

# Un nuevo sistema de despacho para Bomberos

Por Daniel Espinoza G. y Fernando Ordóñez P., académicos del Departamento de Ingeniería Industrial, FCFM-Universidad de Chile.\*

Ser capaz de llegar rápidamente con ayuda en situaciones de emergencia puede significar la diferencia entre la vida y la muerte. Todos los días, los cuerpos de bomberos en el país se ven enfrentados a este problema cuando responden a emergencias. El Departamento de Ingeniería Industrial de la FCFM de la Universidad de Chile, en colaboración con el Cuerpo de Bomberos de Santiago (CBS), ha desarrollado una nueva forma de despachar vehículos de emergencias que toma en consideración el mapa de calles de Santiago, la congestión y la reversibilidad de las vías de acceso. Este desarrollo, que el CBS utiliza desde noviembre de 2012, motivó una parte del proyecto Fondef "Tecnologías avanzadas para las ciudades del futuro" que considera la incertidumbre presente en los tiempos de viaje y en las emergencias para desarrollar sistemas de despacho y localización que, además, puedan incluir criterios de riesgo.

## Algo de historia

El primer Cuerpo de Bomberos de Chile se formó en Valparaíso en 1851, luego de un gran incendio que destruyó por completo la Calle del Cabo. En Santiago no fue sino hasta el año 1863 que se crea la Primera Compañía de Bomberos. Hasta ese momento los incendios eran enfrentados por los funcionarios municipales, serenos, policías y por los mismos afectados,



sin disponer de los implementos necesarios para combatir estas situaciones de emergencia. Esto se modificó luego del incendio en el Templo de la Iglesia de la Compañía de Jesús, el 8 de diciembre de 1863, en el que murieron más de 2.000 personas. Hoy, el Cuerpo de Bomberos de Santiago realiza diversas actividades, desde extinción de incendios, rescates automovilísticos y urbanos, hasta la investigación de los siniestros, el manejo de materiales peligrosos con la especialidad Haz-Mat y Asesorías en Prevención y Seguridad (AS&P Ltda.). Estas funciones son ejecutadas por alguna de las 22 compañías del Cuerpo de Bomberos de Santiago, las que hacen uso de su especialidad al momento de asistir a una emergencia. De esta forma, el CBS responde a emergencias por incendios, accidentes vehiculares, búsqueda y rescates en un área de la Región Metropolitana que comprende las comunas de Santiago, Estación Central, Independencia, Las Condes, Lo Barnechea, Providencia, Recoleta, Renca y Vitacura. Durante 2009 el CBS concurrió a 4.775 eventos de los cuales un 22% correspondió a incendios estructurales.

## El modelo

El sistema de despacho tradicional considera la división de la zona de cobertura en una serie de sub-zonas, como se muestra en la figura. Las prioridades de servicio a cada sub-zona se determinan por la distancia euclidiana (i.e. línea recta) entre la compañía y la esquina más cercana de la sub-zona en cuestión. Ordenando esas distancias de menor a mayor, se da el orden de despacho de vehículos de emergencia según la disponibilidad actual en el sistema. Un problema de este sistema de priorización es que no considera el tramado de las calles ni las condiciones del tránsito a la hora de la emergencia. Finalmente, esta división del área de cobertura y su consiguiente asignación de prioridades a emergencias en cada sub-zona se realiza mediante un largo proceso incluyendo criterios subjetivos.

La disponibilidad de una gran cantidad de información de tránsito (Transantiago) y de la distribución de uso del suelo de Santiago (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, MINVU), además de eficientes sistemas GIS (Sistemas de Información Geográficos), han creado la oportunidad de desarrollar sistemas de despacho

# Bomberos en línea

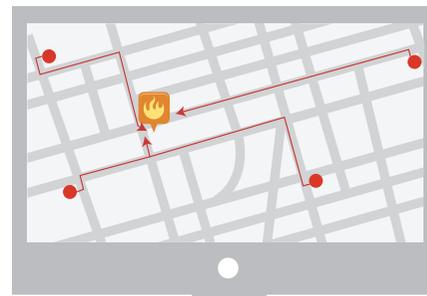
*Un minuto ganado para recurrir a un siniestro puede significar una vida. Conscientes de ello, el Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad de Chile desarrolló un sistema digital y en línea que permite a Bomberos decidir la ruta más rápida de forma más efectiva y real, gracias a las tecnologías de georreferenciación disponibles.*



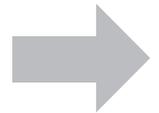
Hasta fines de 2012, Bomberos se basaba en divisiones de la ciudad y tiempos estimados en tablas según distancias de cada estación a cada cuadrante. Estas distancias eran medidas de forma aproximada, sin considerar detalladamente la estructura de las calles, flujos y sentido del tránsito.

Antes

Ahora



El nuevo sistema aprovecha la tecnología GPS, georreferencia los puntos y define las rutas, además de considerar malla de calles y congestión según hora.



Además, se puede consultar desde cualquier parte, incluso desde dispositivos smartphones, basta estar conectado a internet.



y planificación para el CBS que logran reducir los tiempos de respuesta al utilizar esta información. Por otra parte, la localización actual de estaciones de bomberos se debe más bien a motivos históricos que a criterios de eficiencia en la respuesta a emergencias. Para un eficiente uso de recursos de Bomberos es crítico tomar en cuenta la incertidumbre en tiempos de viaje, así como la localización y tiempo de las emergencias. Esto permitiría desarrollar sistemas que busquen la ubicación óptima de nuevas compañías o vehículos. Un problema adicional que se puede atender son las decisiones de reposición de equipamiento cuando existen vehículos de emergencia respondiendo a alguna emergencia por períodos largos.

## Descripción del sistema

Sistemas de despacho para emergencias en grandes ciudades como Nueva York, Los Angeles o Chicago utilizan despachos basados en distancias mínimas al incidente. Para eso consideran algún tipo de información en línea, como GPS, para determinar la ubicación y disposición del equipamiento y la emergencia, y, de esta forma, dar una respuesta más efectiva. Estos sistemas

de despacho de emergencia son producidos actualmente por empresas especializadas en geo-referenciación, comunicación y computación. Algunos ejemplos de empresas líderes son New World Systems, proveedor de *software* para seguridad como el Aegis Computer Aided Dispatch y ESRI, que es el líder mundial en Sistemas de Información Geográfica (GIS). En Chile podemos citar la empresa Servicios de Información Geográfica Ltda., que es el actual proveedor del sistema de despacho utilizado por el CBS, y empresas que producen mapas en el país como MAPCITY.COM S.A. y Mapas Digitales S.A.

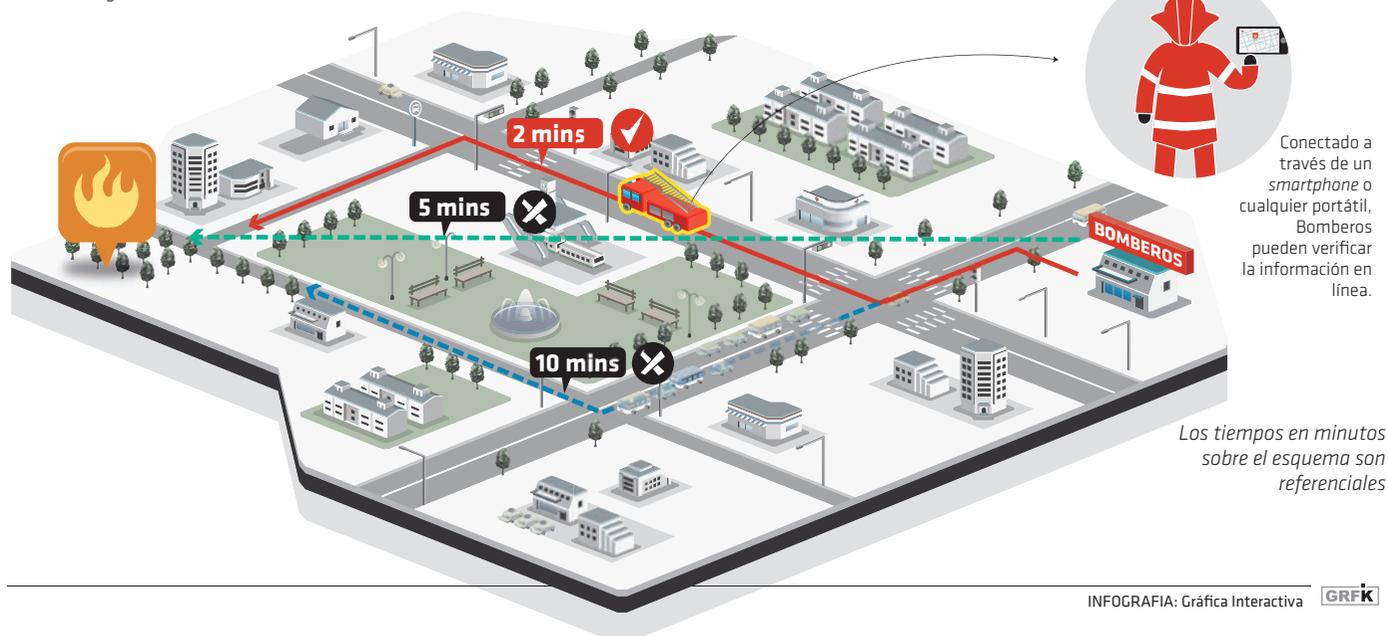
Según entendemos, ninguno de los sistemas actualmente desarrollados y utilizados para despacho en el mundo considera aspectos como congestión, situación dinámica de la red de transportes y reversibilidad de calles, entre otros elementos. Una de las dificultades para proveer esta integración es la ausencia de una buena base de datos para entender mejor el comportamiento del tránsito. Dicho problema es subsanado, en parte, por el nuevo sistema desarrollado y será abordado en más profundidad durante el proyecto Fondef en el que se busca lograr una mejor integración con el trabajo que se realizará para el Transantiago y el MINVU, gracias a los datos que de allí se obtengan.

### ¿Cuál ruta es la indicada para llegar antes al siniestro?

---> Distancias estimadas  
El sistema anterior usaba distancias aproximadas entre Bomberos y el siniestro, sin incluir el detalle de las calles o congestión a distintas horas del día.

---> Imprevistos  
El sistema nuevo considera hora del día, congestión vehicular e incidentes imprevistos para tomar una mejor decisión de ruta.

→ Ruta más corta ✓  
El *software* diseñado es capaz de medir el tiempo más corto y los tiempos desde las estaciones hasta el punto de emergencia.



El sistema desarrollado requiere de un grafo de la ciudad de Santiago que incluya por arco del grafo una estimación del tiempo de viaje cada media hora, para representar cómo la congestión cambia las velocidades promedio a lo largo del día en distintas partes de la ciudad. Basados en la cartografía de que dispone el CBS se construyó un grafo geo-referenciado que representa la ciudad de Santiago con más de 300.000 nodos y 600.000 arcos dirigidos. Para estimar velocidades en estos arcos se utilizaron estimaciones de velocidades de las rutas de buses del Transantiago y estas velocidades promedio -para cada recorrido del Transantiago- fueron proyectadas en el grafo de Santiago y extrapoladas a los arcos que no poseen un recorrido. Esto se hizo para cada media hora de un día de semana tipo, en tanto que la reversibilidad de calles se implementó indicando horarios en los que una secuencia de arcos no está disponible (tiene una velocidad muy alta).

¿Cómo opera este sistema? Cuando ocurre una emergencia, se ingresan las coordenadas del evento y se calcula el árbol de caminos mínimos desde todos los nodos que estén a 50 metros de la emergencia hasta las 22 compañías del CBS. Sobre esta base se implementó el algoritmo de Dijkstra con *heaps* binarios y una estructura de datos que permite una implementación eficiente del algoritmo. El motivo de hacer la búsqueda de caminos mínimos desde nodos que estén a 50 metros de la emergencia es para representar el hecho que cuando un vehículo de bomberos se encuentra a 50 metros de la emergencia se considera que ya llegó a esta y no debe darse vueltas para cruzar un bandejón central o respetar el sentido de la calle. Los caminos que tengan el menor tiempo de viaje (o distancia si se prefiere esa opción) tienen mejor prioridad de despacho. Se desarrolló, además, una interfaz basada en Google Maps para permitir que cada voluntario y compañía tenga la información del despacho a la emergencia, incluyendo rutas usadas para determinar la prioridad y que pueden servir como una sugerencia de viaje.

## El proyecto

El trabajo que se pretende efectuar en los próximos tres años al alero del Fondef consiste en: 1) Desarrollar un sistema de despacho que incluya la incertidumbre en los tiempos de viaje.

Dado que hay rutas que son más variables que otras, se debe decidir qué camino tomar frente a una emergencia. Por ejemplo, el camino de tiempo esperado más corto se puede demorar más -con mayor probabilidad- si es que sus tiempos de viaje son más variables. 2) Incluir en el cálculo de las distancias más cortas la posibilidad de eliminar calles o áreas, es decir, poder responder a condiciones variables de la red vial. 3) Desarrollar un sistema que ayude a la toma de decisiones de planificación de operaciones basado en despachos por menor tiempo de respuesta. En particular, las preguntas que se investigarán serán: a) Cómo reposicionar material mayor para cubrir posibles áreas descubiertas por equipamiento que está comprometido en una emergencia larga. b) Posicionamiento óptimo de compañías y material mayor en función de la distribución de necesidades por servicios bomberiles en la ciudad.

En resumen, se busca desarrollar sistemas que permitan incluir la incertidumbre en los tiempos de viaje en la asignación de recursos a emergencias (una generalización del sistema que actualmente se implementa), así como el uso de esta herramienta en la toma de decisiones de planificación de operaciones del CBS. Para desarrollar este trabajo utilizaremos datos históricos de emergencias de la CBS, además de los datos de posición de buses del Transantiago y datos de la composición de la ciudad proveniente del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), todas entidades participantes de este proyecto Fondef. 

### ¿Qué es Fondef?

El Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico, Fondef, es un programa dependiente de la Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología Conicyt. Su propósito es contribuir al aumento de la competitividad de la economía nacional y al mejoramiento de la calidad de vida de los chilenos, promoviendo la vinculación entre instituciones de investigación, empresas y otras entidades en la realización de proyectos de investigación aplicada y de desarrollo tecnológico de interés para el sector productivo u orientados al interés público.

\*Daniel Espinoza es Ingeniero Civil Matemático de la Universidad de Chile. Ph.D. en Ingeniería Industrial y Sistemas, Georgia Institute of Technology. Fernando Ordóñez es Ingeniero Civil Matemático de la Universidad de Chile. Ph.D. en Investigación Operativa, MIT.