

PREDICCIÓN Y ALERTA TEMPRANA DE INCENDIOS FORESTALES MEDIANTE INTEGRACIÓN DE WSN E IMÁGENES SATELITALES EN UN MÉTODO DE REDUCCIÓN DE INCERTIDUMBRE GUIADO POR DATOS

Méndez-Garabetti Miguel^{1,2,3}, Bianchini Germán², Caymes-Scutari Paola^{2,3},
Elgueta Rodrigo¹, Caylá Ivana Belén¹, Córdoba Diego¹, Peñasco Andrés¹, Morelli, José¹,
Carrizo Marcelo¹, Varela Pablo¹, Giorlando Agustín¹, Lujan Arnaldo¹ y Carballo Nicolás¹

¹Universidad de Mendoza, Facultad de Ingeniería (UM)

²Laboratorio de Investigación en Cómputo Paralelo/Distribuido
Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información
Facultad Regional Mendoza/UTN

³Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

miguel.mendez@um.edu.ar, gbianchini@frm.utn.edu.ar, pcaymesscutari@frm.utn.edu.ar,
rodrigo.elgueta@um.edu.ar, iva.cayla@gmail.com, diego.cordoba@um.edu.ar,
penasco.andres@gmail.com, jose.morelli@um.edu.ar, carrizomarcelo@gmail.com,
jazxz.pv@gmail.com, agus.giorlando@gmail.com, aarnnaall@gmail.com,
nicolas.carballo@gmail.com

RESUMEN

Los incendios forestales son unos de los fenómenos naturales que más perjuicios causan en nuestro país y en el mundo, generando pérdidas de vidas humanas, daños en la propiedad, la flora, la fauna, el suelo, entre otros. Debido a esto, se considera de interés desarrollar herramientas, sistemas, métodos, estrategias, entre otros, que permitan minimizar los efectos negativos causados por éstos. El presente proyecto pretende realizar un aporte significativo en esta área, dado que propone integrar información de diferentes fuentes, en un método paralelo de reducción de incertidumbre guiado por datos aplicado a la predicción y alerta temprana de incendios forestales. Las fuentes de información estarán conformadas por: redes de sensores inalámbricos, imágenes satelitales, históricos de incendios forestales, entre otros. Dicha integración permitirá determinar la ocurrencia precoz de los incendios forestales antes de que estos se

magnifiquen, y además permitirá reducir la incertidumbre de algunas de las variables dinámicas que alimentan al modelo de predicción de comportamiento de incendio, impactando de forma positiva en la calidad de predicción del sistema.

Palabras clave: alerta temprana, predicción de incendios, incendios forestales, WSN, sensores, imágenes satelitales

CONTEXTO

El presente proyecto de I+D cuenta con el financiamiento de la Dirección de Investigaciones de la Universidad de Mendoza (DIUM), el mismo se desarrolla en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Mendoza con la colaboración del Laboratorio de Investigación en Cómputo Paralelo Distribuido de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza (UTN-FRM).

1. INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales causan grandes daños y pérdidas [1], en Mendoza, estos eventos ocurren principalmente entre los meses de septiembre y marzo. En 2016 según el informe de Estadísticas de Incendios Forestales desarrollado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable [2], en Argentina los incendios devastaron un total de 1.072.642 hectáreas, y puntualmente en Mendoza, la cifra alcanzó un total de 93.529 hectáreas.

Con el propósito de reducir la incidencia de los incendios forestales y mitigar sus efectos negativos, se vuelve necesario contar con herramientas que permitan:

- a) **Detectar en el menor tiempo posible la ocurrencia de estos fenómenos:** este tipo de herramientas también se conocen como sistemas de alerta temprana, los cuales cumplen un rol muy importante en el proceso de lucha contra incendios debido a que permiten actuar antes que el incendio se extienda demasiado, posibilitando así la utilización de menor cantidad de recursos en el proceso de extinción y, sobre todo, generando menor cantidad de daños [3,4,5].
- b) **Pronosticar con antelación el comportamiento de la línea de fuego:** Cuando los incendios ya se han magnificado, predecir su comportamiento puede ser la herramienta que marque la diferencia. La predicción del comportamiento de un incendio forestal puede permitir gestionar los generalmente “escasos” recursos disponibles, de manera eficiente y segura, facilitando la toma de decisiones complejas tales como evacuaciones, planificación de cortafuegos, extracción de combustible, entre otros [6,7,8,9].

El presente proyecto aborda el diseño de una WSN para ser aplicada como sistema de alerta temprana de incendios forestales, además pretende integrar de forma colaborativa los datos adquiridos mediante dicha red junto a los generados, para tal fin, por las diferentes agencias espaciales (imágenes satelitales). Dicha información será utilizada para alimentar un método de predicción del comportamiento de incendios forestales que se beneficiará de las diferentes escalas de trabajo de cada plataforma tecnológica. En base a lo dicho, la fundamentación teórica la podemos dividir en tres secciones: a) redes de sensores inalámbricas aplicadas a la detección de incendios forestales, b) utilización de productos satelitales para la detección de incendios forestales, y c) métodos de reducción de incertidumbre aplicados a la predicción del comportamiento de incendios forestales.

Redes de sensores inalámbricos (WSNs):

El uso de redes de sensores que cubren grandes territorios asegurando el monitoreo efectivo de fenómenos tales como incendios forestales sigue siendo un problema de particular interés y significación en la comunidad científica. Esto es debido a que las WSN ofrecen soluciones económicas y eficientes de monitoreo, dado que estos dispositivos son baratos y compactos, pudiendo ser desplegados en extensos territorios y al funcionar conjuntamente y de forma autónoma pueden utilizarse eficazmente para detectar gases peligrosos y detectar los incendios forestales [10].

Una WSN es un conjunto de elementos autónomos, interconectados de manera inalámbrica, que colaboran con el objetivo de resolver una tarea en común. Los sensores toman del medio la información y la convierten en señales eléctricas, posteriormente los nodos, los cuales contienen varios sensores toman los datos de los sensores y los envían a las estaciones base. La comunicación entre los nodos suele realizarse mediante el estándar IEEE 802.15.4,

utilizando el stack de protocolos ZigBee, aunque también puede utilizarse 802.11 o Bluetooth.

Desde el punto de vista de la detección de incendios, existen diferentes alternativas para detectar la ocurrencia de éste fenómeno, en el ámbito de las WSN la metodología más usada consiste en medir la temperatura ambiente, la humedad, la luz y la presión barométrica, aunque también puede detectarse mediante el sensado de humo, CO/H₂ y gases peligrosos.

Productos satelitales para la detección de incendios forestales:

Debido a su cobertura repetitiva de gran área, los datos de satélite son útiles para la detección de incendios, monitoreo y evaluación del área quemada en tiempo casi real. Los focos de calor MODIS son básicamente utilizados como datos de entrada para la generación de eventos de incendios. La detección de focos de calor se basa en la capacidad de un sensor remoto de capturar la energía emitida por la superficie terrestre en las longitudes de onda correspondientes al infrarrojo medio y térmico. De acuerdo a las temperaturas emitidas por los incendios (entre 300°C y 1500°C), se establecen umbrales de temperatura que permiten detectar los frentes de fuego activos. El proceso de detección es influenciado por una diversidad de factores, que comprenden al tipo de vegetación quemada, el nivel de combustible acumulado, las condiciones ambientales, y cuestiones relativas a la geometría de observación de la plataforma satelital. Cada foco que se detecta activo (en llama) al momento del registro de la imagen, es representado sobre la superficie terrestre mediante la coordenada central del pixel. El tamaño de pixel MODIS correspondiente a los canales térmicos es de 1000 mts de lado, lo cual representa una superficie de 10.000 mts cuadrados (1 ha.). La CONAE procesa focos de calor a partir de la versión original del algoritmo MOD14. A lo largo de los últimos años, el algoritmo MOD14 ha pasado por diversas pruebas y validaciones que

han resultado en mejoras sobre su capacidad de detección. La colección 5 (C5) es el producto de focos de calor actual, el cual, provee mejoras en cuanto a la calidad de detección de incendios pequeños. Además, también existen adaptaciones de este algoritmo para poder incorporar datos de otras plataformas, como GOES y NOAA-AVHRR, y en particular los provistos por el sensor VIIRS, el cual corresponde a la nueva generación de sensores que a futuro continuará con el monitoreo de incendios en la era post MODIS. Es importante mencionar que las imágenes satelitales de estas misiones se encuentran accesibles a toda la comunidad por lo que pueden ser procesadas para obtener la información necesaria.

Métodos de reducción de incertidumbre:

Debido a la imprecisión de los parámetros de entrada y la dificultad de medirlos en tiempo real, es que ha sido necesario recurrir a técnicas que sean capaces de reducir la incertidumbre, como por ejemplo los Métodos Guiados por Datos (DDM, Data Driven Methods). Los DDM consideran un gran número de valores para cada parámetro, posteriormente, realizan una búsqueda (mediante alguna técnica de optimización heurística) para encontrar un conjunto de parámetros que describa, de la mejor manera posible, el comportamiento anterior del fuego el cual se espera que pueda ser utilizado para predecir el siguiente instante de tiempo.

En otras palabras, los DDM realizan una calibración para obtener estos valores "óptimos" de los parámetros de entrada. Sin embargo, estos métodos obtienen un solo conjunto de valores, y para aquellos parámetros que poseen un comportamiento dinámico, el valor encontrado no es generalmente útil para describir correctamente el comportamiento del modelo. Esta categoría se denomina Métodos Guiados por Datos de Solución Única [11,12,13]. Existe otra clasificación de los DDM los cuales operan con casos solapados y combinaciones de parámetros para efectuar las predicciones. Esta categoría se denomina Méto-

dos Guiados por Datos con Múltiples Soluciones Solapadas (DDM-MOS, Data Driven Methos with Multiple Overlapping Solutions).

2. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

La detección temprana de los incendios forestales permite evitar la magnificación de estos fenómenos, permitiendo tomar decisiones antes de que estos alcancen a cubrir grandes superficies. De esta manera se puede permitir minimizar los efectos negativos que éstos generan.

Por tal motivo la presente línea de investigación consiste en el desarrollo de una Red Inalámbrica de Sensores (Wireless Sensor Network, WSN) [14,15] para ser aplicada como sistema de alerta temprana de incendios forestales, además pretende integrar de forma colaborativa los datos adquiridos mediante dicha red junto a los generados, para tal fin, por las diferentes agencias espaciales (imágenes satelitales). Dicha información será utilizada para alimentar un método de predicción del comportamiento de incendios forestales que se beneficiará de las diferentes escalas de trabajo de cada plataforma tecnológica. Tales desarrollos permitirán ofrecer una herramienta de alerta temprana de incendios forestales y mejorar la capacidad de predicción los métodos actuales.

3. RESULTADOS OBTENIDOS/ESPERADOS

Tras el desarrollo del presente proyecto se espera:

1. Implementar una red de sensores inalámbricos que opere como sistema de alerta temprana.
2. Identificar variables sensadas que puedan ser incorporadas al método de predicción, de esta manera se podrá reducir la incertidumbre en ciertas variables que alimentan al modelo.

3. Integrar el sistema de senado al sistema de predicción del comportamiento de incendios forestales.

4. FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

El presente proyecto está a cargo del Mg. Ing. Miguel Méndez-Garabetti y el Dr. Germán Bianchini, además se cuenta con el asesoramiento -como profesional invitado- de la Dra. Paola Caymes-Scutari. La formación de recursos humanos comprende tanto a estudiantes de grado (Ingeniería en Informática, Ingeniería en Electrónica, Bioingeniería) y de posgrado (Maestría en Teleinformática) todos de la Universidad de Mendoza.

También se cuenta con la participación de investigadores en formación quienes se desempeñan como docentes de grado de en la Universidad de Mendoza: Ing. Diego Córdoba e Ing. Rodrigo Elgueta. Este último se encuentra realizando su tesis de maestría en relación a temáticas centrales del presente proyecto.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Morgan, P., Hardy, C., Swetnam, T.W., Rollins, M.G., & Long, D.G. (2001). Mapping fire regimes across time and space: Understanding coarse and fine-scale fire patterns, *International Journal of Wildland Fire.*, 10, 329-342.
- [2] Estadísticas de Incendios Forestales 2016. (2016).
- [3] Yemail Lemaitre, A. J. & Moreno Ramos, A. I. Sistema para alerta temprana de incendios forestales. (2016).
- [4] Lic Nicolás Mari, P. A. & Scavuzzo Fabiano Morelli, M. Diseño de un Sistema de Alerta y Respuesta Temprana a Incendios de Vegetación – SARTiv. (2012).
- [5] SPARC (Organization), M. & Universidad Tecnológica de Pereira. *Scientia et technica. Scientia Et Technica* **18**,

- (Universidad Tecnológica de Pereira, 1995).
- [6] Bianchini, G., Cortés, A., Margalef, T., Luque Fadón, E., Chuvieco, E., & Camia, A. (2005). Wildland fire risk maps using S2F2M. *JCS&T*, 5, no. 4, 244–249
- [7] Bianchini, G., Caymes-Scutari, P., & Méndez-Garabetti, M. (2015) Evolutionary-statistical system: a parallel method for improving forest fire spread prediction, *J. Comput. Sci.* 6 (2015) 58–66.
- [8] Altintas, I., Block, J., de Callafon, R., Crawl, D., Cowart, C., Gupta, A., & Smarr, L. (2015). Towards an Integrated Cyberinfrastructure for Scalable Data-driven Monitoring, Dynamic Prediction and Resilience of Wildfires. *Procedia Computer Science*, 51, 1633–1642.
- [9] Méndez-Garabetti M., Bianchini G., Caymes-Scutari P., & Tardivo M. (2016) Increase in the quality of the prediction of a computational wildfire behavior method through the improvement of the internal metaheuristic. *Fire Safety Journal*, 82:49–62. ISSN 0379-7112.
- [10] Antoine-Santoni, T., Santucci, J. F., de Gentili, E. & Costa, B. Using Wireless Sensor Network for Wildfire detection. A discrete event approach of environmental monitoring tool. in *2006 First International Symposium on Environment Identities and Mediterranean Area* 115–120 (IEEE, 2006).
doi:10.1109/ISEIMA.2006.344927
- [11] Beven, K., & Binley, A. (1992) The future of distributed models: model calibration and uncertainty prediction, *Hydrol. Process.* 6 279–298.
- [12] Piñol, J., Salvador, R., & Beven, K. (2002) Model Calibration and Uncertainty Prediction of Fire Spread, *Forest Fire Research & Wildland Fire Safety*, on CD-ROM, Millpress
- [13] Abdalhaq, B. (2004) A methodology to enhance the prediction of forest fire propagation (Ph.D. thesis), Universitat Autnoma de Barcelona, Spain.
- [14] Baronti, P., Pillai, P., Chook, V. W. C., Chessa, S., Gotta, A., & Hu, Y. F. (2007). Wireless sensor networks: A survey on the state of the art and the 802.15.4 and ZigBee standards. *Computer Communications*, 30(7), 1655–1695.
- [15] Leblon, B. (2005). Monitoring Forest Fire Danger with Remote Sensing. *NH*, 35(3), 343–359.