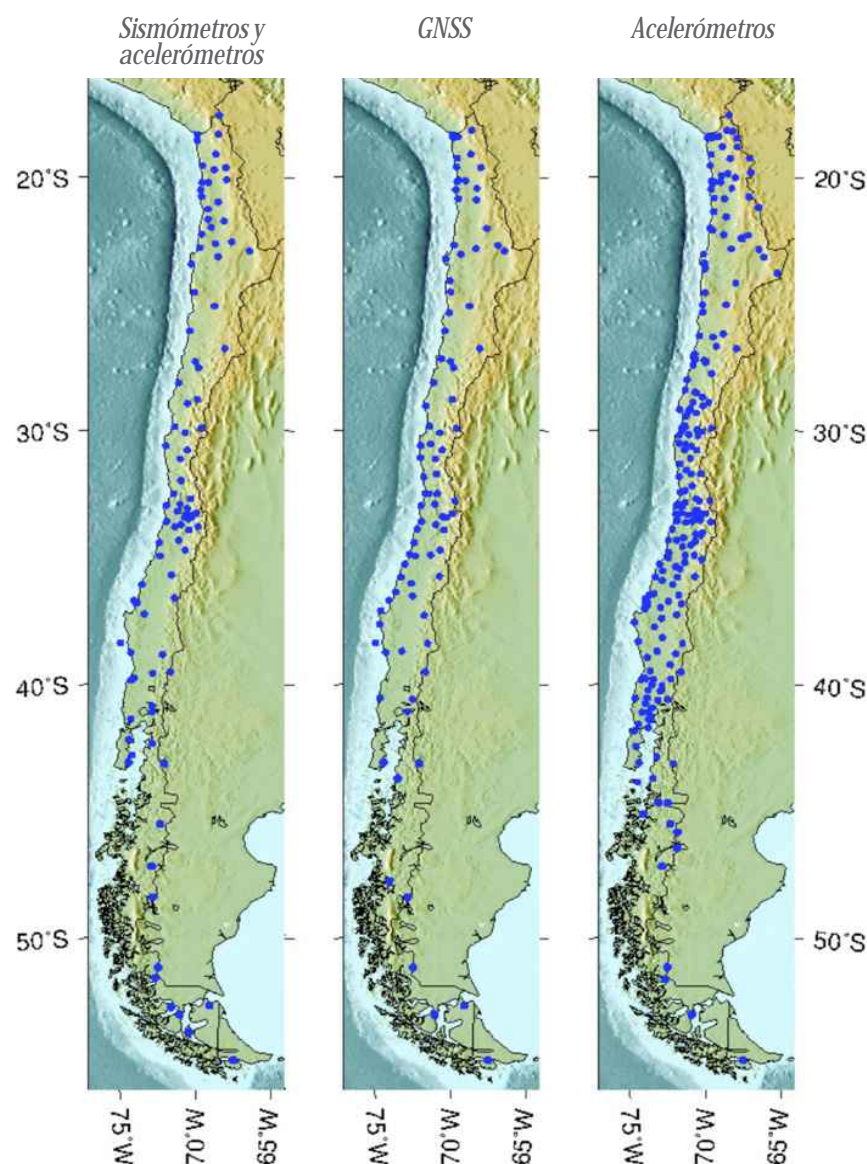


FIGURA 2.

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE ESTACIONES DE LA RED SISMOLÓGICA NACIONAL. SE COMPONE DE 98 ESTACIONES DE 6 COMPONENTES (BANDA ANCHA + ACELERÓGRAFOS) (PANEL IZQUIERDO), 128 DISPOSITIVOS GNSS (PANEL CENTRAL) Y 297 INSTRUMENTOS DE MOVIMIENTO FUERTE DE TIERRA (PANEL DERECHO).

Una de las grandes novedades que incorpora esta Red Sísmológica Nacional, es la inclusión de estimación de desplazamiento en tiempo real. Esto se lleva a cabo utilizando tecnologías satelitales mediante 128 receptores GNSS de Trimble. Casi 100 de ellos ya están instalados y almacenando datos cada segundo. Cuarenta de estos dispositivos incluyen capacidades adicio-

nales RTX; estas capacidades consisten en estimar la posición del instrumento –con una repetibilidad de 4 cm- en tiempo real mediante un algoritmo denominado Precise Point Positioning (PPP) del proveedor que se ejecuta en el receptor incluyendo las correcciones de deriva de reloj y órbitas satelitales transmitidos mediante otro satélite (Omnistar).

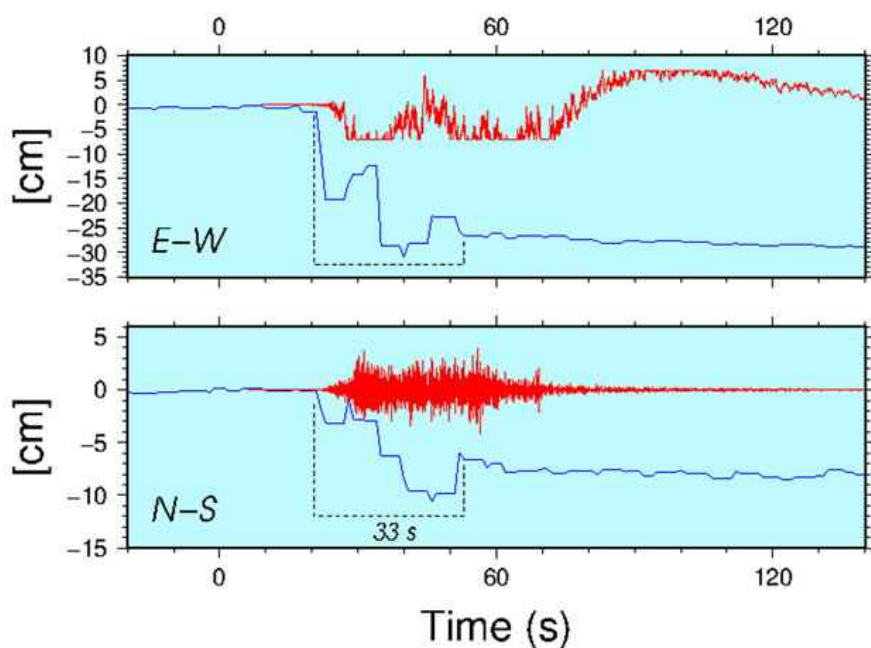


FIGURA 3.

PRIMERA DETECCIÓN CO-SÍSMICA EN TIEMPO REAL DEL DESPLAZAMIENTO MEDIANTE LA METODOLOGÍA RTX DE UN DISPOSITIVO GNSS TRIMBLE. LOS CAMBIOS ESTÁTICOS EN LAS COMPONENTES ESTE Y NORTE, MUESTREADAS A 1 HZ, ALCANZAN LOS 30 Y 8 CM, RESPECTIVAMENTE. EN LA PARTE SUPERIOR DE LA COMPONENTE ESTE SE PUEDE OBSERVAR EL REGISTRO SATURADO DE VELOCIDAD DEL INSTRUMENTO DE BANDA ANCHA. DEL MISMO MODO, EN LA COMPONENTE NORTE-SUR SE PUEDE OBSERVAR EL REGISTRO DE ACELERACIÓN.

Las pruebas iniciales del sistema RTX, en abril de 2014, permitieron la captura del primer registro de desplazamiento en la superficie de la Tierra producida por un terremoto mediante esta técnica. El dispositivo RTX de Trimble se instaló en el aeropuerto de Iquique y permitió la detección y estimación en tiempo real del desplazamiento producido en ese lugar por la réplica principal del terremoto de Iquique ocurrida el 3 de abril de 2014.

Los registros muestran 30 cm de desplazamiento permanente al Oeste y 8 cm hacia el Sur, después de 33 segundos de la llegada de la onda P (Figura 3).

Suponiendo que el desplazamiento en la falla tiene lugar en la zona de acoplamiento entre placas, debido a la ubicación de la estación en relación a la zona de ruptura, es posible estimar la magnitud y -la ubicación del desplazamiento en la falla- con sólo un punto de observación. En

este caso, el desplazamiento estático (permanente) se alcanza 33 s después del arribo del primer impulso.

OBJETIVOS DE LA RED

Debido a que el sistema de observación sísmológica desarrollado por el CSN es el único sistema a nivel de país, son varios objetivos que se deben cumplir:

a) La red debe ser capaz de proporcionar suficiente información para caracterizar rápidamente aquellos grandes terremotos que afectan a Chile y proporcionar de manera rápida una estimación de su impacto, en particular para estimar niveles de aceleración alcanzados en la superficie de la Tierra (Shakemaps) y también para evaluar el potencial de

generación de tsunamis en el campo cercano. Esta no es una tarea sencilla debido a que terremotos de gran magnitud ($M > 7.5$) tienen lugar muy cerca de la red de observación (en el campo cercano) de modo que los sistemas basados en sismometría de banda ancha se saturan, mientras que la aceleración registrada, doblemente integrada, es a menudo inestable, ya que requiere de precisas correcciones a la línea base de referencia y estimaciones de rotaciones e inclinaciones del terreno (Kinoshita y Takagishi, 2011; Wang et al., 2011; Colombelli et al., 2013; Melgar et al-2013).

b) Un segundo objetivo es caracterizar –de la mejor manera posible– las zonas sísmicas que son responsables de la amenaza sísmica en Chile. La red debe tener la sensibilidad suficiente para detectar terremotos de magnitud 3 y superiores dentro del país. Se reconoce que los terremotos más pequeños podrían proporcionar una mejor definición de estas fuentes en períodos más breves, de modo que la red existente, con espaciamiento intersensor de unos 80-90 km, puede indicar regiones dónde concentrar los futuros esfuerzos con arreglos más densos, ya que si se desea disminuir el umbral de magnitud, es necesario incrementar el número de estaciones.

c) Recopilar antecedentes sobre aceleraciones del terreno asociadas a terremotos significativos. El hecho de establecer la manera de cómo varía la aceleración del suelo en función de la magnitud del evento, distancia a la ruptura sísmica, tipo de suelo, y otros parámetros como geometría y evolución de la ruptura, es de suma importancia el continuo mejoramiento de las relaciones de atenuación con el consecuente impacto en las normas de construcción sísmo-resistentes. La red de 297 acelerógrafos fue concebida para estos propósitos.

TERREMOTO DEL 16 DE SEPTIEMBRE DE 2015

Con el objeto de estimar localmente la distribución de desplazamiento en la falla asociada a grandes terremotos, las observaciones GNSS en tiempo real se han incorporado como parte integral de la red sismológica. En este sentido, los datos locales GNSS disponibles permitieron la estimación de la distribución preliminar de desplazamiento en la falla asociada al terremoto $M_w=8.4$ de Illapel, ocurrido el 16 de septiembre de 2015. Una primera estimación fue publicada solo 33 horas después de ocurrido el terremoto. Durante los días posteriores, más datos se incluyeron en el proceso de inversión y la solución final -muy parecida a la preliminar- presenta una concentración de desplazamiento frente a las costas de Canela Baja (Figura 4), en tanto que la magnitud de momento se estimó en 8,35. Una vez que las estaciones estén conectadas en tiempo real al Centro de Adquisición y Procesamiento de Datos, tarea que se está llevando a cabo durante el presente año, este intervalo se reducirá a algunos minutos.

Debido a que los desplazamientos en el campo cercano en la superficie de un semiespacio como consecuencia de una dislocación en su interior, decaen como r^{-4} , es extremadamente deseable que las estaciones GNSS estén situadas lo más cerca posible a la fuente. En el caso de Chile, la mayoría de las fuentes de los grandes terremotos que producen tsunamis de importancia, se encuentran ubicadas a lo largo de la zona de acoplamiento de la placas de Nazca y de Sudamérica, entre la fosa y la costa, lo que hace este método muy apropiado para la situación sísmo-tectónica del país.

Las estaciones GNSS se están desplegando aproximadamente cada 40 km a lo largo de la costa. Esto permite una separación intersensorial

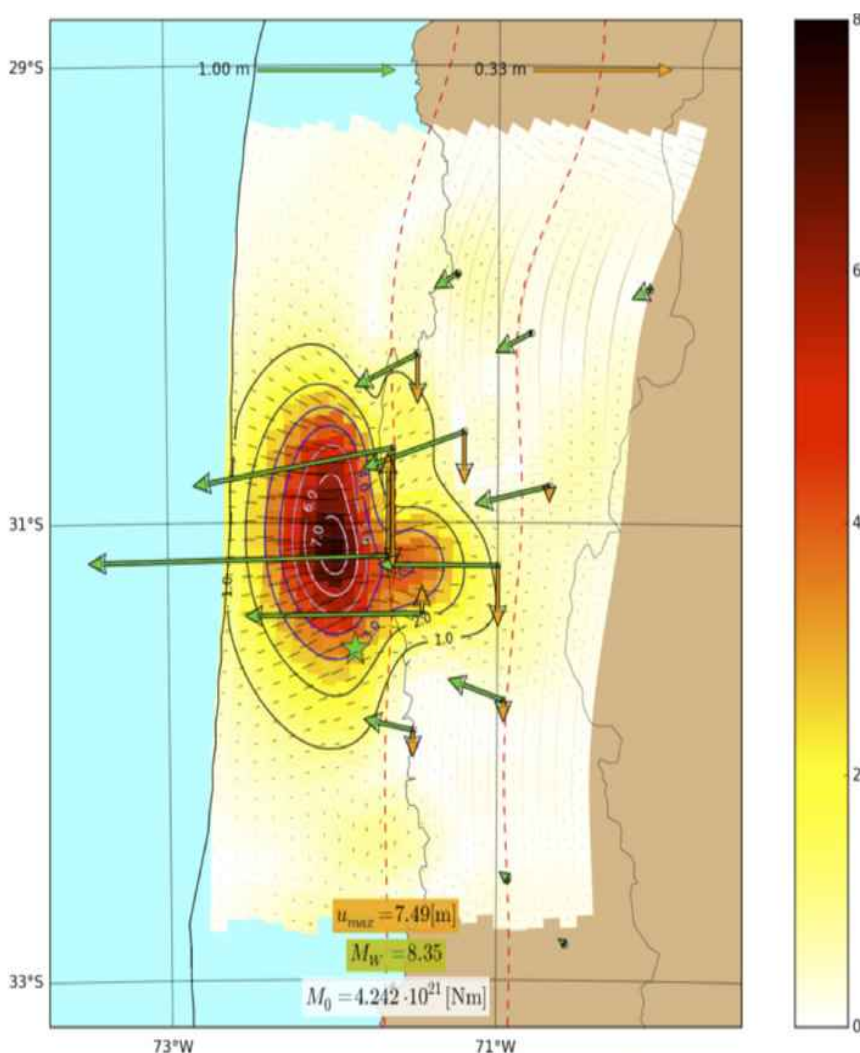


FIGURA 4.

FINAL (DERECHA) LA ESTIMACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE DESPLAZAMIENTO EN LA FALLA DEL TERREMOTO DE 2015 OCURRIDO EN LA REGIÓN DE COQUIMBO A PARTIR DE DATOS DE DEFORMACIÓN OBSERVADOS EN LA SUPERFICIE (F. DEL CAMPO, COMUNICACIÓN PERSONAL). LA PRIMERA ESTIMACIÓN SE OBTUVO DESPUÉS DE 33 HORAS DE TIEMPO DE ORIGEN. EL OBJETIVO ES DISMINUIR ESTE NÚMERO A POCOS MINUTOS, AUN CONSIDERANDO LA DURACIÓN DE LA FUNCIÓN DE TIEMPO EN LA FUENTE DE RUPTURA.

del mismo orden que la profundidad de la región sísmogénica de estos grandes terremotos, esto es, 40 - 50 km. En el interior del país, esta separación entre estaciones es mayor, aprovechando los sistemas de comunicación de las estaciones de 6 componentes recientemente instaladas.

Además, como se ha planteado anteriormente, debido a que los sistemas GNSS utilizados para

medir el desplazamiento no se saturan, como ocurre con la observación de velocidad mediante sistemas de banda ancha, es posible emplear metodologías complementarias para caracterizar estos grandes terremotos. Riquelme et al. (enviado para su publicación, 2015) han desarrollado una técnica para estimar rápidamente, tanto la geometría de la falla así como la magnitud del sismo, mediante observaciones directas de des-

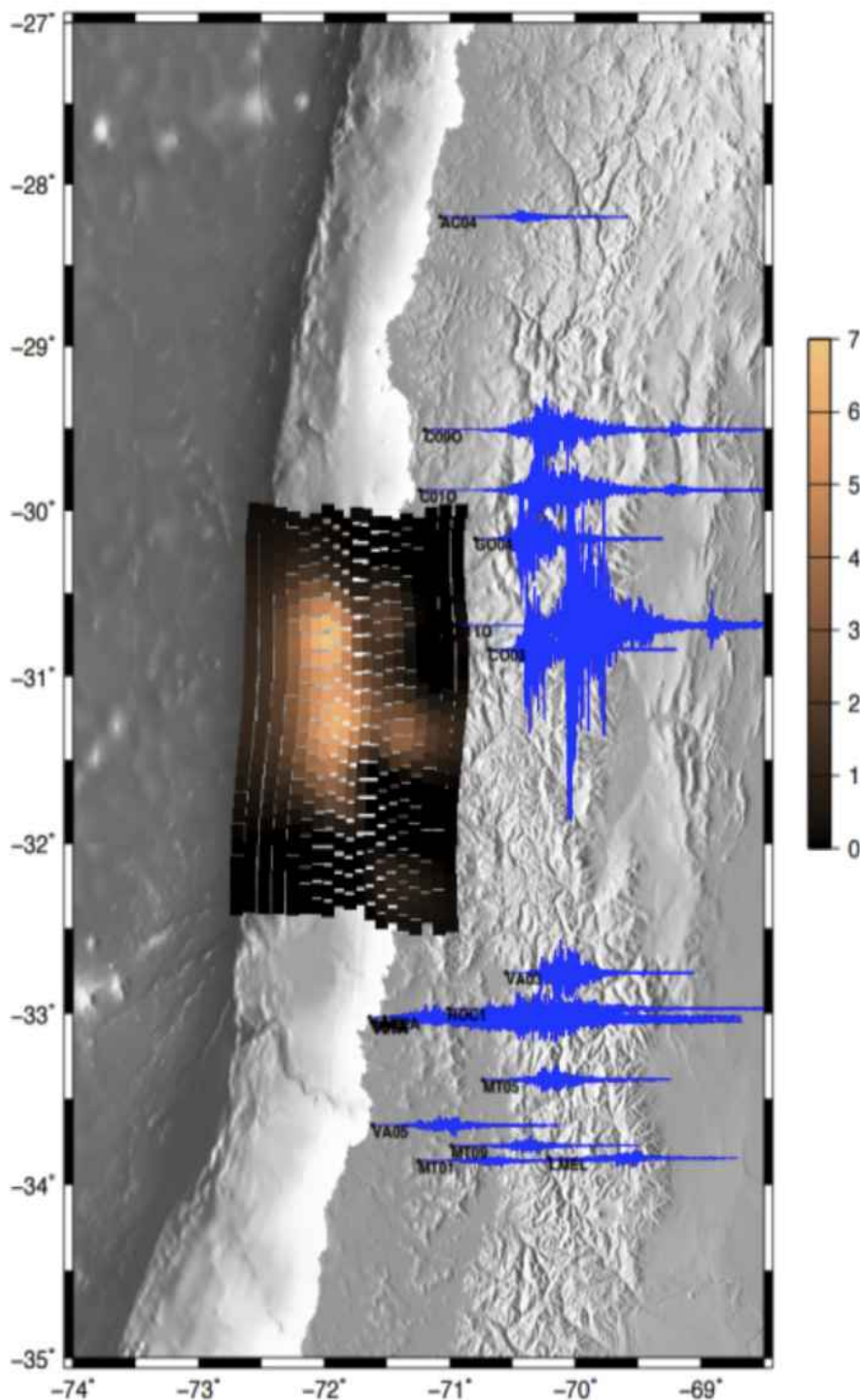


FIGURA 5. REGISTROS DE MOVIMIENTO FUERTE (ACELEROGRAMAS) ASOCIADOS AL TERREMOTO $MW = 8.4$ DE ILLAPEL DEL 16 DE SEPTIEMBRE. ACELERACIONES MÁXIMAS DEL ORDEN DE 60% G SE REGISTRARON EN LAS ESTACIONES DIRECTAMENTE HACIA EL INTERIOR DE LOS DESPLAZAMIENTOS MAYORES A LO LARGO DEL PLANO DE RUPTURA (MODELO SLAB1.0, HAYES ET AL., 2012).

plazamiento en el campo cercano a través de la metodología fase W. Los resultados iniciales de la aplicación de este método a los grandes terremotos chilenos como los de Maule, 2010; Iquique 2014 e Illapel 2015, muestran resultados prometedores para su establecimiento en modo operacional.

Otro avance significativo alcanzado en la implementación de la nueva Red, es la recolección de datos de movimiento fuerte y su rápida publicación. Estas estaciones no se encuentran conectadas al sistema de adquisición principal en tiempo real, de modo que los datos se recopilan poco tiempo después del sismo de interés (en general $M > 7$) y son publicados en: <http://evtdb.csn.uchile.cl/>.

A modo de ejemplo, la Figura 5, preparada por Leyton (comunicación personal), muestra los registros de movimiento fuerte del terremoto de Illapel, ocurrido en septiembre de 2015.

Registros de movimientos fuertes para otros terremotos importantes que han tenido en lugar en Chile desde mayo de 2010, también se pueden descargar de: <http://evtdb.csn.uchile.cl/>.

Se espera que durante los próximos meses, gran parte de los 297 instrumentos acelerográficos se conecten al centro de datos ubicado en Santiago, es decir puedan ser interrogados desde el Centro de Datos. Carabineros de Chile ha facilitado la instalación de gran parte de estos equipos en sus dependencias distribuidas a lo largo del país. También ha ofrecido la conectividad a dichas estaciones.

En la actualidad, se está implementando un sistema robusto de comunicaciones satelitales en una red base de 16 estaciones a lo largo del país. Adicionalmente, a mediados de 2016 el CSN debiese contar con un sistema central de adquisición de datos alternativo. ■

AGRADECIMIENTOS

LAS PROLIJAS Y MINUCIOSAS LECTURAS DE CATALINA CARO Y MARIO PARDO MEJORARON SIGNIFICATIVAMENTE LAS PRIMERAS VERSIONES DE ESTE DOCUMENTO.

REFERENCIAS

- Beck, S., S. Barrientos, E. Kausel and M. Reyes, Source characteristics of historic earthquakes along central Chile subduction zone (1998). *Jour. South Am., Earth Sciences* 11 (2) doi:10.12/S0895-9811(98)00005-4.
- Cisternas, M., B. Atwater, F. Torrejón, Sawai, Y., Machuca G., Lagos M., Eipert A., Yount C., Salgado I., Kamataki T., Shishikura M., Rajendran C.P., Malik J.K., Rizal Y. and Husni M. Predecessors of the giant 1960 Chile earthquake, *Nature*, 437, 404-407, 2005.
- Colombelli, S., R. Allen and A. Zollo, Application of real-time GPS to earthquake early warning in subduction and strike-slip environments, *J. Geophys. Res.* 118, 3448-3461, 2013.
- Hayes, G., Wald, D., Johnson, R., Slab1.0: A three-dimensional model of global subduction zone geometries, *J. Geophys. Res.* 117, B01302, doi:10.1029/2011JB008524, 2012.
- Kinoshita, S., and M. Takagishi, Generation and propagation of static displacement estimated using KiK-net recordings, *Earth Planets Space*, 63, 779-783, doi:10.5047/eps.2011.05.003, 2011.
- Melgar, D. S., Bock, Y., Sánchez, D. and Crowell, B. C. On robust and reliable automated baseline corrections for strong motion seismology, *J. Geophys. Res.*, 118, 1177-1187, doi:10.1002/jgrb.50135, 2013.
- Moernaut, J., M. Van Daele, K. Heirman, K. Fontijn, M. Strasser, M. Pino, R. Urrutia and M. De Batist, Lacustrine turbidites as a tool for quantitative earthquake reconstruction: New evidence for a variable rupture mode in south central Chile, *J. Geophys. Res.* 119, 3, 1607-1633, 2014.
- Riquelme, S., F. Bravo, D. Melgar, R. Benavente, J. Geng, S. Barrientos and J. Campos, W-phase source inversion using high-rate regional GPS data for large earthquakes, submitted. 2015.
- SISRA, Proyecto Sismicidad y Riesgo Sísmico en la Región Andina, CERESIS, 1985.
- Kanamori, H., The energy release in great earthquakes, *J. Geophys. Res.* 82, 20, 2981-2987, 1977.
- Wang, R., B. Schurr, C. Milkereit, Z. Shao, and M. Jin, An improved automatic scheme for empirical baseline correction of digital strong motion records, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 101(5), 2029-2044, doi:10.1785/0120110039, 2011.



CONOCIMIENTO CLIMÁTICO
Y REDES DE DATOS METEOROLÓGICOS

**¿POR QUÉ
NECESITAMOS
MONITOREAR
EL CLIMA?**





FRANCISCA MUÑOZ

Encargada de Datos y Cómputos del Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2 de la Universidad de Chile. MSc en Ciencias de la Computación de VUB (Vrije Universiteit Brussel), Bélgica; Ingeniera Civil en Computación, Universidad de Chile.

fmunoz@dgf.uchile.cl

ESTE ARTÍCULO FUE ELABORADO CON LOS APORTES CIENTÍFICOS DE LA DIRECTORA DEL (CR)2 LAURA GALLARDO, LOS INVESTIGADORES (CR)2 JUAN PABLO BOISIER Y ROBERTO RONDANELLI, Y LA REVISIÓN EDITORIAL DE LUZ FARIÑA.

El tiempo y el clima afectan la forma en que vivimos y las decisiones que tomamos. La disponibilidad hídrica, actividades económicas, interacciones sociales, migraciones, planificación e implementación de políticas públicas a diferentes escalas, e incluso la biodiversidad del planeta se relacionan con las tendencias climáticas o con la recurrencia de eventos extremos y los escenarios futuros.

A nivel global, eventos meteorológicos extremos tales como sequías, tormentas de viento, olas de calor, inundaciones fluviales y costeras han aumentado considerablemente en las últimas décadas (ver Jennings 2011), y las proyecciones climáticas (IPCC, 2014) muestran que estos serán más frecuentes y severos.

En nuestro país, por ejemplo, la sequía extrema y los aumentos de temperatura que hemos experimentado en los últimos seis años no tienen precedentes en el registro histórico. Esta condición se presenta en siete regiones con un déficit de precipitaciones cercano al 30% y en el contexto de la década más seca y cálida de los últimos 100 años (Figuras 1 y 2).

“En gran parte esta tendencia responde a variaciones naturales: cambios de fase en El Niño (ENSO) y en la Oscilación Decadal del Pacífico. Pero es muy poco probable que los cambios observados tengan un origen exclusivamente natural. Simula-

ciones con modelos de clima –que reproducen la tendencia de precipitación negativa en Chile central– muestran que en el caso de la megasequía, el factor antrópico explicaría cerca del 25% del déficit observado entre 2010 y 2014” señala el estudio “La Megasequía 2010-2015: una lección para el futuro” elaborado por el Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2, formado por científicos de la Universidad de Chile, Austral y De Concepción (para más detalles, ver Boisier et al 2015).

Pero, ¿cómo podemos realizar predicciones a largo plazo y así determinar la eventual recurrencia de algún evento, diferenciando la contribución antropogénica de la variabilidad natural? Sólo es posible si contamos con datos observados de larga data, robustos y confiables que sirvan de entrada a los modelos climáticos.

En tanto, para predecir y generar alertas tempranas de eventos extremos –como aluviones, incendios forestales derivados de olas de calor, o tormentas inusuales– es también necesario contar con redes automáticas de monitoreo que recolecten, procesen y modelen estas observaciones en tiempo real.

“El monitoreo climático es la observación del comportamiento de la atmósfera y del océano. No obstante, se puede monitorear también la interacción con otros componentes del sistema climático que hacen las simulaciones más complejas y costosas en recursos de cómputos, como por ejemplo el suelo, las masas de hielo, las emisiones químicas o la vegetación”.

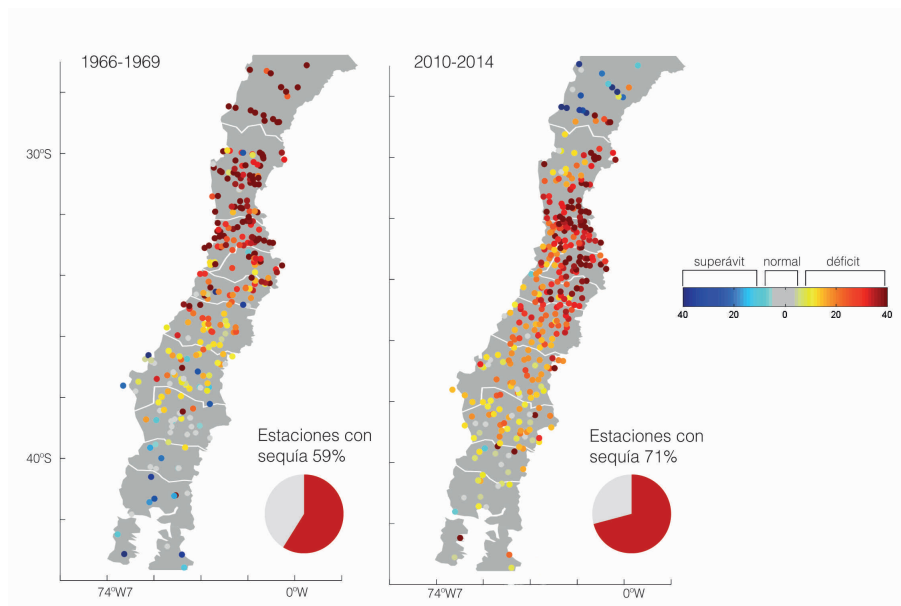


FIGURA 1. DÉFICIT O SUPERÁVIT PLUVIOMÉTRICO PARA LOS PERÍODOS 1966-1969 Y 2010-2014. EL DÉFICIT, EXPRESADO EN PORCENTAJE, SE CALCULA EN CADA ESTACIÓN COMO EL TOTAL ANUAL PROMEDIO DEL PERÍODO SECO DIVIDIDO POR EL PROMEDIO DE LARGO PLAZO (1970-2000).

FUENTE: LA MEGASEQUÍA 2010-2015: UNA LECCIÓN PARA EL FUTURO* ELABORADO POR (CR)2.

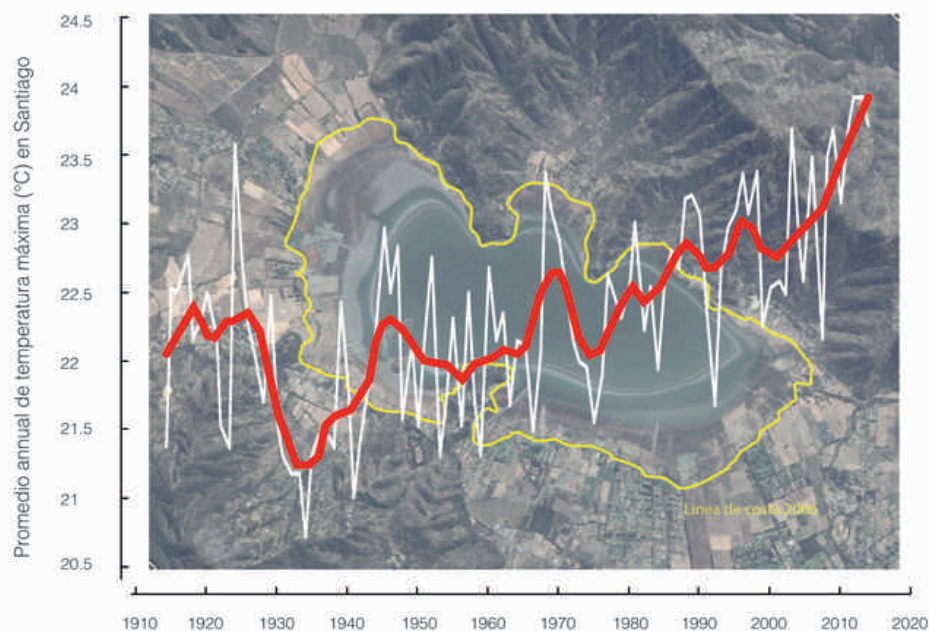


FIGURA 2. LÍNEA BLANCA: EVOLUCIÓN TEMPORAL DEL PROMEDIO ANUAL DE LA TEMPERATURA MÁXIMA EN LA ESTACIÓN QUINTA NORMAL (SANTIAGO) ENTRE 1914 Y 2014. CURVA ROJA: PROMEDIO MÓVIL DE TRES AÑOS. IMAGEN DE FONDO (GOOGLE EARTH TM) MUESTRA LA CONDICIÓN DE LA LAGUNA DE ACULEO EN ABRIL DE 2015 Y LA LÍNEA DE COSTA EN ABRIL DE 2016, ENFATIZANDO LA REDUCCIÓN DE SU ESPEJO DE AGUA.

FUENTE: "LA MEGASEQUÍA 2010-2015: UNA LECCIÓN PARA EL FUTURO" ELABORADO POR (CR)2.

EL NACIMIENTO DE LAS REDES DE MONITOREO CLIMÁTICO

Haciendo un poco de historia, tempranamente los observadores de los fenómenos naturales se dieron cuenta de que las tormentas se movían por la tierra, y podían llegar a afectar regiones distantes entre sí. Esto aumentó el interés de los meteorólogos por contar con observaciones de zonas o países vecinos. Pero no fue hasta fines de 1840 cuando la invención del telégrafo permitió el intercambio en tiempo real de las observaciones relacionadas con temperatura, viento, precipitación o nubes, entre regiones de Estados Unidos o países de Europa.

El principal interés fue la advertencia temprana de tormentas. En este mismo proceso, para que los datos fueran comparables entre sí y poder usarlos en análisis sinópticos, se decidió determinar horas fijas y simultáneas para realizar las observaciones. Definieron también una codificación y vocabulario estándar y un manejo consistente de los instrumentos (Figura 3).

En 1800 los meteorólogos ya comprendían algunos principios generales de movimientos atmosféricos de gran escala. El análisis de colecciones de datos históricos de distintas partes del globo, permitió comprobar relaciones entre temperatura y latitud, variaciones de las temperaturas promedio en distintas épocas del año y hemisferios. Se calcularon también anomalías* de temperatura global, con datos de 280 estaciones, para un período de referencia de 1736 a 1885, lo cual fue una hazaña extraordinaria para la época.

"Hasta el día de hoy, contar con la mayor cantidad de estaciones, y con largas series de tiempo, constituye un bien muypreciado en muchos ámbitos de la ciencia, que ayuda a entender mejor el sistema climático y sus fenómenos".

* VER GLOSARIO EN PÁGINA 41.



FUENTE: BBC.

OBSERVACIONES DE LA ALTA ATMÓSFERA

* VER GLOSARIO EN PÁGINA 41.

Posteriormente en la década del sesenta, el desarrollo de sensores especializados dio lugar a las ozonosondas*, que han entregado datos cruciales para la vigilancia de la atmósfera respecto de las alteraciones antrópicas como la desaparición del ozono estratosférico en la Antártica y el efecto en la estratósfera del calentamiento global. Ejemplos del uso de datos de ozonosondas para analizar la distribución vertical de Ozono en Santiago se pueden ver en Seguel *et al* 2013, y para observaciones de Isla de Pascua ver Gallardo *et al* 2016.

LA INCORPORACIÓN DE DATOS SATELITALES

Figure 1 illustrates the hardware components of the system. The components are interconnected as follows:

- GPS antenna** is connected to the **External shield**.
- The **External shield** is connected to the **Pressure sensor**.
- The **Pressure sensor** is connected to the **Arduino & Arduino shield**.
- The **Arduino & Arduino shield** is connected to the **Radio transmitter** and **Radio receiver**.
- The **Radio transmitter** is connected to the **Radio receiver**.
- The **Radio receiver** is connected to the **GPS module**.
- The **GPS module** is connected to the **GPS antenna**.
- The **GPS antenna** is connected to the **Camera**.
- The **Camera** is connected to the **Arduino & Arduino shield**.
- The **Arduino & Arduino shield** is connected to the **Linear Actuator Release system**.
- The **Linear Actuator Release system** is connected to the **Sensor shield**.
- The **Sensor shield** is connected to the **Arduino & Arduino shield**.

FIGURA 4. RADIOSONDA CONSTRUIDA POR ALUMNOS DE LA FCFM. MIDE TEMPERATURA, HUMEDAD RELATIVA, PRESIÓN Y VIENTO, ADEMÁS DE TOMAR FOTOGRAFÍAS. MÁS REFERENCIAS EN “THE LIFE-CYCLE OF A RADIOSONDE” FLORES ET AL 2013.

En Chile, si bien la Dirección Meteorológica (DMC) cuenta con estaciones automáticas desde

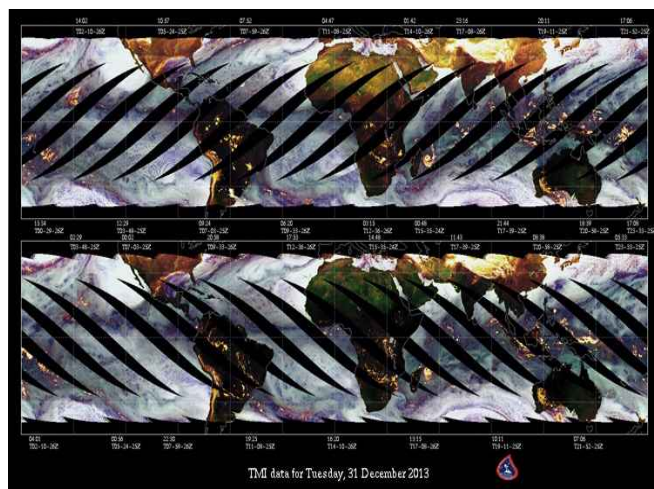


FIGURA 5.

IMAGEN RECONSTRUIDA DE MEDICIONES EN ONDA MICROONDA DEL SATÉLITE TRMM, PARA UN DÍA ESPECÍFICO.

FUENTE: NASA.

2012, mantiene su red de estaciones convencionales. Se lanzan radiosondas desde cinco estaciones al menos una vez al día, como parte del sistema de la OMM, y una ozonsonda desde Isla de Pascua ocasionalmente (un lugar especialmente privilegiado en el mundo para realizar mediciones, por su ubicación al medio del Océano Pacífico, de acuerdo a Gallardo *et al* 2016). Cabe destacar que Chile no cuenta con un radar meteorológico*, instrumento usado en muchos países para diagnosticar en tiempo real eventos de precipitación extremos.

Por otro lado, implica esfuerzos técnicos y económicos, las comunicaciones dedicadas a un sistema central, la construcción y mantención de la base de datos, así como la generación de controles de calidad, y la disponibilidad de los datos a tiempo y por los canales apropiados.

Para obtener datos confiables, es extremadamente importante contar con instrumentos bien calibrados, con un detallado registro de mantenimientos y cambios de ubicación, evitar pérdida de datos por comunicaciones defectuosas, o respaldos inadecuados.

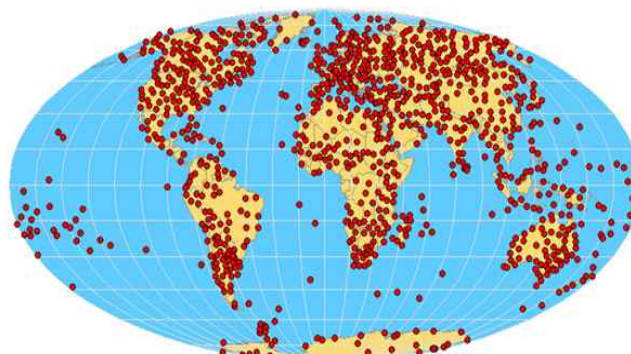
En relación con las redes de monitoreo superficiales, es necesario conocer la adecuada ubicación, densidad y cuantificar la cantidad de información que pueden aportar. Estos temas constituyen un área de investigación que ha estado desarrollando el (CR)2. Se han diseñado métodos para establecer la calidad –en términos de qué estaciones son representativas de su zona, o qué estaciones proporcionan información especial– y la evolución de las redes usando métodos estadísticos (Osses *et al*, 2013), y herramientas de análisis variacional (Henríquez *et al*, 2015). Esta investigación se ha aplicado a redes de calidad del aire de Santiago, y se encuentra en desarrollo su uso para analizar redes de estaciones de datos meteorológicos de Chile.

HOY EN EL MUNDO: SISTEMAS DE OBSERVACIÓN

Los desafíos actuales apuntan a manejar las crecientes fuentes de información, incorporarlas a

GCOS Surface Network

(1017 Stations)



GCOS Secretariat, 1 March 2014

FIGURA 6.

RED DE ESTACIONES SUPERFICIALES DEL SISTEMA GLOBAL DE OBSERVACIÓN DEL CLIMA (GCOS). ESTACIONES SELECCIONADAS DE LA RED COMPLETA, CON ESTÁNDARES ESTRUCTOS ORIENTADOS A MONITOREAR EL CAMBIO CLIMÁTICO.

FUENTE: ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE METEOROLOGÍA.

las simulaciones y así proporcionar servicios climáticos. Éstos son información climática procesada, de utilidad para la planificación o toma de decisión de sectores productivos u otros sectores específicos de la sociedad.

Para monitorear y predecir fenómenos asociados al cambio climático, así como apoyar a las naciones en la implementación de medidas de adaptación y mitigación, están confluyendo varias iniciativas tendientes a la integración y estandarización en los formatos y comunicaciones de los distintos componentes de los sistemas de observación, como asimilación de datos*, reanálisis* del clima de la Tierra y escenarios modelados, basados en una serie de proyecciones climáticas.

MODERNIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE LA OMM

En la actualidad, los datos meteorológicos se reúnen a través de las redes nacionales de observación terrestre, marítima, desde aeronaves, radiosondas y radares terrestres de los servicios meteorológicos nacionales. Las plataformas sate-

* VER GLOSARIO EN PÁGINA 41.

litas en tanto, muchas veces son administradas por conjuntos de países con convenios de colaboración o intereses en común.

Históricamente, la entidad coordinadora es la Organización Mundial de Meteorología (OMM), cuyo Sistema Mundial de Observación (SMO) congrega 11.000 estaciones de observación terrestre, 4.000 estaciones de buque —que realizan mediciones al menos cada tres horas, u horaria— 1.200 boyas a la deriva con estaciones meteorológicas automáticas, y 1.300 estaciones que lanzan sondas regularmente 1 o 2 veces al día. Además

recibe información de unas 300 aeronaves sobre vientos y temperaturas. Todos estos datos (incluidos los reportes horarios de las estaciones chilenas) se transmiten por el Sistema dedicado de Telecomunicaciones Globales de la OMM (Figura 6).

Pero la OMM está reestructurando tanto sus sistemas de observación, que hasta ahora funcionaban de manera independiente, como su sistema de comunicaciones. El Sistema Mundial de Observación (SMO), la Vigilancia de la Atmósfera Global (VAG) y el Sistema Mundial de Observación del

Ciclo Hidrológico (WHYCOS), pasarán a formar parte de un sistema integrado, que funcionará sobre una plataforma de comunicación e información común, que utilizará también Internet y servicios web: WMO Integrated Global Observing System WIGOS (www.wmo.org).

LAS OBSERVACIONES EN LOS SERVICIOS CLIMÁTICOS

Las bases de datos meteorológicos del mundo, están dejando de ser meros catálogos que apuntan a archivos descargables, para comenzar a

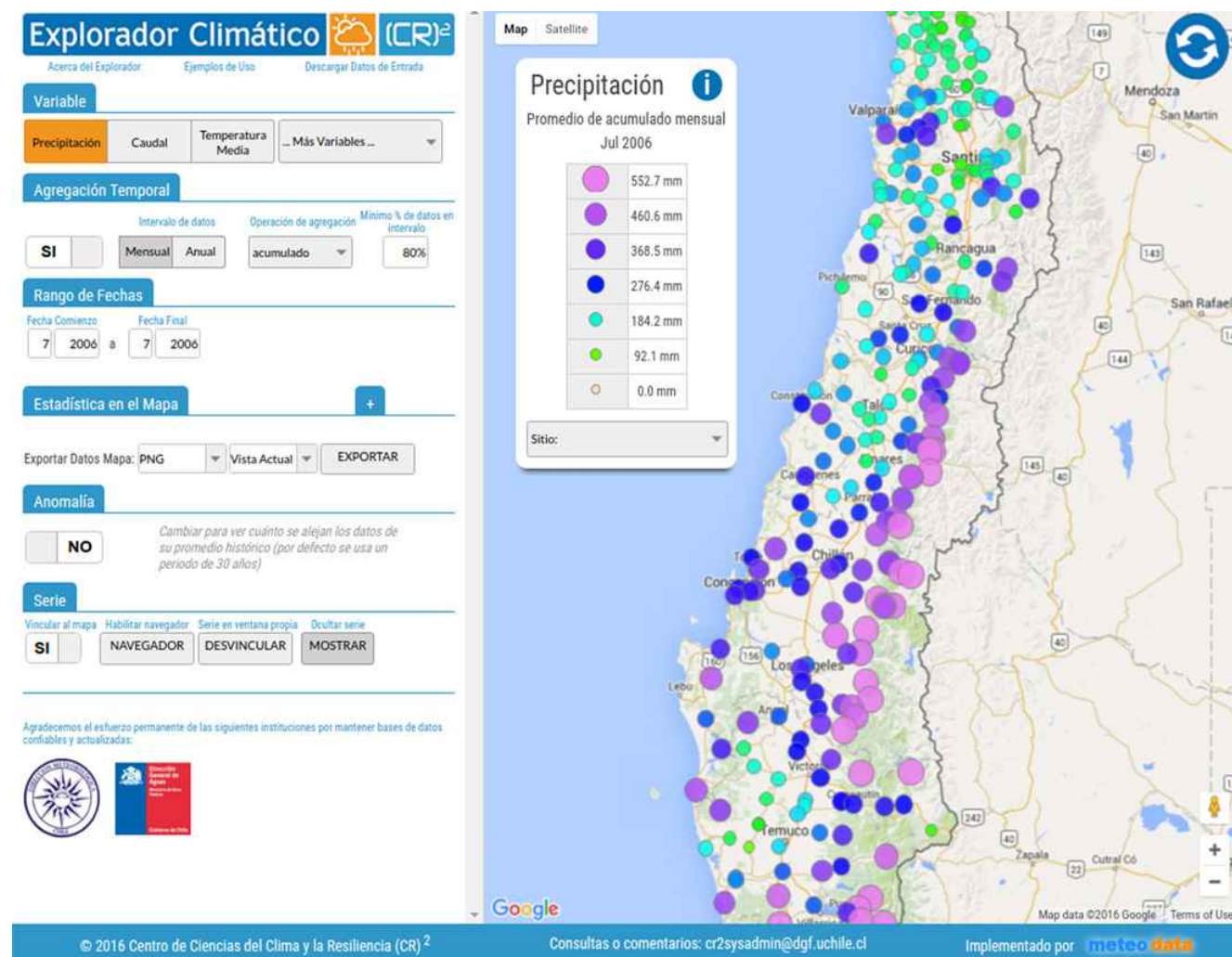


FIGURA 7. EXPLORADOR CLIMÁTICO, DESARROLLADO POR EL (CR)2, CUENTA ACTUALMENTE CON DATOS DE LA DIRECCIÓN METEOROLÓGICA DE CHILE Y LA DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS.

FUENTE: (CR)2.



FIGURA 8.

ESTACIÓN METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA DEL DEPARTAMENTO DE GEOFÍSICA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS (FCFM) DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE. FUENTE: DEPARTAMENTO DE GEOFÍSICA, FCFM, DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE.



FIGURA 9.

FOTOGRAFÍA DE CUMULONIMBUS, TOMADA DESDE EL TECHO DEL DEPARTAMENTO DE GEOFÍSICA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS (FCFM) DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE, POR EL PROF. ROBERTO RONDANELLI.

proveer servicios web, interfaces para desarrolladores y aplicaciones útiles para usuarios finales. En Chile por ejemplo, (CR)2 está desarrollando un Explorador Climático que permite visualizar mapas y series de tiempo de variables meteorológicas de interés (<http://explorador.cr2.cl>), y acceder a los datos con una interfaz automatizada (Figura 7).

Desde 2002 se ha visto en cumbres internacionales el amplio interés en las observaciones terrestres relativas a desastres naturales, salud, energía, clima, agricultura, ecosistemas, biodiversidad y agua. Esto llevó a la creación del Grupo de Observaciones de la Tierra (GEO) en 2005, del cual participan 100 países incluido Chile, y 93 organizaciones incluida la OMM, que incorporará sus datos y sistemas a la plataforma que propone GEO. Esta plataforma común es GEOSS, que espera ser el Sistema Global de Sistemas de Obser-

vaciones de la Tierra, basado en redes de observación ya existentes de datos intersectoriales y multidisciplinarios, sistemas de visualización y productos en línea, sobre una base de comunicación interoperable y metadatos estandarizados.

Copernicus es la iniciativa de Europa para aportar a GEOSS, que congrega los sistemas de observación terrestres, aéreos, marinos y satelitales de Europa. El objetivo es generar servicios climáticos para múltiples ámbitos productivos y sociales. Las primeras implementaciones son: el Servicio de Monitoreo de la Atmósfera que vigila los cambios en la composición química de la atmósfera y provee pronósticos diarios de calidad del aire y Gases de Efecto Invernadero, y el Servicio de Monitoreo del Clima, que aún se encuentra en desarrollo y que servirá para monitorear y predecir el cambio climático y sus impactos en sectores económicos relevantes.

En el contexto de los desafíos y los avances que estamos viendo a nivel mundial, desde Chile debemos tener la suficiente claridad de la importancia y la necesidad de mejorar nuestros sistemas de observación, nuestros registros y la forma de compartirlos, tanto para nuestras predicciones y escenarios futuros, como para la integración de los datos a nivel mundial. Es urgente que se disponga de recursos económicos, traducidos, por ejemplo, en instrumentación necesaria y mayor investigación en este campo; en recursos humanos, con profesionales a la vanguardia de los estándares internacionales; y repensar la institucionalidad actual para darle más relevancia a nuestras organizaciones actualmente a cargo de estas materias. Chile requiere de mayores avances en el campo de la climatología y la meteorología, tiene mucho por avanzar y mucho que aportar y sin lugar a dudas ésta es una disciplina transversal a todos los sectores económicos y sociales del país. ■

REFERENCIAS

Jennings, S. (2011) Time's Bitter Flood: Trends in the number of reported natural disasters, Oxfam GB IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

CR2 «La megasequía 2010-2015: una lección para el futuro» Informe a la Nación del Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2.

Boisier, J. P., R. Rondanelli, R. D. Garreaud, and F. Muñoz (2015), Anthropogenic and natural

contributions to the Southeast Pacific precipitation decline and recent mega-drought in central Chile, *Geophys. Res. Lett.*, 42.

Rutllant, J., Muñoz, R., Garreaud, R. 2013. Meteorological observations in the northern Chilean coast during VOCALS-Rex. *Atmospheric Chemistry and Physics. VOCALS-REx Special Issue*. 13, 3409-3422.

Seguel, R., Mancilla, C., Rondanelli, R., Leiva, M., Morales, R (2013). Ozone distribution in the lower troposphere over complex terrain in Central Chile *Journal of Geophysical Research Atmospheres* VOL. 118, 1–15.

Gallardo, L., Henríquez, A., Thompson, A. M., Rondanelli, R., Carrasco, J., Orfanos-Cheuquela, A. and Velásquez, P., The first twenty years (1994-2014) of Ozone soundings from Rapa Nui (27°S, 109°W, 51m a.s.l.), *Tellus B*, 2016. (Accepted).

Osses, A., Gallardo, L. and Faúndez, T. (2013). Analysis and evolution of air quality monitoring networks using combined statistical information indexes. *Tellus B* 65.

Flores, F., Rondanelli, R., Díaz, M. Querel, R., Mundry, K., Herrera, L.A., Pola, D., Carricajo, T. (2013): The Life Cycle of a Radiosonde. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 94, 187–198.

GLOSARIO

Sinóptico: fenómenos meteorológicos de escalas temporales de días y miles de kilómetros de extensión.

Anomalía: cantidad en que se aleja la variable meteorológica de su promedio histórico (típicamente un período de 30 años o más).

Radiosonda: instrumento que mide variables meteorológicas en distintos niveles de presión y las transmite a un aparato receptor fijo. Se lanza a la estratósfera usando un globo inflado con helio o hidrógeno.

Ozonosonda: similar a una radiosonda, pero con un sensor que también mide la concentración de ozono en distintos niveles.

Modelo meteorológico: Programa que resuelve las ecuaciones de movimiento de la atmósfera.

Satélites meteorológicos: tipos de satélites que pueden estar fijos rotando a la misma velocidad que la Tierra (geoestacionario) capturando imágenes periódicamente, o de órbita polar (recorren la Tierra de polo a polo), que cuentan con sensores pasivos que miden radiaciones microonda que provienen de la Tierra, o sensores activos como los radares (este es el único instrumento desde el espacio que puede observar de manera inequívoca la presencia de precipitación).

Radar meteorológico: son sensores activos que emiten un pulso en microonda electromagnética,

capaz de observar precipitación. Puede estar ubicado en tierra firme o adosado a un satélite.

Reanálisis: campos generados por un modelo meteorológico que incorpora observaciones.

Asimilación de datos: incorporación de observaciones (de superficie, satelitales, de radiosonda, aeronaves, etc.) de manera de ajustar un modelo físicamente.

REDES DE SENSORES Y SISTEMAS CIBERFÍSICOS

AL SERVICIO DE SISTEMAS
DE TRANSPORTE
INTELIGENTE





SANDRA CÉSPEDES

Profesora Asistente Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Chile. Ph.D. Electrical and Computer Engineering, University of Waterloo, Canadá. Ingeniera Telemática Universidad Icesi, Colombia. Áreas de interés en investigación: redes de comunicaciones vehiculares, sistemas de transporte inteligente, protocolos de red para manejo de movilidad, comunicaciones en Smart Grid, integración de IPv6 y enrutamiento en la Internet de las Cosas. scspedes@ing.uchile.cl

Con la introducción de las redes de comunicaciones e Internet en la década de los setenta, nuestras vidas han ido experimentando grandes cambios debido a la incorporación de tecnologías de comunicación en ámbitos cada vez más impensables. Desde la ubicuidad de conectividad mediante múltiples dispositivos que nos acompañan todo el tiempo (celulares, tabletas, laptops, relojes inteligentes, etc.), pasando por autos que se comunican entre sí para evitar accidentes, sensores desplegados en nuestros campos para la recolección y transmisión de información crucial para procesos de agricultura, hasta nanosensores instalados directamente en nuestra piel para monitorear signos vitales.

Muchos de estos sistemas “inteligentes” se iniciaron con el despliegue de sensores especializados que recolectaban información del mundo físico de manera aislada, pero rápidamente evolucionaron hacia lo que se conoce como *redes de sensores*, donde un nodo-sensor además de captar información tiene capacidades de recepción/transmisión desde y hacia otras entidades. Así, la información recolectada se puede procesar de manera eficiente, pero sobre todo oportunamente, e incluso en tiempo real.

Hoy en día, la mayoría de estas redes de sensores se han encapsulado bajo un término más complejo denominado como *sistemas ciberfísicos*,

los cuales ya no solo involucran recolección y transmisión de información, sino también elementos de computación para el procesamiento de datos, elementos de control para ejecución de acciones automatizadas sobre el mismo sistema (o incluso sobre sistemas externos), elementos de diseño de interfaces humano-máquina para la interacción del sistema con humanos (cuando se requiere), y por supuesto elementos confiables de comunicación para la interacción exitosa de todos los agentes interconectados.

Para sumar más términos a la ecuación, cuando los agentes involucrados –en particular aquellos que hacen parte del “mundo físico”– están conectados a Internet, se catalogan bajo lo que conocemos como la *Internet de las cosas*. Es así como las redes de sensores han pasado a ser un elemento crítico, pero no el único, en una red de agentes que tiene como fin expandir las capacidades del mundo físico tal y como hoy lo conocemos, para entender y automatizar procesos, pero sobre todo para tomar decisiones informadas y de amplio alcance.

En este artículo hablaremos en particular del uso de redes de sensores en ambientes móviles y que a su vez conforman un sistema ciberfísico. Un ambiente móvil por excelencia es aquel formado por la red de transporte urbano. Allí, la

conexión al mundo físico está presente en la forma de sensores a bordo de vehículos, cámaras de video, aplicaciones de radar, entre otros. Para habilitar el intercambio de información inicialmente se propuso que los autos estuvieran habilitados con comunicaciones vehículo a vehículo (V2V, por su sigla en inglés) y vehículo a infraestructura (V2I, por su sigla en inglés), es decir conexión entre autos o desde el auto hacia estaciones base o puntos de acceso instalados en postes, señales de tránsito, semáforos, entre otros. De esta manera se contará con la plataforma para desplegar aplicaciones como prevención de accidentes, alarmas ante incidentes, control de navegación para gestión de tráfico, y coordinación de pelotones en las autopistas, haciendo que los sistemas de transporte inteligente puedan ser una realidad.

Sin embargo, la información que proviene de la red vehicular puede ser de interés no solo para los vehículos que están cerca sino también para nodos remotos conectados a través de Internet. Por ejemplo, un auto es monitoreado de forma remota en tiempo real por parte del fabricante, de manera que se pueda verificar su desempeño e incluso se prevengan posibles daños mediante la identificación temprana de problemas. Es así como los sistemas de transporte son también un área de aplicación de la Internet de las Cosas.

Una vez habilitada la comunicación en la red de transporte, una gran cantidad de información proveniente de los sensores estará disponible para alimentar sistemas remotos para aplicaciones de control de congestión, manejo de flotas y rastreo de vehículos, distribución de contenidos para sistemas de entretenimiento a bordo, monitoreo de variables medio ambientales y urbanas, entre otras. De hecho, muchas de estas funcionalidades ya están siendo provistas hoy en día por algunos fabricantes en autos de gama alta, con un producto denominado en inglés como "connected cars", en el cual se habilita en un plan celular de datos integrado al computador del vehículo o a través del teléfono móvil del usuario.

En el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Chile venimos desarrollando proyectos que involucran sistemas ciberfísicos en el área de transporte urbano. Nuestra investigación está orientada bajo el entendido de que la interacción entre todos los actores de un sistema de transporte, es decir vehículos, peatones, bicicletas y transporte público, forman una gran red urbana de sensores que puede ser aprovechada con diferentes objetivos (por ejemplo control de congestión, prevención de accidentes, etc.) [1][2]. El intercambio de información involucra no solo la conexión directa entre sen-

sos e Internet, sino también el intercambio de información en la red *peer-to-peer* formada por todos los actores del sistema de transporte urbano. A continuación se describen algunos de los proyectos actualmente en desarrollo.

SISTEMA DE COOPERACIÓN DE BICICLETAS INTELIGENTES

En muchas ciudades, incluyendo Santiago, el uso de las bicicletas en entornos urbanos se ha ido incrementando de manera estable en la última década. Por supuesto, los beneficios del uso de formas alternativas de transporte son notorios; entre los más destacados están la reducción de contaminación y congestión vehicular. Sin embargo, en algunas ciudades (en particular ciudades europeas que llevan muchos años promoviendo el uso de la bicicleta), el incremento de ciclistas en las vías ha llegado al punto de desbordar la infraestructura existente, acarreado con ello un incremento en los riesgos de accidentes y cuellos de botellas que aparecen debido a gran-

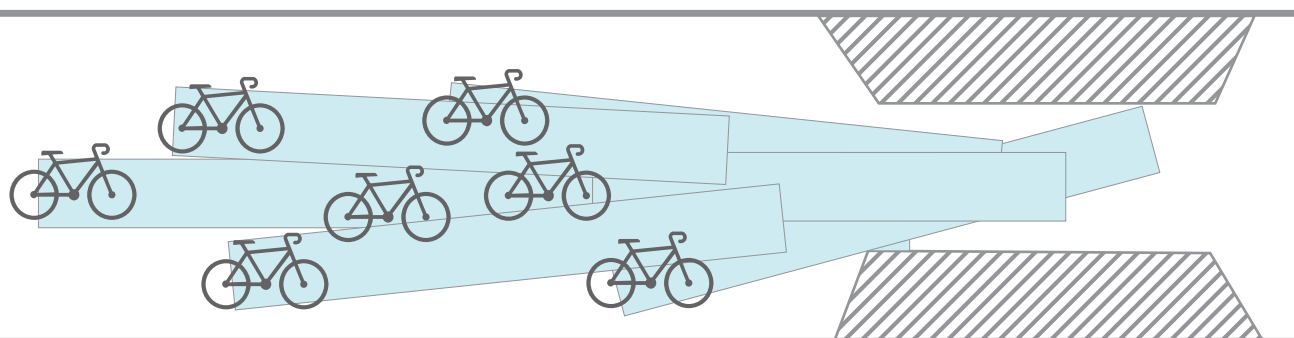


FIGURA 1. A
CUELLOS DE BOTELLA Y RIESGO DE ACCIDENTES EN CICLOVÍAS CONGESTIONADAS.

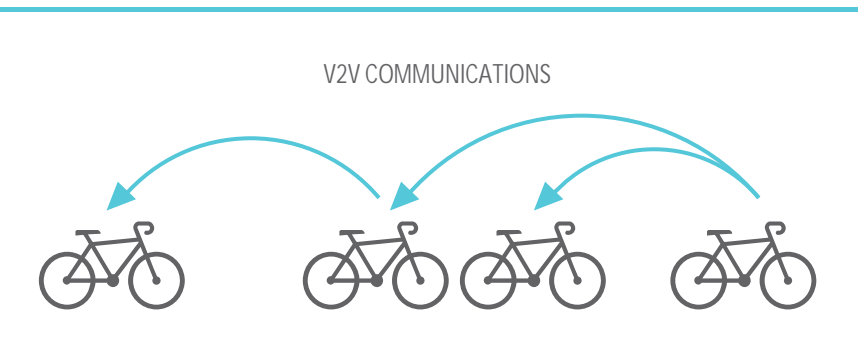


FIGURA 1. B
COORDINACIÓN PROPUESTA MEDIANTE COMUNICACIONES V2V.

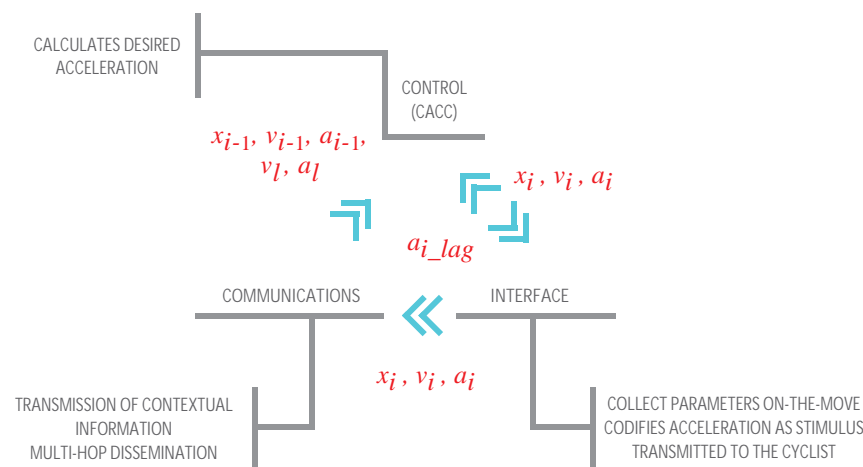
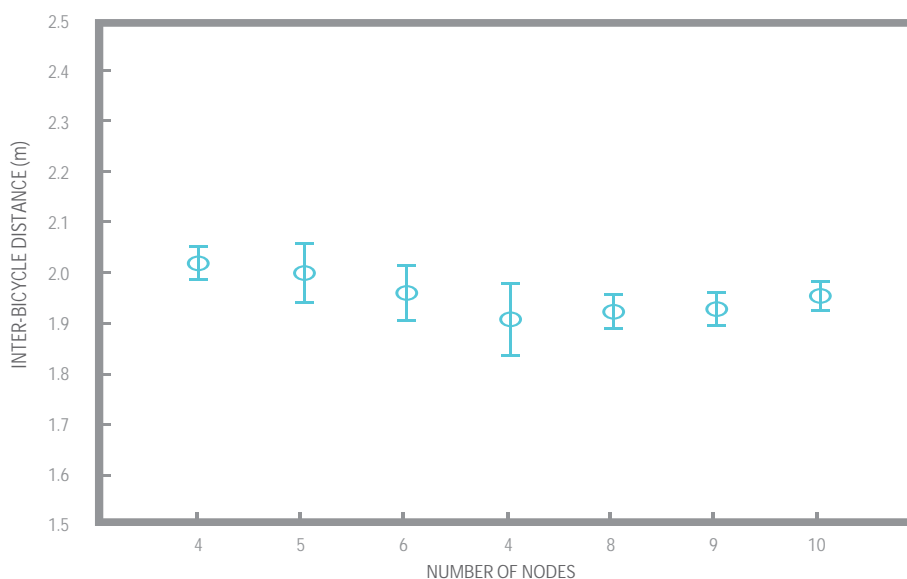


FIGURA 2.
COMPONENTES DEL SISTEMA PARA COORDINACIÓN DE CICLISTAS CONECTADOS EN RED.



des aglomeraciones de ciclistas (Figura 1.a). Nuestro proyecto, desarrollado en colaboración con la Universidad Icesi (Colombia) enfrenta estos problemas mediante la incorporación de la conducción colaborativa –algo actualmente pensado para flotas de camiones de transporte– en el ciclismo urbano (Figura 1.b).

Se propone entonces habilitar la coordinación de los ciclistas a través de un sistema denominado "Platoon-based cyclists cooperative system" (Figura 2) [3]. Dicho sistema se soporta en un módulo de control que implementa la lógica de coordinación del grupo de ciclistas [4], un módulo de comunicaciones V2V, y un módulo Interfaz a través del cual se recoge información de movimiento y ubicación del ciclista y además se interactúa con el ciclista como ejecutor de las instrucciones calculadas por el módulo de control. Para que la comunicación sea confiable y oportuna, las bicicletas se comunican entre sí mediante tecnología inalámbrica IEEE 802.15.4 (la misma tecnología base de ZigBee), y como parte del proyecto se desarrolló un mecanismo de disseminación multisalto, que permite que un grupo de hasta 10 bicicletas se puedan mover de forma coordinada, manteniendo la mejor velocidad posible (impuesta por el líder del grupo), pero al mismo tiempo guardando una distancia segura entre cada par de bicicletas. En la Figura 3 se puede observar el resultado de simulaciones del sistema usando grupos desde 4 hasta 10 bicicletas, donde el objetivo es lograr mantener una distancia segura de 2 m. El prototipo, actualmente en desarrollo en Colombia, cuenta además con un novedoso mecanismo para indicar al ciclista cuál es la aceleración objetivo que debe alcanzar de manera de mantener su coordinación dentro del grupo.

FIGURA 3.
DISTANCIA OBTENIDA MEDIANTE SIMULACIONES PARA UN GRUPO DE 10 BICICLETAS CON DISTANCIA OBJETIVO DE 2 M.

APROVECHAMIENTO DE DIVERSIDAD DE ACCESO EN REDES VEHICULARES HETEROGÉNEAS

Este proyecto considera a todos los actores del transporte urbano interactuando entre sí: peatones, autos y bicicletas. El objetivo general es explotar la diversidad existente de redes de

acceso inalámbrico (celular, WiFi, DSRC y conectividad V2V) de manera que se diseñen mecanismos efectivos de diseminación de información al beneficio de aplicaciones de eficiencia de

tráfico. El modelo de red heterogéneo sobre el cual se trabaja es ilustrado en la Figura 4.

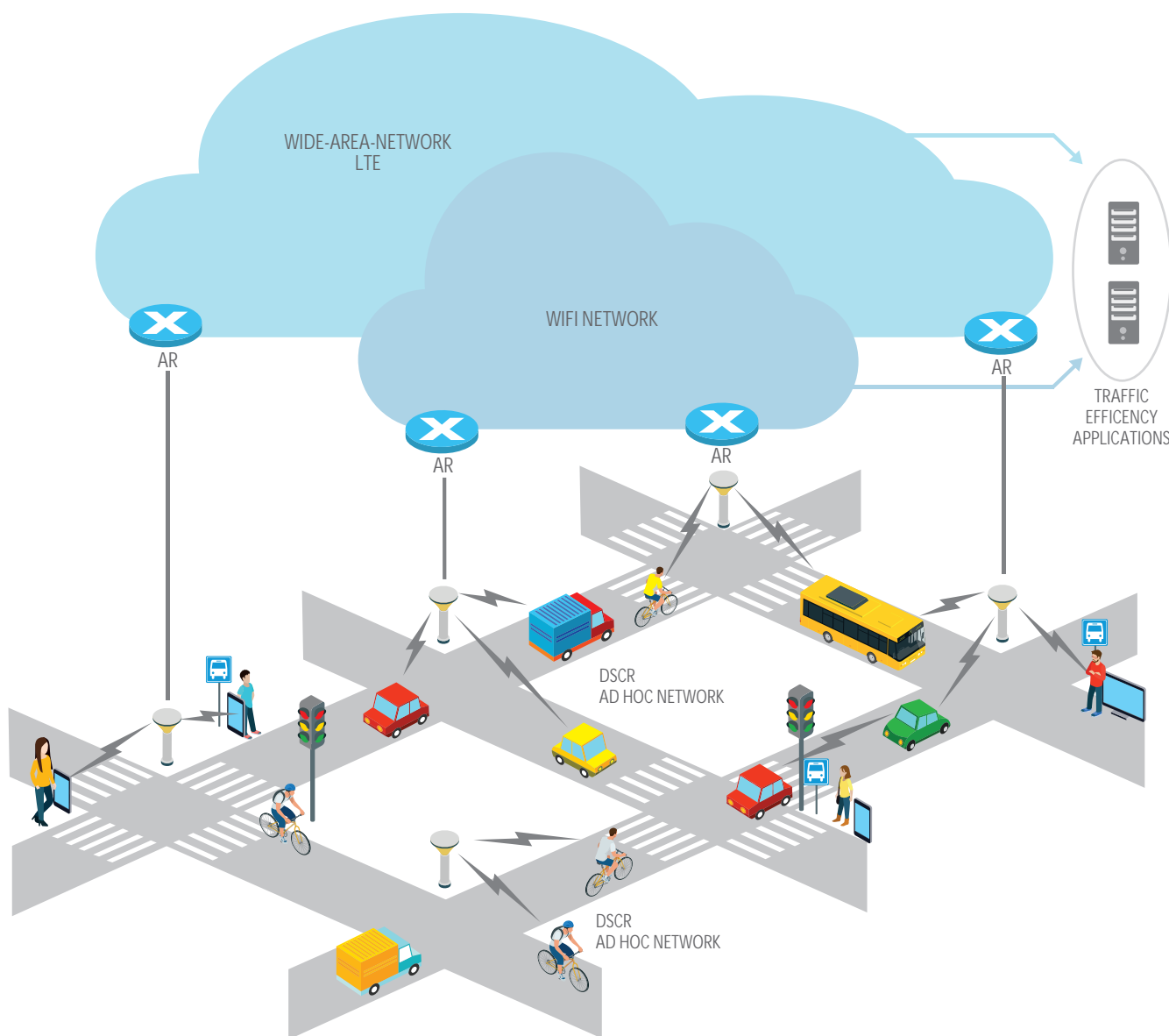


FIGURA 4.
TRANSPORTE URBANO CON EXPLOTACIÓN DE REDES HETEROGÉNEAS DE ACCESO INALÁMBRICO.

Una aplicación actualmente en desarrollo, en colaboración con estudiantes del NIC Chile Research Labs, consiste en la predicción de giro abrupto del líder de un pelotón de autos (i.e., un grupo de vehículos ejerciendo conducción coordinada). A través de los sensores a bordo y comunicaciones V2V, miembros del grupo son capaces de estimar el giro abrupto y notificar a las bicicletas en riesgo acerca de la posibilidad de colisión. De esta manera se pretende reducir el riesgo de colisión en vías mixtas (i.e., un carril de autos contiguo al carril de bicicletas). También se ha propuesto un sistema de notificación postcolisión, el cual permite notificar a autos

dentro de un área de interés específica (i.e., en un área cercana al lugar del incidente) acerca de la colisión. La transmisión de la información se debe hacer con una latencia mínima, de manera que autos cercanos puedan reaccionar a tiempo y evitar mayores consecuencias [5]. Es por esto que se requieren protocolos de enrutamiento que garanticen la entrega de información crítica con altas restricciones en cuanto al retardo permitido.

Como se puede apreciar a partir de los trabajos descritos, la incorporación de redes de sensores e incluso de sistemas ciberfísicos permitirá que

sistemas tradicionales, como nuestro sistema de transporte urbano, puedan convertirse en fuentes de información valiosa para la toma de decisiones que en ciertos casos puede representar salvar vidas humanas. En este artículo hemos ilustrado algunos ejemplos de aplicaciones que combinan protocolos de comunicaciones para diseminación de información, redes inalámbricas móviles formadas por sensores en movimiento, procesamiento de información, mecanismos de control, y mecanismos de interacción humano-máquina que contribuyen al desarrollo de esta área de investigación multidisciplinaria. ■

PROYECTOS QUE HAN CONTRIBUIDO AL FINANCIAMIENTO DE ESTA INVESTIGACIÓN

“EXPLOITING NETWORK DIVERSITY FOR IMPROVED PERFORMANCE OF TRAFFIC EFFICIENCY APPLICATIONS IN URBAN VEHICULAR NETWORKS”. PROYECTO FONDECYT INICIACIÓN 11140045, 2014-2017.

COMPLEX ENGINEERING SYSTEM INSTITUTE, ISCI (ICM - FIC: P05-004-F, CONICYT: FB0816).

“EFFICIENT DATA DISSEMINATION IN HETEROGENEOUS VEHICULAR COMMUNICATION NETWORKS”. PROGRAMA U-INICIA VID 2014-005, 2014-2016.

“DISEÑO Y EVALUACIÓN DE MEDIADORES DE COMPORTAMIENTO DE AGENTES CONECTADOS EN RED”. CONVOCATORIA INTERNA UNIVERSIDAD ICESI, 2013-2016.

REFERENCIAS

[1] E. Magistretti, M. Gerla, P. Bellavista, and A. Corradi, “Dissemination and Harvesting of Urban Data Using Vehicular Sensing Platforms”, *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 58, no. 2, pp. 882–901, Feb. 2009.

[2] X. Yu, Y. Liu, Y. Zhu, W. Feng, L. Zhang, H. F. Rashvand, and V. O. K. Li, “Efficient sampling and compressive sensing for urban monitoring vehicular sensor networks”, *IET Wirel. Sens. Syst.*, vol. 2, no. 3, p. 214, 2012.

[3] S. Céspedes, J. Salamanca, A. Yáñez, C. Rivera, and J. C. Sacanamboy, “Platoon-based Cyclists Cooperative System” in *IEEE Vehicular Networking Conference*, Kyoto, 2015, pp. 112–118.

[4] R. Rajamani and H. Tan, “Demonstration of integrated longitudinal and lateral control for the operation of automated vehicles in platoons,” *IEEE Trans. Control Syst. Technol.*, vol. 8, no. 4, pp. 695–708, Jul. 2000.

[5] A. M. Orozco, S. Céspedes, R. Michoud, and G. Llano, “Design and simulation of a collision notification application with geocast routing for car-to-car communications”, *Eur. Transp. Res. Rev.*, vol. 7, no. 4, p. 36, Oct. 2015.

IPV6 UN DESAFÍO PENDIENTE PARA CHILE

Internet ha revolucionado el mundo en los últimos años, permitiendo nuevas formas de colaboración, de obtener información, de comerciar, de hacer nuestras actividades, de compartir con los amigos, de vivir. Naturalmente surge la pregunta, ¿qué es Internet? Y ésta es una pregunta difícil, cuya respuesta será muy diferente dependiendo de la persona. Para este artículo, nos interesa una respuesta como la que entrega Wikipedia, *"Internet es un conjunto descentralizado de redes de comunicación interconectadas que utilizan la familia de protocolos TCP/IP"*. En particular vamos a revisar la última parte de esa definición, la que se refiere a la familia de protocolos TCP/IP.



EDUARDO MERCADER

Ingeniero Civil en Computación, trabaja en NIC Chile. Tiene más de 25 años de experiencia en el diseño, construcción, prueba, instalación y mantención de sistemas y redes. Participa regularmente en consultorías, docencia y conferencias internacionales. Fue líder activo en la adopción de IPv6 en NIC Chile.
emercade@nic.cl

La gestación de Internet comienza a principios de los años sesenta, aunque podemos decir que con la creación de ARPANET a finales de 1969, es que comienza a existir realmente. El RFC 760 de enero de 1980 y luego el RFC 791 de septiembre de 1981 definen el Internet Protocol versión 4 (IPv4), que se complementa con la migración de ARPANET el 1 de enero de 1983 para usar este protocolo de comunicaciones, hecho que podríamos considerar como el nacimiento de la Internet actual. Desde ese origen, ésta se ha desarrollado incorporando diversos protocolos de mayor nivel para definir servicios como el correo electrónico o la Web, popularizando su uso. Pero, junto al éxito de esta tecnología, llegaron también las complicaciones. El crecimiento en las redes y equipos conectados mostró que la decisión original de usar 32 bits para las direcciones, había sido insuficiente. Por ello se comenzó a trabajar en diferentes protocolos para solucionar esto; los principales fueron la introducción del CIDR¹, la creación de un nuevo protocolo (que terminaría siendo IPv6) y la utilización de mecanismos de traducción de direcciones NAT, para dar acceso a grupos de direcciones privadas a la red pública.

IPv6 es un nuevo protocolo para su uso en Internet, definido originalmente con el RFC 1883 de diciembre de 1995. El protocolo IPv4, basado en direcciones de 32 bits, solo podía direccionar

una fracción de (4 mil millones) de dispositivos². El crecimiento exponencial de la red, hizo que ya en 1993 se realizasen trabajos como el RFC 1550 IPng (Next Generation) para tratar de resolver el problema. En la definición del nuevo protocolo, el direccionamiento utilizó direcciones de 128 bits, con lo que se podría alcanzar una fracción de ~ (billones de trillones) de dispositivos, cuyo número es en realidad difícil de imaginar pero que asegura el crecimiento de la red en el futuro cercano.

Cuando se dice que IPv6 es un nuevo protocolo, en realidad no es cierto, pues el protocolo ya tiene veinte años. Además, desde hace algunos años en Internet conviven tanto el protocolo original (IPv4) como el nuevo (IPv6). El éxito de los mecanismos alternativos, desarrollados para aumentar la disponibilidad del espacio de direcciones de IPv4, es uno de los motivos por los que se ha retrasado la implantación del nuevo protocolo, situación que también complicará la necesaria transición.

El problema es que la disponibilidad de prefijos IPv4 (direcciones) está llegando a su fin. Las direcciones IP son distribuidas en forma centralizada. IANA administra el universo de direcciones y existen distribuidores regionales (RIR), que a su vez las entregan a usuarios finales o a distribuidores locales (LIR).

¹ CIDR: Ruteo InterDominio sin considerar la Clase, RFC 1519 de septiembre de 1993.

² En realidad son bastantes menos, debido a la necesidad de definir direcciones de red y direcciones de dispositivos.

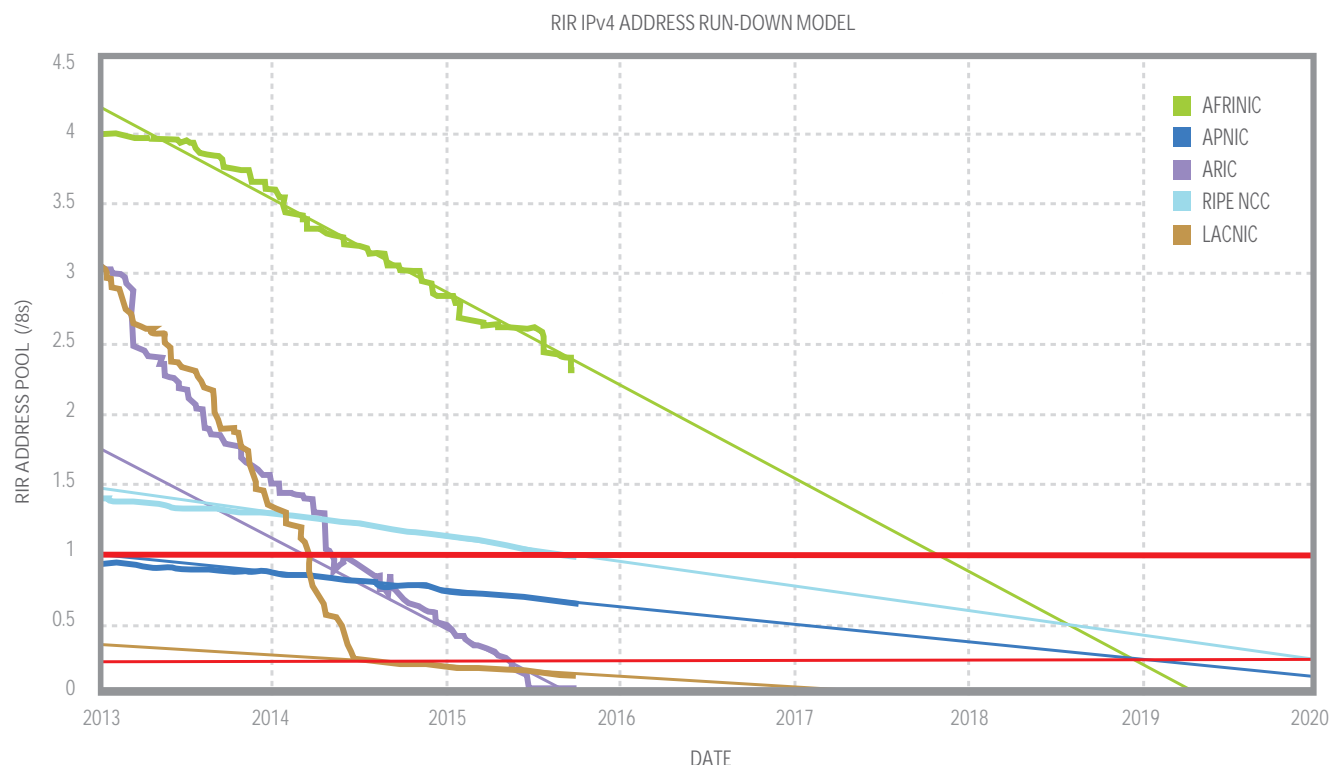


FIGURA 1.
DISPONIBILIDAD DE DIRECCIONES IPV4 EN LOS RIR.

La Figura 1 muestra la disponibilidad de direcciones IPv4 en los RIR.

La Tabla 1 muestra la disponibilidad y fecha estimada de agotamiento para IANA y los RIR³.

Por otro lado, la adopción de IPv6 a nivel mundial aún es baja. Los diagramas de la Figura 2 muestran la adopción tanto a nivel mundial como sudamericano.

La historia en Chile al respecto registra que los primeros prefijos IPv6 fueron solicitados el año 2002 por la Universidad Austral de Chile, a la cual le seguirían REUNA en 2003 y NIC Chile en 2005. La zona de .CL permite registrar servidores de nombres con direcciones IPv6 a partir del año 2003, por un requerimiento de la Uni-

versidad Austral de Chile. En 2007 se realiza la Conferencia IPv6 en Chile⁵, organizada por NIC Chile y patrocinada por LACNIC, NIC Chile, SUBTEL, CNNN, GTD y Cisco, en la cual GTD Internet provee un enlace nativo IPv6, que sería accesible a los participantes vía WiFi. En 2008 GTD Internet comienza a vender enlaces IPv6 nativos. Posteriormente se han realizado algunas iniciativas para promover su adopción, incluyendo eventos, conferencias e incluso un proyecto CORFO (IPv6 para Chile) para la instalación de un PIT (punto de intercambio) y un laboratorio experimental, que se desarrolló entre los años 2010 y 2012, cuyo mandante fue la Subsecretaría de Telecomunicaciones, los desarrolladores NIC Chile Research/Duam y los interesados VTR, Telefónica, ENTEL, Claro/Telmex, Cisco y el Ministerio del Interior.

¿Cuál es la situación actual?

Existen algunos ISP que proveen servicios IPv6, pero la adopción sigue siendo muy baja. A septiembre de 2015, Chile disponía de solo 105 prefijos IPv6, ocupando la posición número 42 a nivel mundial⁶. Considerando las estadísticas provistas por grandes proveedores de servicios de Internet a nivel mundial tenemos que, mientras la adopción a nivel mundial de los usuarios de Google es del 9.95%, en Chile es del 0.02%.

¿Cuál es el costo de la no adopción?

El no haber avanzado en la adopción no será gratuito. El Reino Unido ha comenzado la venta de parte de un prefijo /8 de IPv4 del Estado que no estaban usando, obteniendo 600.000 libras

³ Fuente: <http://www.potaroo.net/tools/ipv4>

⁴ Fecha de agotamiento: fecha en que el grupo de direcciones de disponibilidad general se agota, quedando disponibles solo aquellas para cumplir las políticas de transición a IPv6.

⁵ <http://www.ipv6enchile.cl>

⁶ Fuente: <http://www.sixxs.net/tools/grh/dfp/all/?country=cl>

TABLA 1.
 DISPONIBILIDAD Y FECHA ESTIMADA DE AGOTAMIENTO PARA IANA Y LOS RIR.

FIGURA 2.
MAPA DEL NIVEL DE ADOPCIÓN DE IPV6 A NIVEL MUNDIAL Y SUDAMERICANO.

Considerando que en la práctica, en aspectos tecnológicos, el Estado de Chile ha sido un elemento motivador e impulsor de la innovación, sería recomendable la aceleración de los planes de adopción por parte del Estado del protocolo IPv6, incluyendo en cada renovación de enlaces Internet, como requerimiento obligatorio el soporte de IPv6 nativo. Esto motivaría a los ISP a incluir en su oferta este producto y a su vez, realizar las acciones necesarias para acelerar su adopción en sus propias redes. Esta será una cadena virtuosa que acelerará la adopción permitiendo al país mejorar su situación actual al respecto. ■



8 Ver estudio: http://www.asgard.org/images/pricing_v1.3.docx



EL CORTE DE SHAKARIAN

La Real Academia Española define resiliencia como:

- 1.- Capacidad de adaptación de un ser vivo frente a un agente perturbador o un estado o situación adversos.
- 2.- Capacidad de un material, mecanismo o sistema para recuperar su estado inicial cuando ha cesado la perturbación a la que había estado sometido.

Cuando llevamos este término a Internet y las redes de comunicaciones, ¿qué se entiende cuando hablamos de resiliencia?, específicamente, ¿qué se entiende como una red resiliente?



IVANA BACHMANN

Estudiante de Magíster en Ciencias mención Computación, Departamento de Ciencias de la Computación, Universidad de Chile (DCC). Asistente de Investigación NIC Labs. Líneas de investigación: Redes Interdependientes, resiliencia en redes.

ivana@niclabs.cl



JAVIER BUSTOS

Director de NIC Labs, laboratorio de investigación de NIC Chile. Profesor Adjunto del Departamento de Ciencias de la Computación (DCC), Universidad de Chile. Doctor en Informática, Universidad de Niza Sophia-Antipolis, Francia. Líneas de investigación: Redes, Sistemas Distribuidos, Dispositivos Móviles.

jbustos@niclabs.cl

Tal vez usted pensó en la capacidad que tiene la red para soportar la caída de alguno de sus componentes, eso es tolerancia a fallas. Entonces pensó en una medida de qué tan buena es la red para soportar esas caídas, esa son métricas de robustez. ¿Cuánto toma en arreglarse el servicio? Eso se define en un *Service Level Agreement* (SLA). ¿Cuántas caídas soporta la red antes de colapsar? Esas son métricas de percolación.

Entonces ¿qué se entiende como resiliencia de redes? Es una mezcla de todo lo anterior: métricas de tolerancia a fallas, estimación de pérdida por falla de una componente, estimación de tiempos y causas de percolación, órdenes de magnitud de pérdida que produce la falla, y estimaciones de tiempo de recuperación. En redes complejas, como el Internet actual, es un tema bastante difícil (y por lo tanto interesante) de estudiar.

Desde el punto de vista más simple se puede tomar a Internet como una red de dos dimen-

siones: la física (cables, fibra, etc.) y la lógica, representada por ejemplo por la red resultante del protocolo BGP¹, donde los ISPs intercambian la información de sus rutas mediante el uso de Sistemas Autónomos (conocidos por su sigla AS en inglés). Por lo tanto, la topología de Internet se puede considerar como un grafo de conexión de sistemas autónomos conectados mediante enlaces virtuales

Estudiar la resiliencia de únicamente la capa lógica o únicamente la capa física, permite comprender el comportamiento de cada capa por separado frente a potenciales amenazas. Sin embargo, este tipo de estudios no toma en cuenta que ambas capas no existen de forma aislada, sino que interactúan entre sí y pueden relacionarse de manera que los cambios en una capa pueden afectar a la otra. Los estudios de métricas de resiliencia en este tipo de redes (grafos) unidimensionales se han estudiado largamente por su uso en todo tipo de red compleja (transporte, redes sociales, etc.), y en general se comparan

¹ https://es.wikipedia.org/wiki/Border_Gateway_Protocol

contra conocidas métricas de centralidad como *betweenness* (Figura 1), que es el cálculo de cuántos caminos mínimos pasan por un nodo, y *degree* (Figura 2), que es el cálculo de cuántos enlaces tiene cada nodo.

Betweenness se ha estudiado como una métrica de la robustez para la capa de enrutamiento [1], también como una robustez métrica para redes complejas [2], y para las redes de Internet de sistemas autónomos [3], entre otros.

Otra área que ha ido ganando importancia en el estudio de resiliencia en redes unidimensionales, es la de planificación de ataques para estudiar la robustez y/o percolación de dichas redes. En [2] se muestra la utilización de *R-index (robustness index)*, el cual mide la capacidad de la red de resistir un ataque bajo algún criterio. *R-index* funciona midiendo el tamaño relativo de la componente conexa más grande de una red respecto al tamaño de la red original luego de un ataque que eliminó k nodos. Cuáles k nodos van a ser removidos dentro de la red depende de la estrategia que se usó para atacar. En ese trabajo se presentan también dos estrategias de ataque basadas en algunas métricas de centralidad.

La idea de planificar un “ataque” a la red usando medidas de centralidad ha atraído la atención de los investigadores y profesionales hoy en día. Por ejemplo, Sterbenz et al. [4] utilizaron *betweenness* para la planificación de un ataque de red: calculaban el valor *betweenness* para todos los nodos, ordenándolos de mayor a menor, y luego atacaban (descartando) aquellos nodos en ese orden. Ellos demostraron que al desconectar sólo dos de los nodos del ranking top, su tasa de entrega de paquetes se redujo al 60%, que corresponde a un 20% de más daño que otros ataques como enlaces o nodos con desconexiones al azar, o por grados de nodo (*degree*).

Un enfoque y resultados similares fueron presentados por Çetinkaya et al. [5]. Ellos mostraron que después de desconectar sólo 10 nodos usando la estrategia de [4] su tasa de entrega de paquetes se reduce a 0% entre nodos extremos.

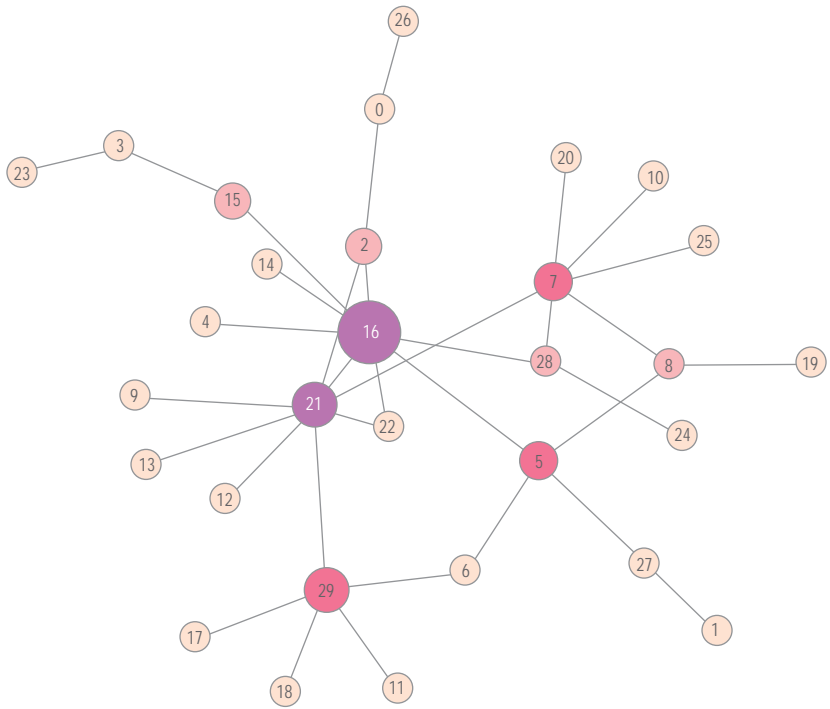


FIGURA 1.
CÁLCULO DE BETWEENNESS PARA NODOS DE UNA RED.

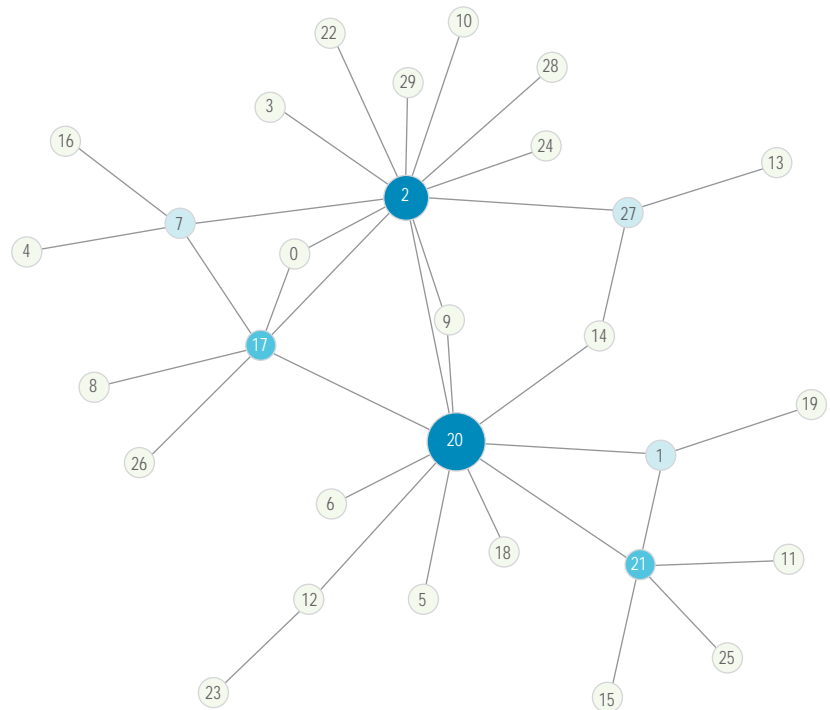


FIGURA 2.
CÁLCULO DE DEGREE PARA LOS NODOS DE UNA RED.

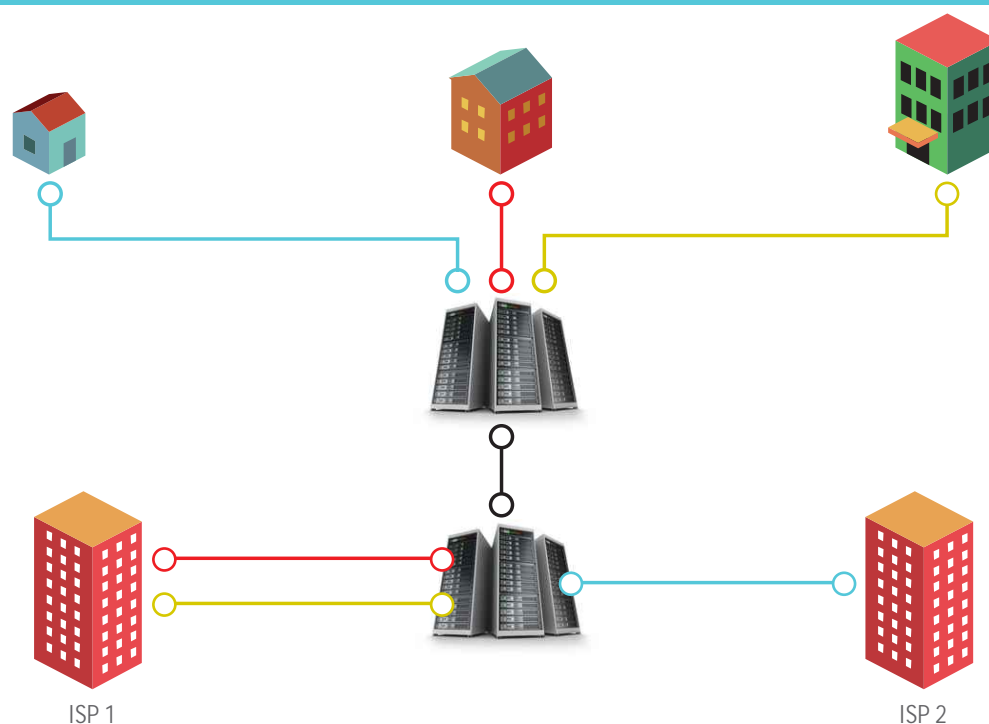


FIGURA 3.

LA RED DE LOS PROVEEDORES DE INTERNET Y SUS CIRCUITOS LÓGICOS PASAN POR LA MISMA FIBRA ÓPTICA QUE CONECTA LOS ROUTERS (COLOR NEGRO).

Otro enfoque, presentado como un ataque mejorado a la red [6,7], es volver a calcular *betweenness* después de la eliminación de cada nodo. Estudios en profundidad de esas estrategias, como [8,9], muestran un impacto similar de estrategias que no recalculan descartando a veces solo la mitad de los nodos equivalentes.

REDES INTERCONECTADAS

Si pensamos en cada capa de Internet como una red de enlaces y nodos, donde los nodos son puntos de conexión o servidores y los enlaces son cables o conexiones lógicas entre servidores, dependiendo de la capa o dimensión que se está observando se puede apreciar que, por ejemplo, muchos cables pueden estar pasando por exactamente un mismo lugar, o la

comunicación pasar por la misma fibra (recordar que Internet es una red basada en comunicación de paquetes). Sin embargo, en el nivel lógico estas conexiones se ven como conexiones disjuntas, distinguibles entre sí. En la Figura 3 se muestra este fenómeno. Entonces, un corte de cable puede afectar muchos enlaces “lógicos”.

¿Puede esto suceder? En el año 2010, un terremoto de 8.8Mw sacudió a Chile central tirando por tierra algunos puentes cuya estructura soportaba las líneas de fibra óptica de distintos ISPs chilenos, y dejando sin Internet al país por casi un día [10]. Otro ejemplo sucedió en 2011, cuando una mujer de 75 años llamada Hayastan Shakarian (Imagen 1), quien buscaba metales en el límite entre Georgia y Armenia, cortó una fibra del Georgian Railway Telecom dejando sin Internet al 90% de los usuarios privados y corporativos de esa firma en Armenia por alrededor de 12 horas.

Hemos visto ejemplos de que cuando ocurre una desconexión a nivel físico, por ejemplo cuando se cortan los cables de comunicación, esta desconexión tiene efectos inmediatos sobre las conexiones en el nivel lógico las que pueden verse de una forma completamente distinta de una capa a otra. Para enfrentar esto se ha planteado modelar matemáticamente las relaciones entre ambas capas, donde la relación sea capaz de transmitir los efectos de un eventual ataque o falla.

En cuanto al modelamiento de ataques en redes interdependientes, en [11] se analiza un modelo de dependencia uno a uno entre nodos de redes con igual distribución, y se obtienen datos teóricos respecto al umbral de percolación sobre el modelo desarrollado mostrando que las redes interdependientes se comportan de forma sumamente diferente, incluso opuesta, a las redes unitarias. En este artículo se analizan ataques a nodos y se estudia el daño que causan a las redes

participantes. Para dos redes interdependientes, la desconexión de un nodo en una red causa la desconexión del nodo de la otra red con la cual está conectado, provocando una serie de desconexiones en cascada hasta converger a un estado en que las ya no se puede seguir desconectando nodos.

En [12] se realiza una generalización del modelo presentado en [11] a dos o más redes que pueden interactuar, ya sea uno a uno entre nodos de distintas redes, uno a muchos, o bien a través de dependencias dirigidas, en la que la dependencia de un nodo a con un nodo b no necesariamente significa que el nodo b dependa del nodo a . Para obtener resultados teóricos, estos modelos toman como supuesto que la distribución de las redes participantes es la misma y que las conexiones entre redes siguen estructuras bien definidas. En [13] se continúa sobre las bases sentadas en [11] respecto a redes interdependientes y se estudia la robustez de este tipo de redes bajo ataque a los nodos interdependientes.

Además de estos modelos, en [14] se ofrece una recopilación de trabajos sobre modelamiento de redes interdependientes y se muestra un rediseño de estos con el objetivo de generalizar los modelos existentes. Primero se presenta un modelo multicapa, donde se tienen capas compuestas por capas elementales, en la que los nodos de la red pueden existir en una o más capas a la vez y establecer conexiones con nodos de la misma capa o de capas distintas. Luego se presenta un modelo de coloreo de nodos, el cual corresponde a la representación de un caso particular del modelo de capas donde un mismo nodo puede pertenecer sólo a una capa.

Con estos modelos las redes interdependientes presentadas en [11,12,13] se pueden modelar como las capas de una misma red. Además, es posible modelar redes que no necesariamente corresponden a redes distintas interdependientes, sino que corresponden a una misma red con diferentes representaciones de sí misma.



IMAGEN 1.
HAYASTAN SHAKARIAN (FOTO DE AFP).

EN CHILE

En nuestro país, más precisamente en la Universidad de Chile, los profesores José Miguel Piquer

y Javier Bustos se adjudicaron (en conjunto con SUBTEL) el proyecto CORFO 15BPE-47225: “Estudio y recomendaciones sobre la resiliencia de la infraestructura del Internet chileno”, este programa es desarrollado con aportes del Fondo de Inversión Estratégica, del Ministerio de Eco-

nomía, Fomento y Turismo. A partir de enero de 2016 se realizará una radiografía del Internet chileno, y se buscará estudiar y medir la red de datos chilena para poder hacerla más resiliente ante emergencias, catástrofes o ataques. ■

REFERENCIAS

- [1] P. Smith, D. Hutchison, J. P. Sterbenz, M. Scholler, A. Fessi, M. Karaliopoulos, C. Lac, and B. Plattner. Network resilience: a systematic approach. *Communications Magazine, IEEE*, 49(7):88–97, 2011.
- [2] S. Iyer, T. Killingback, B. Sundaram, and Z. Wang. Attack robustness and centrality of complex networks. *PloS one*, 8(4):e59613, 2013.
- [3] P. Mahadevan, D. Krioukov, M. Fomenkov, X. Dimitropoulos, A. Vahdat, et al. The Internet AS-level topology: three data sources and one definitive metric. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 36(1):17–26, 2006.
- [4] J.P. Sterbenz, E.K. Cetinkaya, M. Hameed, A. Jabbar, J.P. Rohrer, et al. Modelling and analysis of network resilience. In *Communication Systems and Networks (COMSNETS)*, 2011 Third International Conference on, pages 1–10. IEEE, 2011.
- [5] E. K. Çetinkaya, D. Broyles, A. Dandekar, S. Srinivasan, and J. P. Sterbenz. Modelling communication network challenges for future internet resilience, survivability, and disruption tolerance: A simulation-based approach. *Telecommunication Systems*, 52(2):751–766, 2013.
- [6] J. Rak and K. Walkowiak. Survivability of any-cast and unicast flows under attacks on networks. In *Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT)*, 2010 International Congress on, pages 497–503. IEEE, 2010.
- [7] A. Sydney, C. Scoglio, M. Youssef, and P. Schumm. Characterising the robustness of complex networks. *International Journal of Internet Technology and Secured Transactions*, 2(3-4):291–320, 2010.
- [8] P. Holme, B. J. Kim, C. N. Yoon, and S. K. Han. Attack vulnerability of complex networks. *Physical Review E*, 65(5):056109, 2002.
- [9] W. Molisz and J. Rak. End-to-end service survivability under attacks on networks. *Journal of Telecommunications and Information Technology*, pages 19–26, 2006.
- [10] V. Ramiro, J. Piquer, T. Barros and P. Sepúlveda. The Chilean Internet: Did It Survive The Earthquake? *WIT Transactions on State-of-the-art in Science and Engineering*, vol 18, pages 19, 2012.
- [11] S. V. Buldyrev, R. Parshani, G. Paul, H. E. Stanley, and S. Havlin. Catastrophic cascade of failures in interdependent networks. *Nature*, 464(7291):1025–1028, Apr. 2010.
- [12] J. Gao, S. V. Buldyrev, H. E. Stanley, X. Xu, and S. Havlin. Percolation of a general network of networks. *Physical Review E*, 88:062816+, Dec. 2013.
- [13] S. Shai, D. Y. Kenett, Y. N. Kenett, M. Faust, S. Dobson, and S. Havlin. Resilience of modular complex networks. *CoRR*, abs/1404.4748, 2014.
- [14] M. Kivela, A. Arenas, M. Barthelemy, J. P. Gleeson, Y. Moreno, and M. A. Porter. Multilayer networks. *Journal of Complex Networks*, 2(3):203–271, Sept. 2014.

ENTREVISTA A:

JOSE MIGUEL PIQUER

PREMIO NACIONAL DE LAS
TELECOMUNICACIONES 2015

Por Patricio Poblete





JOSÉ MIGUEL PIQUER

José Miguel Piquer es académico del Departamento de Ciencias de la Computación de la Universidad de Chile. Innovador por naturaleza, es uno de los padres de la Internet en Chile: junto al profesor Patricio Poblete, enviaron el primer mail en 1985 y en 1992 participó en la primera conexión a Internet de nuestro país. Es uno de los fundadores de NIC Chile, siendo hasta hoy Director Técnico de esta entidad. En 2015, el Profesor Piquer fue galardonado con el Premio Nacional de las Telecomunicaciones. Es además socio fundador de la consultora IT-Talk Ltda. y de E-voting Chile SpA, dedicada a servicios de votación electrónica. Entre 2011 y 2013, fue el encargado del desarrollo de proyectos científicos de transferencia en INRIA Chile. En mayo de 2016 asumió como Director de Servicios de Tecnologías de Información y Comunicaciones (STI) de la Universidad de Chile.

El Premio Nacional de las Telecomunicaciones reconoce tu contribución en esa área, pero cuando comenzaste a meterte en esas cosas, todavía como alumno, lo que estabas haciendo en esa época no tenía nada que ver con Telecomunicaciones realmente. ¿Cuándo comenzaste a tener contacto con lo que se llamaría Telecomunicaciones?

Buena pregunta. En mi tesis de Magíster, lo que hacía era programación paralela, paso de mensajes, ese tipo de cosas. Me gustaba la idea de comunicación en el software, de hacer protocolos, de hacer conversar a los programas entre ellos, pero siempre suponiendo que estaban en la misma memoria y dentro de un mismo computador.

Y en general no eran seres humanos comunicándose entre sí, sino programas...

¡Nunca pensé en los seres humanos! Lo que me fascinó de las comunicaciones, casi de inmediato, fue que los computadores conversaran entre ellos. La idea de que los computadores pudieran intercambiar mensajes me fascinó y me agarró desde el comienzo, como un sueño interesante de que no estuviéramos obligados a vivir dentro de un mismo computador en nuestra programación y que nuestros programas solo comuniquen ahí adentro, y de entender esto a lo que en esa época se llamaba un Sistema Distribuido, con varios computadores comunicando, que requería una red y requería telecomunicaciones, me encantó. ¡Y esto en una época en que ni siquiera teníamos redes locales! Era algo de verdad raro, había que enchufar puertas seriales para que los computadores conversaran entre ellos. Eran computadores que no habían sido pensados para eso, y la red

fue un pensamiento que se nos vino después, y fue algo que le fuimos agregando a los computadores.

Creo que los primeros pasos que di en esto fue en los NCR Tower, que también venían sin red (¿te acuerdas las primeras versiones que tuvimos?). Y se me ocurre que debe haber sido más o menos en esa época que mandamos el primer mail. En ese momento teníamos un solo computador, ni siquiera teníamos dos NCR que pudieran conversar entre ellos, y capaz que ese primer mail entre la Universidad de Chile y la USACH haya sido mi primer proyecto en Telecomunicaciones. No creo que hayamos tenido acceso a otro tipo de red en esa época.

Cuéntanos, para los que no lo conocen, cómo era en esa época, cómo era esto de comunicar computadores, que como tú dices, no parecían haber sido pensados para eso, ¿cómo se lograba que se pudieran comunicar?

Claro, en general uno usaba puertas seriales, que era el único dispositivo de comunicaciones que venía "built-in" en el computador, y que en el fondo estaban pensados para conectar terminales. Y lo que uno hacía era conectar esa puerta serial con un módem, que simulaba ser un terminal para el computador, y el computador conversando con ese terminal lograba que el módem discara, o sea, se comunicara por teléfono, y finalmente se comunicara con otro computador. O, en algunos casos también hacíamos comunicaciones seriales computador a computador, y usaba protocolos para correr IP sobre eso, así que también funcionaba como una red local punto a punto.

Pero eso sería ya adelantarnos un poco. No llegábamos todavía a IP...

¡No, para nada!

En esa época eran otros protocolos, que funcionaban montándose sobre la infraestructura telefónica, que tampoco había sido pensada para esto...

¡Exacto! Y en el fondo si uno lo piensa, era bien ridículo, porque usábamos una puerta serial que era digital, la pasábamos por un módem que era análogo, para que eso pareciera voz. Y ya en esa época las compañías telefónicas estaban empezando a digitalizar sus troncales internas, por lo tanto al otro lado alguien transformaba eso de nuevo a digital, para que en el otro extremo alguien lo volviera a transformar a sonido, para que luego eso se volviera a transformar a bits. Era una especie de "sobreingeniería" espantosa para lograr que los bits llegaran de un computador a otro. ¡Por eso era tan rápido, si tu recuerdas!

Pero, con todas esas limitaciones, hubo momentos en que se le logró sacar bastante rendimiento a eso, ¿no? Cuéntanos de los módems Telebit y cómo empezamos a comunicarnos con el mundo.

Claro. Además era una época en que las llamadas de larga distancia eran carísimas, uno hacía muy pocas llamadas de larga distancia y hablaba muy cortito, eran precios exorbitantes, y por lo tanto usar esta misma tecnología, con módems discando por teléfono para comunicar con Estados Unidos o con Europa era totalmente impagable para estos



módems, que eran muy lentos, se demoraban mucho. Ahí fue cuando compramos estos módems –debe haber sido de las primeras compras que hizo el DCC en su historia– estos módems que eran realmente espectaculares, eran capaces de sacarle una velocidad increíble a estas líneas. Increíble quería decir como 14 kilobits por segundo, que hoy nos daría mucha risa, pero que en esa época y para transferencia de mail funcionaba muy bien. Eran llamadas de máximo media hora, y con eso lográbamos intercambiar todo lo que había hacia ellos y desde ellos hacia nosotros. E incluso con las tarifas de esa época el DCC fue capaz de pagar esas cuentas sin desfinanciarse, y nosotros con eso contábamos con una conexión de mail que considerábamos alucinantemente instantánea, que permitía que mandáramos un mail en la mañana, que se transmitiera a mediodía, que con suerte nos respondieran en la tarde, para que la respuesta se transmitiera en la noche, y así tuviéramos la respuesta en 24 horas, lo cual para cualquier medio de comunicación que no fuera el teléfono –que era muy difícil llamar por teléfono a la persona era extraordinario. La comparación era con el correo, que era malo, que se perdía, que podía tomar meses en llegar al otro lado, por lo tanto el poder enviar archivos digitales en este formato, para

nosotros era absolutamente maravilloso e instantáneo.

Y eso duró varios años, ¿no?

Sí, nosotros partimos el servicio internacional más o menos el año '86, y funcionamos así hasta el año '92, '93, en que nos conectamos a Internet oficialmente, pero incluso nos demoramos un tiempo en migrar nuestro servicio completo a Internet, para estar seguros de que funcionaba. Debe haber tomado un par de meses hasta estar seguros de que el enlace era estable, de que nuestra conectividad sobre IP funcionaba bien. Y de hecho fue muy bonito, porque al principio el mismo protocolo UUCP, que era el que usábamos sobre los módems, lo corrimos sobre IP. Fue un cambio casi inocuo, y además podíamos volver atrás y volver al teléfono en caso de emergencia. Fue una cosa que demostró lo bien pensados que están estos protocolos tipo IP, donde uno podía llegar y correr una cosa como si fuese un enlace directo.

Internet, por supuesto, llevaba ya varios años de desarrollo cuando nos integramos, y había sido una red que comenzó de a poco a partir

del Arpanet, y que comenzó a crecer y crecer, y cuando nos integramos ya estaba claro que se estaba imponiendo a lo que podría haber sido la red mundial en los planes de las grandes empresas de telecomunicaciones. ¿Por qué piensas que este Internet, que no fue producto de un gran diseño “top down”, fue finalmente la red que llegó a dominar todo?

Sí, y en algún minuto, por ahí por los ochenta, perdió por un tiempo el apoyo incluso del Gobierno norteamericano. Y me tocó por ahí por los noventa ir a contarles de esto a las telecoms nacionales, a Telefónica, a ENTEL, etc., y ninguno de ellos creía en estas cosas, para ellos el futuro digital de las telecomunicaciones venía por el lado de ISDN y esas cosas. Es curioso que esta tecnología huérfana, que en algún momento nadie apoyó, terminó igual dominando el planeta, y hoy se ha transformado por supuesto en el estándar de facto.

¿Y por qué crees que pasó esto?

Creo que hay varias condiciones. Una de ellas es que la ingeniería del sistema, que es muy contraria a este diseño “top down” de las telecoms, en que todo está muy bien estructurado, bien armado y qué se yo, es una ingeniería de diseño que tiene varias ventajas. Una de ellas es que te permite construir redes muy baratas. Yo creo que el precio es algo fundamental. En el fondo, la telefonía tradicional no tenía cómo competir con los servicios que Internet daba, es como un orden de magnitud más. Por supuesto es con calidad de servicio garantizada y todas esas cosas, pero nadie está dispuesto a pagar eso. Tú quieres un Internet que funcione bien la mayor parte del tiempo, pero sobre todo quieres que sea barato. Pienso que el modelo de precios, y recuerda que lo discutimos mucho acá en Chile cuando peleábamos sobre el modelo de precios de Internet, es extraordinariamente incentivador al usuario. Esta idea de cobrar fijo al mes, una tarifa que normalmente está marcada por el ancho de banda que tienes. Pero incluso en algunos países como Corea del Sur, han optado por una tarifa plana, independiente del ancho de banda que tengas, el que depende más bien del cableado, del edificio, del barrio en que estás, y el ISP te da un precio fijo al mes por llegar hasta ellos. Esos tipos de modelos, que incentivan el uso, incentivan a explorar, uno no está nervioso pensando “esto me va a costar más minutos, me va a costar más tiempo”. Creo que eso fue fundamental en el despegue de estas tecnologías, y ahí



Lunes 14 de Enero de 2002

3

INFORMACION
Tecnológica

José Miguel Piquer recuerda lo sucedido hace diez años

Memorias de uno de los responsables de la conexión de Chile a Internet

FRANCISCA VEGA W.
fvegaw@eldiario.cl

La memoria es frágil, pero la del director del Departamento de Ciencias de la Computación de la Universidad de Chile, José Miguel Piquer, no olvida sus logros y parece encenderse con más fuerza cada mes de enero.

Y hoy existe un sentimiento de profunda nostalgia que da vuelta en su creativo entendimiento: se acaban de cumplir diez años de la primera conexión de Chile a Internet, en la que él fue actor principal.

El primer enlace a la red se concretó el 8 de enero de 1992 en la Universidad Católica. Sólo unos días después hizo lo mismo la Universidad de Chile para la Red Universitaria Nacional, pese a que este centro de estudios era el líder en materia de redes según los entendidos. Eran años donde no faltaban las



Director del Departamento de Ciencias de la Computación (DCC) de la Universidad de Chile, José Miguel Piquer.

conexión hubo una serie de logros que desembocaron en la primera "volada" del país en el ciberespacio. Por ejemplo, a fines de los ochenta, se inscribió en Estados Unidos el dominio punto cl y, desde esa fecha, la velocidad de conexión ha crecido un millón de veces, cuenta Piquer.

-¿Estaban concientes de

tradictorios. Pensábamos que para las empresas sería un avance espectacular, pero jamás imaginamos su impacto social. Sabíamos que nuestra labor era importante, pero que afectaría con más fuerza a las firmas tecnológicas. Nunca dimensionamos la masificación.

-Y al igual que en todo



universidades.

-Efectivamente. Tratábamos de convencer a empresas de lo interesante de Internet, pero la respuesta de la mayoría era que recién se habían comprado un fax.

Futuro

Hitos en el ciberespacio

- 1987: Inscripción del dominio ".cl" en Estados Unidos, lo que permitió el envío de e-mail al extranjero.
- 1992: Primera conexión de Internet del país. El enlace fue a 64 Kbps y estuvo a cargo de la Red Universitaria Nacional (Reuna) y Universidad Católica (Unired)
- 1993: Primera página web de Chile, correspondiente al Departamento de Ciencias de la Computación.
- 1995: Los carriers telefónicos, entre los que se cuentan CTC y Entel, comienzan a proveer acceso a Internet.
- 1997: NIC Chile, que inscribe los dominios ".cl", empieza a cobrar por el servicio.
- 1998: El Servicio de Impuestos Internet (SII) se conecta a la red.
- 1999: Grandes centros comerciales, como Almacenes París y Falabella, ofrecen servicios a través de Internet.
- 2000: Discurso del 21 de mayo del presidente Ricardo Lagos pone a las nuevas tecnologías en el centro del debate público.
- 2001: Llegada a Chile de la fibra óptica masiva para Internet.

por esos años?

-Las universidades tomaban las decisiones y fuimos los dueños de Internet hasta 1994 o 1995, cuando los proveedores de acceso a Internet se encargaron de masificarla. El reproche, quizás, es para el sector privado porque su respuesta fue muy lenta. Más aún, cuando estaba en manos de las universidades los avances de Chile fueron espectaculares en términos de liderazgo regional, pero hoy no está tan claro. Una de nues-

para considerar las tecnologías como una herramienta de competitividad.

-¿En qué trabajan hoy y cómo ve el futuro de Internet?

-En redes inalámbricas, de alta velocidad, fibra óptica e Internet 2. En cuanto al futuro, hoy existen dos millones de conectados y lo ideal sería que fuera parte de la infraestructura diaria que utiliza la gran mayoría de los chilenos. Se sabe qué hay que hacer, pero no el

IMAGEN 2.

ENTREVISTA AL PROFESOR JOSÉ MIGUEL PIQUER, CON MOTIVO DE LOS 10 AÑOS DE LA PRIMERA CONEXIÓN CHILENA A INTERNET.

es donde la competencia perdía, porque cualquier otro sistema se medía al minuto, al segundo, al byte, y esto último es casi peor, porque sobre los bytes uno tenía muy poco control sobre cuánto consumía.

Esas cosas fueron muy importantes. Y lo otro fue que esto funcionaba...

¡Eso siempre ayuda!

...uno enchufaba y las cosas funcionaban, no son estas redes que requieren calibrar, y que el nivel del cable sea no se qué, y la estación repetidora tiene que tener no sé cuántas baterías, y fuente de poder redundante, lo cual siempre viene bien, pero uno podía instalar un ISP con cosas mucho más simples que eso, y funcionar al tiro. Los costos de entrada para los proveedores y para el usuario eran muy bajos, y eso permitía tener una red funcionando. Entonces cuando el Gobierno norteamericano decidió hacer su propia carretera de la información, con estándar ISO/OSI, tenía la alternativa entre apoyar un fabuloso estándar que todavía no existe, o usar lo que hoy día está, y creo que ahí fue cuando Internet ganó definitivamente la batalla.

Hay otra cosa también que tiene que ver con que los servicios, las aplicaciones que terminan utilizando los usuarios, no son parte del diseño de la red, sino que surgen espontáneamente, de parte de ellos mismos.

Así es. De hecho es impresionante como lo que nosotros pensamos en sus inicios, para qué se iba a usar Internet, el tipo de aplicaciones que iban a estar, etc., no tiene nada que ver con lo que hoy día se hace. La libertad para crear todo tipo de aplicaciones... decir que Internet es una red de interconexión de redes, decir "yo te proveo solo la conexión y tú puedes hablar con todas las personas del universo y puedes hablar con todos los computadores del universo, pero lo que vas a hacer con eso, es cosa tuya". Eso es conceptualmente algo muy revolucionario, hasta ahí las redes eran todo junto, incluían la aplicación, la conectividad e incluso el cable. Tú usabas una videoconferencia de la telefónica, entonces todo, hasta el dispositivo, era ad hoc. Esto de decir, esto corre sobre cualquier cable y yo solo te proveo la conectividad IP, es algo notable. Incluso a nivel de qué protocolo "end to end" vas a usar, es cosa tuya. Y eso es lo que permite que haya cosas que funcionan hoy en el celular, un dispositivo que no

se me habría ocurrido jamás que iba a existir en esa época.

Esto ha ido evolucionando y entrando a impactar todas las áreas de actividad humana, este mundo virtual, y entonces ha empezado a entrar en contacto y a veces en colisión con el mundo real. ¿Cómo ves que se da, y que se va a dar en el futuro, esta relación entre lo virtual y lo real? Lo que se llama la gobernanza de Internet, pensando por ejemplo en lo que hace China, cómo maneja ese país el Internet. Justamente se da la casualidad de que hoy WhatsApp está parado por dos días por orden de un juez brasileño. Eso afecta a Brasil, pero de rebote afecta a un montón de otros países.

Lo primero que pienso es que lo que ha ocurrido hasta acá, año 2015, es solo la punta del iceberg de lo que viene. Todas estas industrias que se han visto destruidas por el Internet de una forma u otra, la música, la creación intelectual en general, las enciclopedias, y todas las industrias tecnológicas antiguas, tipo GPS, hasta la guía telefónica, cantidad de negocios de muchos años, que terminaron siendo destruidos por estas nuevas tecnologías...



IMAGEN 3
CHARLA "NIC CHILE, 22 AÑOS DE UN SUEÑO",
REALIZADA EL 10 DE DICIEMBRE DE 2009.

"Destrucción creativa", dicen algunos...

...que son reemplazados por estas cosas, y ellas a su vez son reemplazadas todavía más rápido, Blackberry, Nokia, creo que eso es recién el comienzo, siento que se nos viene encima una revolución gigantesca, que tiene que ver con la relación entre la virtualidad y el mundo físico. Yo creo que nuestra sociedad, nuestra vida cotidiana, la familia, la política, todo va a cambiar en forma radical debido a estas tecnologías. Claramente la gobernanza, y el rol de los gobiernos, de alguna forma la geografía y las fronteras pierden poder en este tipo de eventos, y China, y aquellos países que han tratado de censurar Internet durante las protestas, ¿te acuerdas durante 2011, pasó en varios lugares? Todo ese tipo de control local es más difícil de ejercer, y afortunadamente pocos países tienen los recursos que tiene China, por ejemplo, para dedicarle a mantener una especie de gigantesca Intranet dentro de su país, es algo muy difícil, es algo muy caro, y no sé si es escalable a cuando todos los chinos tengan acceso a la red. Son cosas que requieren un gran esfuerzo, porque Internet justamente no fue pensado así, fue pensado como una gran red global. Tengo la impresión que vamos a tener que reinventar, que vamos a tener que reinventar esas reglas; vamos a necesitar una cooperación internacional mucho más grande, vamos a necesitar fijar ciertos acuerdos entre los países, porque lo que hace un país no es irrelevante para el resto, y por lo tanto tenemos que jugar con las mismas reglas, porque los daños que tú causas son mucho mayores. Por ahora que Whatsapp deje de funcionar durante un rato no genera una emergencia nacional, pero eventualmente ese tipo de

cosas van a pasar, hay partes de la economía que hoy dependen de que Internet funcione, y cada vez más la sociedad entera va a depender de que esto funcione, y por lo tanto no podemos depender de que alguien configuró mal una tabla en alguna parte y dejó a un país entero sin funcionar.

Pero estos diálogos entre países son muy difíciles. Los chinos, me consta, están muy orgullosos de este servicio que le dan a la comunidad, de asegurarle que le dan un Internet libre de ideas peligrosas.

Claro, y hay ISPs también que creen que le dan un buen servicio a sus clientes asegurándose que nadie use demasiado el Internet.

Además esto no es solo un asunto de los gobiernos. Se ha desarrollado toda una visión respecto de un modelo "multistakeholder", que involucra a todos los actores.

Y son todos los actores globales, ¿no? porque tampoco son todos los actores en un país. Siento que el tema local se ve muy desdibujado en estas cosas, y estas discusiones si uno no las hace a nivel global, no tiene mucho poder de hacer estos cambios. Ahora, compartiendo que es súper difícil esta conversación, creo que no va a quedar otra, porque si no la tecnología nos va a pasar por sobre la cabeza. Uno puede decidir que a uno no le interesan los temas tecnológicos, que no queremos estar en Internet, que no queremos estar en Facebook, todo lo que tú quieras, pero esto te va a pasar encima igual, te van a obligar a estar en una forma u otra. Y por último, puede ser que en algún momento puedas ser atropellado por algún algoritmo en la calle. Tú no vas a poder esquivar que la tecnología te va a pasar por encima, y eso le va a pasar a los gobiernos, a las personas, y a todos estos "stakeholders" del Internet mundial.

Vivimos en un mundo en que cada día todo tiende a hacerse sobre la red, la educación, el comercio... ¿Crees que va a llegar un día en que vamos a elegir Presidente votando vía Internet?

Creo que eso es inevitable. Y como tú bien sabes, hemos discutido muchas veces el tema. La cosa es más bien cuándo y en qué condiciones. Mi sensación es que eso se nos va a venir. La abstención es un problema demasiado grave en el mun-

do entero, la gente está dispuesta cada vez a hacer menos esfuerzo en el mundo físico, donde hay que ir a votar y hacer toda una ceremonia, donde hay que perder tiempo y esfuerzo, y si comparas eso con la posibilidad de emitir tu voto desde tu celular, desde el patio de tu casa, es demasiado, demasiado tentador. Creo que es parte de nuestra pega el evitar que eso sea muy pronto, sería un gran error llegar y usar estas tecnologías simplemente porque son cómodas, como lo hemos conversado y hasta hemos escrito artículos al respecto. Estas tecnologías todavía están lejos de poder generar la credibilidad, la confianza, y los mecanismos de control que tienen los sistemas tradicionales. Vamos a tener que hacer una mezcla. Yo creo que estos sistemas de urna electrónica, con huellas en papel, son caminos que uno debería ir recorriendo, pero finalmente, y no tengo idea en qué plazo, supongo que estamos hablando de diez a veinte años, vamos a terminar votando por Presidente de la República en nuestro dispositivo favorito, desde la terraza de la casa.

Estás consciente de que hay mucha gente que opina lo contrario, ¿no? Incluso ACM tiene una posición muy clara en contra de eso.

Y creo que técnicamente tienen razón. El problema en esto es social y político, tú no vas a poder resistir la tentación y vas a tener que aceptar correr ciertos riesgos. En el fondo es un balance: por un lado el riesgo de que haya fraude, que haya venta de votos, etc., cosas que no sabemos evitar bien hoy, versus que nadie vote. Y la dos cosas son extremadamente peligrosas para la democracia. Sin embargo, tengo la sensación de que una abstención muy, muy alta es un peligro mucho más grave que el otro, en el sentido de que ese es tipo de esquema en que te aparecen los populismos, los extremos, y es un poco lo que ha estado ocurriendo en el mundo hoy en día.

Bueno, si eso fuera a ocurrir, sería de esperar que fuera sobre una red que fuera mucho menos vulnerable que lo que es la red hoy día...

Y sobre dispositivos menos vulnerables, porque hoy tenemos un problema con el dispositivo que se usa. Si es el celular tuyo, sobre el cual la autoridad que recibe los votos no tiene ningún control, es muy difícil garantizarte que no haya un malware o un virus que cambie tu voto.



¿Cómo ves los temas de vulnerabilidad por una parte, de resiliencia por otro, de la red? ¿En qué estado estamos y en qué estado piensas que vamos estar en el futuro? Piensa por ejemplo desastres naturales, o por otra parte ataque maliciosos. Justamente en estos días, la última semana, hubo un ataque masivo contra los servidores raíz, en una escala que no se había visto nunca antes. Y por supuesto, nadie sabe quién lo origina. Se sospecha que puede haber Estados detrás de eso. ¿Cómo ves que va a evolucionar la red desde ese punto de vista?

Creo que ese es un camino que vamos a tener que recorrer, probablemente más rápido de lo que lo hemos estado haciendo. En los países más avanzados, Internet se ha ido transformando en una infraestructura crítica de la cual todo depende, y normalmente no lo hemos visto así. Cuando uno piensa en la infraestructura crítica de un país, que puede ser atacada, que tiene que cuidar, que tienes que pensar como país, que no puedes dejar que el mercado decida simplemente por donde pasa, en general uno no piensa en Internet. En general uno piensa en el agua, la luz, las carreteras. Internet casi podría ser, pero no está en la lista oficial. Incluso la telefonía normalmente está, cuando hoy para toda sociedad avanzada, y nosotros estamos incluidos en eso, es más fuerte la dependencia que tenemos de Internet en nuestra vida cotidiana y en nuestros negocios, que del teléfono. Y el teléfono hoy además va sobre Internet, así que Internet se nos ha transformado en una infraestructura crítica, y claramente en un país como Chile no hemos hecho bien esa pega. No tenemos una claridad ni siquiera por dónde pasan esas fibras ni qué tan vulnerables a ataque o fallas son. Somos un país de catástrofes naturales; tenemos más enemigos naturales que humanos, así que es más probable que muramos por un desastre natural que por un ataque terrorista. Pero en cualquiera de los dos casos, el fenómeno es el mismo. En el fondo, dejar un Internet desconectado del mundo. En el terremoto de 2010 lo vimos, cuando durante toda esa noche el Internet dejó de funcionar. Y también es interesante ver que el año 2010 nadie se dio cuenta, lo cual demuestra que ese año no era una infraestructura crítica realmente. Y nuestra hipótesis es que hoy día ya lo es, absolutamente. Si hoy tuviéramos un fenómeno como ese, la gente estaría pidiendo la cabeza del Subsecretario de Telecomunicaciones, si es que Whatsapp deja de funcionar durante un

evento catastrófico, porque es la forma que la gente hoy día tiene para encontrarse, para saber que están bien, incluso para coordinar qué es lo que van a hacer. Este tipo de cambios son muy difíciles, porque son muy rápidos, no hemos tenido tiempo para pensarlo, la infraestructura de Internet se ha construido en decenas de años, en un esquema totalmente distinto, donde se minimizaban los costos, se veía en dónde había negocios para poder hacer, y nadie estaba pensando "hagamos que la fibra sea redundante, hagamos que nuestros protocolos de ruteo sean capaces de sobrevivir a las caídas de cualquier parte", eso lo pensamos ahora sobre una infraestructura que fue construida diez años atrás, en un contexto totalmente distinto. Entonces es un gran tema, y tiene muchos "layers", tienes fibra, tienes el ruteo, tienes el DNS, tienes las aplicaciones mismas. Si alguien va a hacer un "denial of service" sobre un servidor, que tu fibra óptica sea redundante no te ayuda mucho. Entonces hay que pensarlo en muchos "layers", y ninguno de esos "layers" ha sido pensado en ese contexto, siendo una infraestructura fundamental para que opere un país entero.

Y para resolver esos problemas, ¿piensas que se va a dar a través de una evolución del modelo actual, o va a tener que haber en algún momento un rediseño de la red?

¡Buena pregunta! Creo que esto puede aguantar. Igual van a haber cosas, uno siempre puede hablar de rediseño, IPsec, por ejemplo, esta infraestructura que trata de firmar los paquetes IP para garantizar que las direcciones sean reales, es casi un cambio de protocolo, pero de alguna forma estás parchando una cosa existente. Entonces es difícil saber dónde está el límite entre un cambio fundamental y algo que es un parche. Tengo la impresión que conceptualmente Internet se va a mantener como lo que es hoy. Vamos a mantener estos principios básicos que hasta acá han sido su éxito. Probablemente vamos a tener que rediseñar algunas partes de los protocolos básicos, de modo de dar un poco más de herramientas, en particular en esto de la autenticación de paquetes, porque cada vez se han descubierto más formas de hacer daño simplemente inyectando tráfico falso. El haber delegado esa responsabilidad de autenticar el tráfico a las aplicaciones no nos ha permitido eliminar esos paquetes antes de que lleguen a destino. Ahora, el problema no es trivial, porque como lo hemos visto en el NIC también, al final filtrar este

tipo de ataques puede resultar más caro que simplemente tratar de responderlos rápido y deshacerse de ellos. Los ataques de denegación de servicio son tremendamente complejos de manejar, sobre todo en estos protocolos como el servidor raíz, que es DNS, en que la "query" es muy pequeña y la respuesta es muy pequeña. Entonces, cualquier cosa que hagas sobre eso es más caro que simplemente responderla. Cualquier cosa que le agregues al paquete puede hacer que se duplique la carga que el protocolo está generando. Al fin, respondiendo tu pregunta, yo creo que esto va a aguantar, que ésta es una infraestructura que debiera ser capaz de transformarse en una infraestructura crítica de la cual podamos depender.

Y para ir concluyendo, una pregunta más bien de índole personal. En este último tiempo tú has evolucionado desde ser un académico a ser una persona que está ahora mucho más metida dentro de la industria. ¿Cómo te ves en unos diez años más?

¡La verdad es que no tengo idea! He tenido sensaciones encontradas respecto de este cambio, hay una parte en que siento que he recuperado una libertad que estaba echando de menos. A pesar de que la academia es hartito libre, de alguna forma te encasilla en un esquema en el cual yo no estaba muy cómodo. Pero el mundo privado tiene también su "lado B", uno se acostumbra mucho en la Universidad a estos chicos que no envejecen nunca, uno vive en una institución llena de jóvenes permanentes, y en general en el mundo real la gente envejece. ¡Entonces estoy mucho más rodeado de viejos que lo que estaba acostumbrado! Y echo de menos un poco ese caos estudiantil que caracteriza tanto a las universidades. Así que no lo sé. Ahora por lo menos estoy persistiendo, mi plan es por lo menos dedicar unos cinco a seis años a esta idea de ser un poquito más privado y menos académico, y ahí reevaluaré. No tengo una decisión. Lo que sí creo es que no voy a dejar nunca completamente la Universidad. Tengo la sensación de que mantendré al menos una pata un día a la semana en la Universidad, dando un curso, por ejemplo. El poder aterrizar ahí de vez en cuando y tomar aire creo que es fundamental y por lo menos eso no lo quiero abandonar. ■

ENTREVISTA A:

PATRICIO POBLETE

Por José Miguel Piquer





PATRICIO POBLETE

Patricio Poblete es Profesor Titular del Departamento de Ciencias de la Computación de la Universidad de Chile, del cual es uno de sus fundadores y fue director en dos periodos. También es fundador y Director de NIC Chile, organismo encargado de administrar el .CL. Entre 2000 y 2014 se desempeñó como Director de la Escuela de Ingeniería y Ciencias de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas (FCFM) de la Universidad de Chile. En 2015, su trabajo en la mejora de la enseñanza de ingeniería fue reconocido con los premios "Raúl Devés Jullian", del Instituto de Ingenieros de Chile, y el premio de la Sociedad Chilena de Educación en Ingeniería (SOCHEDI).

Después de todo tu trabajo en la Escuela, por tantos años, ¿crees que se viene hoy un cambio revolucionario en la educación de ingeniería en el mundo?

Es poco frecuente poder darse el lujo de hacer cambios radicales en las escuelas de ingeniería, normalmente son cambios graduales, permanentes y de largo aliento, donde los frutos no se ven de inmediato.

Pero, ¿estos pequeños pasos nos llevarán a una educación muy distinta eventualmente?

Pueden llevarnos a cambios muy fundamentales en el tiempo. Pero las escuelas de ingeniería tienden a ser conservadoras y autorreferentes. Afortunadamente, en nuestro caso, la llegada de más profesores extranjeros (de lo cual el DCC es un ejemplo) ha ayudado a ir cambiando esa tradición, así como la formación que nuestros propios académicos han tenido en el extranjero, de donde traen nuevas ideas y visiones.

Para los más antiguos, esto no era el caso, y tendíamos a reproducir el modelo en el que nosotros habíamos sido educados ya que, después de todo, ¡era obvio que ese modelo había funcionado muy bien!

Creo que vienen cambios importantes en la enseñanza. La tradición de largo tiempo ha sido la de la clase expositiva. Existe un cuadro de la edad media que muestra la imagen de una sala de clases que es igual a las de ahora, ¡incluso con un estudiante durmiendo en la última fila! Sin embargo, no es un sistema demasiado eficiente en cuanto a lograr que los estudiantes realmente aprendan, ya que sabemos muy bien hoy en día que con el hecho de solo ver a alguien haciendo

algo, no se aprende mucho. Uno realmente aprende algo cuando es capaz de hacerlo, y más todavía si es capaz de enseñarlo. Esto nos conduce a un modelo en que el estudiante debiera ser mucho más activo en clases. "Aprender haciendo" es el modelo que se ha ido imponiendo en la enseñanza de las ingenierías.

Unas de las innovaciones que trajo el nuevo plan de estudios de la Escuela, fueron una serie de cursos de Introducción a la Ingeniería, que buscan justamente que el estudiante aprenda haciendo proyectos, abordando desafíos propios de la ingeniería.

Ese proceso: concepción, diseño, implementación y luego su operación, se considera central a las ingenierías, y descubrimos en este camino, que ya existía el enfoque CDIO (Concebir, Diseñar, Implementar, Operar), iniciativa a la que nos sumamos y nos permitió aprender de lo que están haciendo más de cien escuelas top de ingeniería del mundo.

¿Estos cambios siempre debieron haberse hecho? ¿O algo ha cambiado en las ingenierías?

Hay algo de ambas cosas.

Parece ser que antes la ingeniería se aprendía en forma más activa y haciendo cosas, mucho más que hoy. La ingeniería se aprendía al lado del maestro, trabajando con él, construyendo a su lado. De hecho, se hacía mucho menos énfasis en la teoría. Esto de ser más rigurosos en los fundamentos de la ingeniería es muy reciente, más o menos para la segunda guerra mundial aparece el concepto de la ciencia de la ingeniería, con muy buenas razones, porque se requería darle bases más científicas y rigurosas. Pero parece

que fue un error abandonar completamente el modelo original. Principalmente porque se corre el riesgo que los estudiantes pierdan de vista lo que es realmente la ingeniería: no es una disciplina analítica que trata de entender cómo funcionan las cosas (eso es la ciencia), sino que trata de cambiar el mundo: cómo hacer que las cosas funcionen mejor. Por supuesto que esto requiere conocer la mayor cantidad de ciencia posible, pero también requiere mucha creatividad e ingenio. También requiere saber cómo resolver un problema cuando no existe la ciencia necesaria, y resolverlo de la mejor manera posible, incluso usando prueba y error cuando no hay otra manera mejor de hacerlo. Y todo esto, de forma profesional, no se trata de buscar a ciegas.

De la misma manera, se debe aprender a trabajar en equipo. La vida del ingeniero no es solitaria, se debe trabajar mucho en equipos multidisciplinarios. También hay que ver la parte ética y la comunicación. Muchos estudiantes creen que su vida profesional se va a basar principalmente en calcular cosas, cuando en realidad siempre tendrán que convencer al resto de sus propias ideas, tendrán que "vender" su proyecto.

¿Cuál fue tu mayor éxito en la Escuela?

Siento que fue algo más o menos general. Al comienzo nos dedicamos a revisar el plan de estudios, que ya estaba viejo. Pero, al trabajar en esto, descubrimos que era fundamental modificar la forma en que el profesor interactuaba con el alumno. Miramos qué se estaba haciendo en el mundo y descubrimos que mucha gente estaba trabajando en estos temas. Así, copiamos muchas ideas que nos sedujeron. Por una parte, nos demoramos mucho más de lo que se esperaba, pero por otra, llegamos a algo mucho más amplio, a

empezar a cambiar la manera en que se enseña, en que se aprende. De a poco, esta preocupación se ha masificado a cada vez más profesores. La forma de enseñar se ha transformado en un tema en la escuela, que se discute en los pasillos.

Hay profesores que han cambiado en forma radical su forma de enseñar, con resultados espectaculares. La mayoría de estos cambios tienen que ver con la enseñanza activa: el estudiante sale de su rol tradicional pasivo, y empieza a hacer algo para su aprendizaje. Hay una infinidad de métodos para esto, y no estamos comprometidos con ninguno en particular, lo que importa es que funcione. Un ejemplo es el modelo del "flipped classroom", donde el aprendizaje tradicional se saca fuera de la sala de clases, el alumno estudia antes de venir a clases sus apuntes, videos, etc., y la clase se usa para resolver problemas, aclarar dudas, etc. (lo que antes probablemente habría sido una clase auxiliar). El dicho en inglés es que el profesor pasa de ser un "sage on the stage" a un "guide on the side": está ahí para ayudar, apoyar, discutir.

En general vemos que todos estos métodos hacen que los alumnos aprendan más. Un problema que hemos tenido es que nuestros cursos son masivos, y algunos de estos métodos están pensados para cursos pequeños. Sin embargo, Eric Mazur de Harvard por ejemplo, ha mostrado que hay metodologías que funcionan bien en cursos masivos, como lo que él llama "peer instruction", donde los estudiantes, de tiempo en tiempo, tienen que responder preguntas y discutir la respuesta con sus propios compañeros, de modo de generar una mejor respuesta. Esto funciona muy bien ya que los estudiantes usualmente se explican entre ellos mejor los conceptos que los mismos profesores. Mazur comenta que él descubrió esto una vez que no lograba que un estudiante entendiera su explicación, y le pidió a otro estudiante, que ya había entendido, que le explicara, logrando que entendiera inmediatamente. En el fondo, los profesores aprendimos hace tanto tiempo (a veces, décadas) esos conceptos que hemos olvidado cómo fue que los entendimos, y cómo veíamos el mundo antes de entenderlos.

¿Te quedaste con una frustración de algo no logrado?

Estos procesos tienen sus ritmos y cuesta apurarlos. Siento que hay algunas áreas en que avanzamos poco o nada.



IMAGEN 1.
EL PROFESOR PATRICIO POBLETE JUNTO AL PRESIDENTE DEL INSTITUTO DE INGENIEROS, ALEXANDER CHECHILNITZKY, QUIEN LE HACE ENTREGA DEL PREMIO "RAÚL DEVÉS JULLIAN".

Un ejemplo: siendo yo matemático, tengo un especial interés por la enseñanza de las matemáticas. Siento que podemos empezar más temprano con el manejo del cálculo como una herramienta, lo que permitiría partir más rápido con la física. En este nuevo plan de estudios, la física cuántica y la relatividad quedaron fuera del Plan Común. ¡Dejamos fuera la física del siglo XX! Si pudiéramos comenzar con la física en serio desde el segundo semestre, lo que requiere ya tener ese cálculo inicial, probablemente alcanzaríamos a cubrir esa parte fundamental.

Este enfoque se usa en muchas escuelas de ingeniería en el mundo: comenzar con un semestre de cálculo como herramienta y dejar para el segundo semestre los conceptos más fundamentales en forma rigurosa, lo que además encuentra a los alumnos con mayor madurez universitaria en vez de intentar sumergirlos en los fundamentos cuando vienen recién llegando del liceo.

Otra frustración se refiere al uso de las herramientas de álgebra simbólica como Maple, ¡qué debo haber usado por primera vez como en 1982! Siento que estos sistemas tienen un rol en los cursos de matemáticas desde el principio. Los estudiantes lo disfrutaban y hoy en día nuestro enfoque ignora completamente la existencia de dichas herramientas.

¿Las TIC tendrán que ver con estos cambios de los alumnos a soportar mal las clases largas y expositivas?

No lo sé. Pero con las TIC es mucho más fácil que el alumno esté en clases y sin embargo su mente esté en otra parte.

Las TIC han tenido impactos buenos y malos en la enseñanza. Hay casos malos, como el del profesor que hacía clases muy aburridas con tiza y pizarrón, ¡y pasa a hacer clases aún más aburridas con un DataShow!

O el profesor que escribe toda la materia en las transparencias y en clase las lee. ¡Está haciendo docencia tipo Karaoke!

Los computadores nos permiten mostrar simulaciones, visualizaciones, y experimentar y buscar. Si surge una pregunta interesante en clases, ahora podemos *googlearla* de inmediato y aprender juntos la respuesta. El modelo en que el profesor lo sabe todo ya nadie lo cree, por lo que no necesitamos aparentar que es así. Podemos trabajar en clase como lo hacemos en la vida profesional: ¡lo que uno no sabe, lo encuentra!

Un gran cambio es que el conocimiento está hoy a unos pocos clics de distancia. Por ello el rol del



IMAGEN 2.
EL PROFESOR PATRICIO POBLETE DURANTE LA CEREMONIA DE CONDECORACIÓN
DEL INSTITUTO DE INGENIEROS

profesor como "repositorio" de conocimiento no tiene sentido, y en nuestra escuela hemos sido aun más lentos en aceptarlo que en el resto del mundo, tal vez por que nunca hemos usado el concepto de un "libro de texto" para el curso y siempre el conocimiento ha fluído directamente del profesor al alumno.

El modelo de flipped classroom requiere de este tipo de material, para que el alumno estudie antes de ir a clases.

Un desafío es lograr que los alumnos hagan su tarea, y Mazur también ha propuesto ideas interesantes para ello con su nuevo sistema "Perusall", usando un foro donde los estudiantes responden preguntas y discuten entre ellos antes de venir a clases, y ese diálogo es evaluado como parte de las actividades, motivando a los estudiantes a participar.

Siendo chilenos, parece que tendremos que hacer un esfuerzo aun mayor por lograr que nuestros alumnos hagan las actividades necesarias.

Sí, creo que las ideas de Mazur de hacer actividades de preclase, que son evaluadas, resultan fundamentales para que nuestros alumnos realmente las realicen.

¿Si te nombraran decano de una nueva facultad de ingeniería donde puedes hacer la carrera como quieras? ¿Qué propondrías?

Hay un lugar en Estados Unidos donde esto ocurrió: Olin College, que es hija de la Fundación Olin, y fue creada hace unos diez años, en respuesta a los (entonces) nuevos criterios de acreditación de ABET, que llevaban a las escuelas a preocuparse más del output que de su input: ¿Cómo demuestra usted que sus estudiantes realmente cumplen con el perfil de egreso?

Contrataron un rector y a muchos profesores jóvenes para un proyecto audaz: sin "tenure", sin postgrado, y con una docencia basada en proyectos y aprendizaje activo a lo largo de toda la carrera. Yo lo encuentro fantástico y se ganaron el premio Gordon en Estados Unidos, reconocimiento a su aporte a la docencia en ingeniería.

¿Es la escuela que tú debieras haber fundado!

¡Probablemente haría una escuela muy parecida!

Selecciona a los estudiantes buscando creatividad, espíritu emprendedor, mitad hombres mitad mujeres. Invita a un grupo de preseleccionados por puntajes y notas y los tienen haciendo proyectos

un fin de semana mientras los evalúan, olvidando a esa altura los puntajes obtenidos. En base a su comportamiento, eligen a los aceptados finalmente.

Por otro lado, los estudiantes están totalmente involucrados en el proceso, lo que viene de un accidente afortunado. La primera generación llegó y no había todavía campus ni plan de estudios. Entonces esa primera generación participó del diseño del curriculum y fueron un gran aporte, por lo que los estudiantes han estado siempre involucrados en su propio plan de estudios.

Visité Olin cuando la primera generación estaba llegando al tercer año y me llamó mucho la atención lo felices que estaban de estar ahí y se sentían totalmente empoderados de su formación.

Finalmente, los MOOCS, Coursera, ¿no vuelven obsoletas las universidades tradicionales?

Personalmente siento que estos recursos van a venir a sumarse a lo que tenemos, más que a reemplazarlo. Por supuesto, es un desafío lograr que el profesor siga aportando valor, ahora que ya no es el repositorio absoluto del conocimiento. Hay que aprender a aportar de otra forma: el contexto en que esto se aprende, para qué vamos a usarlo, el asegurarnos que los estudiantes hayan aprendido realmente, lograr que los alumnos resuelvan problemas con la habilidad necesaria.

Como ejemplo personal, hice un primer intento de que mis alumnos de Análisis Avanzados de Algoritmos vieran las clases de Bob Sedgewick además de mis propias clases. ¡Es un privilegio el poder aprender de uno de los líderes del área! Tenemos que descubrir cómo integrar estos recursos en nuestras propias clases. Los MOOCS no han sido el éxito que se esperaba, pero creo que están aquí para quedarse, y debemos encontrar formas de usarlos para mejorar el aprendizaje de nuestros estudiantes. ■

DOCTORADOS DEL DCC



VIOLETA CHANG



Mi nombre es Violeta Chang, ingeniera en Computación, peruana, y exalumna del programa de Doctorado en Ciencias mención Computación. Me siento muy orgullosa de haber elegido cursar el Doctorado en el DCC de la Universidad de Chile debido a su excelente nivel académico y de investigación en el área de Computación. La calidad humana y académica que encontré fueron muy motivantes para mí, las que permitieron replantear mis objetivos personales

y familiares en este país al que llegué sólo para estudiar el Doctorado. Mi experiencia personal en el DCC ha sido más que excelente, encontrando siempre el apoyo que un estudiante extranjero necesita, con mucha calidez humana. Tuve la dicha de ser madre durante mi estancia en el DCC. Y es impagable todo el apoyo que recibí, el mismo que hizo posible lidiar con la sobrecarga emocional que implica ser madre primeriza y en un país distinto al mío. En particular, agradezco al profesor Claudio Gutiérrez, quien fuera el coordinador del Programa de Doctorado durante gran parte de mi permanencia en el Programa, por todo su apoyo y aliento en momentos complicados.

La investigación de la tesis doctoral la empecé con un tema distinto al que al final defendí, por lo que mi permanencia en el Programa de Doctorado fue más extensa de lo previsto. Finalmente, la tesis que defendí en septiembre de 2015 está enmarcada en las áreas de procesamiento, análisis y reconocimiento de imágenes biomédicas. En ese sentido, trabajé con imágenes digitales de muestras de semen humano para determinar la tipología morfológica de cada una de las cabezas de espermatozoides humanos presentes en las muestras. Mi tesis doctoral se titula "Segmentation and classification of human sperm heads towards morphological sperm analysis" y la desarrollé bajo la supervisión de mi profesora guía Nancy Hitschfeld del DCC y dos coguías: Steffen Härtel de SCIAN-Lab y Laurent Heutte de la Universidad de Rouen. Particularmente, el trabajo con la profesora Nancy Hitschfeld fue muy fluido y productivo. Desde el inicio existió muy buena empatía y confianza entre ambas y muchísima comprensión de su parte. Su apoyo durante todos mis estudios de Doctorado, incluso antes de ser su alumna y especialmente en los momentos más complicados de este período siempre fueron muy estimulante y alentador para mí. Las reuniones eran constantes y siempre que había necesidad de discutir alguna idea y/o resultado, con mucho aporte de tiempo, motivación e ideas de su parte.



IMAGEN 1.
VIOLETA CHANG JUNTO A SU COMISIÓN EVALUADORA. DE IZQUIERDA A DERECHA: ALCEU DE SOUZA BRITTO JR., STEFFEN HÄRTEL, BENJAMÍN BUSTOS, MÁ. CECILIA RIVARA, VIOLETA CHANG, NANCY HITSCHFELD Y LAURENT HEUTTE.

Como es bien sabido, la infertilidad es un problema clínico que afecta hasta a 15% de parejas en edad reproductiva, con implicancias tanto emocionales como fisiológicas. Un análisis de semen es el primer paso en la evaluación de una pareja infértil. El énfasis en identificar no sólo cabezas normales de espermatozoides sino también categorías de cabezas anormales puede tener una significativa utilidad clínica al decidir por un tratamiento de fertilidad. Mi tesis propone una nueva metodología para detectar, segmentar, caracterizar y clasificar cabezas de espermatozoides humanos, con el objetivo de facilitar el posterior análisis morfológico, para diagnósticos de fertilidad, toxicología reproductiva, investigación básica o estudios de salud pública.

La evaluación experimental muestra que el método propuesto mejora el desempeño del estado del arte. Los resultados logran 98% de detección correcta a expensas de un número menor de falsos positivos, comparado con el estado del arte.

La principal aplicación de mi tesis radica en la decisión acerca de la técnica de reproducción asistida a utilizar, así como también en la identificación de los espermatozoides de morfología normal que podrían ser usados en el caso de la técnica de inyección ICSI. Sin embargo, la identificación de distintas subcategorías de espermatozoides con morfología anormal de cabeza tiene aplicación directa en estudios de toxicología reproductiva y de salud pública. Mi tesis tiene impacto directo en la formación de futuros andrólogos especialistas que se verán beneficiados del *gold-*

standard para clasificación de cabezas de espermatozoides, con la posibilidad de realizar un estudio selectivo y profundo de casos que presenten mayor dificultad. Además, se espera que la implementación de la metodología completa presentada en la tesis incremente la precisión del diagnóstico médico y que pueda ser usado como una herramienta de telemedicina, sirviendo de apoyo para laboratorios clínicos que no cuenten con andrólogos especialista en su staff permanente.

Gracias a la experiencia obtenida en el análisis de variabilidad interexpertos en análisis morfológico de espermatozoides y en métodos de aprendizaje supervisado, me he interesado fuertemente en investigar formas de generar *gold-standards* biomédicos confiables que consideren la opinión de distintos expertos. Es así que, a partir de noviembre del año pasado, he iniciado la ejecución como investigadora responsable de un proyecto de postdoctorado adjudicado en el concurso FONDECYT 2016, titulado "Generación de gold-standards biomédicos supervisado basado en múltiples expertos". Dicho proyecto se está desarrollando en el Laboratorio de Análisis de Imágenes Científicas de la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile, dirigido por el Dr. Steffen Härtel. El proyecto fue adjudicado con una duración de tres años y representa una iniciativa de envergadura, no sólo en Chile sino también en Latinoamérica, al contar con equipos actualmente disponibles sólo en pocos laboratorios en el mundo, lo que permitirá desarrollar investigación con estándares internacionales altamente competitivos, tanto en el país como en la región.

PEDRO RODRÍGUEZ



Mi nombre es Pedro Rodríguez, soy académico y Profesor Asociado del Departamento de Sistemas de Información de la Universidad del Bío-Bío (UBB) sede Concepción. Ingresé a trabajar en la UBB en 1991, primero como profesor part-time para después integrarme como profesor jornada completa en 1992.

Ingresé al DCC de la Universidad de Chile en 1996 para iniciar mis estudios de Maestría, de los cuales me gradué en enero de 2000. Posteriormente, en 2008 me reincorporé para continuar con el Programa de Doctorado del cual me gradué en julio de 2015. Entre las razones que me llevaron a realizar el Doctorado en el DCC fueron en primer lugar afianzar y consolidar el área de investigación de mallas geométricas junto a la profesora María Cecilia Rivara, quien cuenta con prestigio nacional e internacional en esa línea de investigación, además el buen nivel académico del Programa de Doctorado del DCC.

Fueron varias las cosas que marcaron mi paso por el Departamento de Ciencias de la Computación de la Universidad de Chile, entre ellas la buena y cordial relación que tuve con la profesora María Cecilia Rivara, quien fue mi guía en mi tesis doctoral, y también la excelente relación con mis compañeros de estudio, varios de ellos extranjeros, con los cuales formamos grupos de estudio y de trabajo especialmente durante la etapa de desarrollo de los cursos.

Mi tesis de Doctorado estudió la paralelización de algoritmos de refinamiento y mejoramiento de mallas geométricas basados en los conceptos de Lepp y de arista terminal para sistemas multicore y sistemas distribuidos. La tesis doctoral se tituló "Parallel Lepp-based Algorithms for the Generation and Refinement of Triangulations". Estos algoritmos paralelos permiten el procesamiento masivo de mallas en dos y tres dimensiones (triángulos y tetraedros, respectivamente) con dominios de entrada que pueden tener formas convexas o irregulares y orientados a la resolución de problemas científicos y de la ingeniería que hacen uso del método de elementos finitos.

Para llevar a cabo esta investigación, hubo que enfrentar algunos desafíos tales como diseñar algoritmos paralelos de refinamiento y mejoramiento de mallas que puedan adaptarse a diferentes arquitecturas multicore y también para sistemas paralelos de memoria distribuida basados en arquitecturas multicore. Uno de los principales problemas que se pueden destacar es que actualmente las arquitecturas multicore no son homogéneas y esto hace que la paralelización de algoritmos de mallas en ambientes de memoria compartida pueda presentar más dificultades, especialmente cuando el set de núcleos (cores) está distribuido en diferentes sockets. La presencia de secciones críticas es otro problema que debe ser abordado cuidadosamente cuando varios *threads* desean manipular estructuras de datos compartidas.

Cuando la cantidad de datos a procesar es muy grande, es decir, el tamaño de las mallas a procesar sobrepasa las capacidades de una computadora multicore entonces se hace necesario de sistemas computacionales más complejos que cuenten con mayor capacidad de almacenamiento y de procesamiento. En este caso la malla de entrada debe ser procesada en un ambiente distribuido, la cual debe ser particionada y procesada por varios nodos o procesadores que cuentan con una memoria privada y que son capaces de comunicarse a través de una red de interconexión.

El desarrollo de algoritmos paralelos en ambientes distribuidos también presentó diferentes desafíos tales como establecer la distribución de la

carga de trabajo de los procesadores. Esta parte se pudo resolver aplicando algoritmos y métodos de partición de mallas, entre ellas el uso de bibliotecas de libre distribución tales como METIS y ParMETIS. Estas bibliotecas convierten la malla de entrada (2D o 3D) a un grafo el cual es posteriormente particionado. Se sabe también que el problema de partición de grafos es un problema NP-Completo. Sin embargo, para atacar este problema se usaron diferentes heurísticas que entregaron resultados.

Cada una de las particiones puede constituir la carga de trabajo para cada uno de los procesadores. También se pudieron implementar otros algoritmos de partición, uno de ellos basados en la partición recursiva del espacio tales como quadrees (2D) y octrees (3D). Lo importante de esta etapa es lograr particiones de buena calidad y de buenas formas geométricas. Una vez que la carga es distribuida, el algoritmo permite refinar la malla de forma paralela.

Actualmente integro un grupo de investigación en la Universidad del Bio-Bio, y por otro lado estoy trabajando en la preparación de proyectos de investigación que abordan problemas del área de mallas geométricas y el desarrollo de nuevos algoritmos paralelos en ambientes de memoria compartida y memoria distribuida.



IMAGEN 2.
PEDRO RODRÍGUEZ JUNTO A SU COMISIÓN EVALUADORA. DE IZQUIERDA A DERECHA: MA. CECILIA RIVARA, PEDRO RODRÍGUEZ, BENJAMÍN BUSTOS (EN LA IMAGEN DE LA PANTALLA), ROMAIN ROBBES Y LUIS MATEU.

CARLOS BEDREGAL



Gracias a una beca de CONICYT pude establecerme en Chile e iniciar los estudios de Doctorado en el DCC de la Universidad de Chile. Esta experiencia fue muy positiva. El Departamento, los docentes, y personal administrativo siempre estuvieron dispuestos a ayudarme a lo largo de mis estudios de Doctorado. La infraestructura del DCC y la formación recibida excedió mis expectativas, y me proporcionó un ambiente óptimo para desarrollarme como mi inves-

tigador. Además, durante mi permanencia en el DCC pude conocer y trabajar con gente muy talentosa, y formar amistades que perduran hasta ahora.

Bajo la dirección de la Profesora María Cecilia Rivara, mi investigación se enfocó en el análisis de algoritmos de arista más larga para el refinamiento de mallas en dos dimensiones. Estas mallas son estructuras usadas para la representación y procesamiento de objetos en aplicaciones como

animación por computadora o simulaciones en ingeniería (desde el diseño de aviones y edificios, hasta dispositivos móviles y microprocesadores). Dos factores importantes en estas aplicaciones son la calidad y el tamaño de las mallas usadas para la simulación. Mi estudio de algoritmos de arista más larga demostró que estos algoritmos generan mallas de buena calidad y de tamaño óptimo, tanto en la teoría como en la práctica. Mi tesis estableció una base sólida para nuevos estudios teóricos y prácticos en algoritmos de refinamiento de arista más larga en dos y tres dimensiones. Además, esta investigación me permitió asistir y presentar en distintas conferencias internacionales, e interactuar con investigadores de todo el mundo.

Ahora me interesa usar los conocimientos adquiridos durante el Doctorado en aplicaciones de industria. Actualmente formo parte del equipo de desarrollo geométrico en Silvaco Inc., una empresa en Estados Unidos que desarrolla software para simulaciones y diseño de circuitos integrados. Este puesto me permite seguir investigando en el campo de geometría computacional, y colaborar con desarrolladores talentosos de diversos países. ■



IMAGEN 3.
CARLOS BEDREGAL JUNTO A SU COMISIÓN EVALUADORA. DE IZQUIERDA A DERECHA: CHEE K. YAP, BENJAMÍN BUSTOS, MA. CECILIA RIVARA, CARLOS BEDREGAL, NANCY HITSCHFELD Y ROMAIN ROBRES.



MAGÍSTER

- Tecnologías de la Información (vespertino)

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 Información

PROGRAMAS CORPORATIVOS

- Cursos que se adaptan a las necesidades de capacitación de su empresa

PROGRAMA DE EDUCACIÓN CONTINUA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

Sigue avanzando

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