

## Procesamiento Computacional Paralelo con Metaheurísticas Híbridas para la Reducción de Incertidumbre en Modelos de Incendios Forestales

Bianchini Germán<sup>1</sup>, Caymes-Scutari Paola<sup>1,2</sup>, Méndez-Garabetti Miguel<sup>1,2</sup>,  
Tardivo María Laura<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Investigación en Cómputo Paralelo/Distribuido  
Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información  
Facultad Regional Mendoza/Universidad Tecnológica Nacional  
Rodríguez 273 (M5502AJE) Mendoza, +54 261 5244579

<sup>2</sup>Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

<sup>3</sup>Departamento de Computación, Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto,  
Córdoba, Argentina

gbianchini@frm.utn.edu.ar, pcaymesscutari@frm.utn.edu.ar, mmendez@mendoza-conicet.gob.ar,  
lauratardivo@dc.exa.unrc.edu.ar

### RESUMEN

La predicción del comportamiento de incendios forestales no es una tarea sencilla ya que dicho proceso se ve afectado por la falta de precisión o incertidumbre en los parámetros de entrada. En base a esto, resulta importante desarrollar métodos que permitan tratar la incertidumbre posibilitando la obtención de predicciones más precisas y confiables. En el proyecto que aquí se expone se propone el desarrollo de un método de reducción de incertidumbre denominado Sistema Estadístico Evolutivo Híbrido con Modelo de Islas (HESSIM). En HESSIM se plantea un método que combine la fuerza de tres metaheurísticas poblacionales evolutivas: Algoritmos Evolutivos (EA), Evolución Diferencial (DE) y Optimización por Cúmulo de Partículas (PSO), bajo un esquema de combinación colaborativa basado en migración mediante modelo de islas y HPC. HESSIM corresponde a la continuación de las líneas abiertas

resultantes de proyectos previos en los cuales se implementaron dos versiones de ESS-IM: la primera con Algoritmos Evolutivos, y la segunda con Evolución Diferencial. De este modo surge la idea de desarrollar una versión híbrida en un único método, en vista del potencial aportado por cada una de las metaheurísticas poblacionales en forma aislada, y añadiendo además una tercera (PSO). Dado que las arquitecturas paralelas se han convertido en una herramienta importante en muchos campos de la ciencia por los beneficios que aporta a la hora de efectuar los cálculos, y debido a la naturaleza intrínsecamente paralela de las tres metaheurísticas elegidas, HESSIM se implementará siguiendo un esquema de procesamiento paralelo.

**Palabras clave:** Evolución Diferencial, Algoritmos Evolutivos, Optimización por Cúmulo de Partículas, HPC, Reducción de Incertidumbre.

## CONTEXTO

El proyecto se encuentra en ejecución desde enero del presente año 2018, llevándose a cabo en el marco del LICPaD (Laboratorio de Investigación en Cómputo Paralelo/Distribuido) dentro del ámbito de la UTN-FRM. Cuenta con el financiamiento de la UTN a través del proyecto SIUTIME0004736TC y mantiene la línea de proyectos anteriores en los cuales se desarrolló inicialmente el método ESS (*Evolutionary-Statistical System*) [1], el cual fue evolucionando, pasando por diversas versiones incrementales que se comentan en la siguiente sección, hasta llegar a la actual propuesta.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las nociones iniciales que anteceden al presente proyecto provienen, en primer lugar, del método S<sup>2</sup>F<sup>2</sup>M (Sistema Estadístico para la Gestión de Incendios Forestales) [2, 3], el cual utiliza análisis estadístico y paralelismo. Este método realiza un elevado número de simulaciones sobre un conjunto de diferentes configuraciones de parámetros de entrada (tipo de vegetación, humedad, velocidad del viento, pendiente del terreno, etc.) denominados escenarios. Todos los escenarios posibles son generados en forma discreta considerando un cierto dominio a través de un experimento factorial [4] y el modelo es evaluado con cada conjunto de valores. Los resultados se combinan para determinar la tendencia en el comportamiento del modelo, ajustándolo con la observación actual del mismo. El patrón hallado es entonces considerado para la predicción del siguiente paso. Posteriormente a S<sup>2</sup>F<sup>2</sup>M se desarrolló el método ESS (Sistema Estadístico Evolutivo) [1], el cual corresponde a una

mejora de S<sup>2</sup>F<sup>2</sup>M lograda mediante la introducción de Algoritmos Evolutivos (EA) [5], en su modalidad paralela (PEA) [6] (con un esquema de Única Población y Evaluación en Paralelo), para tratar de forma más eficiente la generación de escenarios (en ESS el concepto de “conjunto de escenarios” es reemplazado por el de “población de individuos”) donde un escenario particular define a un individuo. ESS, al igual que S<sup>2</sup>F<sup>2</sup>M, ha sido implementado en un entorno paralelo/distribuido. Seguidamente se realizó una variante de ESS en la que se incrementó el nivel de paralelismo del PEA con un esquema de Múltiples Poblaciones y Migración [6]. Esta implementación se denominó Sistema Estadístico Evolutivo con Modelo de Islas (ESS-IM, por sus siglas en inglés) [7]. ESS-IM ha permitido obtener mejores resultados que sus antecesores mediante el incremento de diversidad de individuos en el PEA, logrado mediante la iteración e interacción de múltiples poblaciones de individuos o islas.

Si bien los resultados obtenidos con ESS-IM han sido superiores a los de ESS y S<sup>2</sup>F<sup>2</sup>M [X], en este proyecto proponemos el desarrollo de una nueva versión de ESS-IM, donde la metaheurística central del sistema (en una versión EA y en otra DE) sea reemplazada por un modelo híbrido que combine el funcionamiento de varias metaheurísticas en un esquema colaborativo. Por ello es que hemos evaluado diversas opciones que permitiesen la mejora de los métodos actuales y el desarrollo de otras metodologías para resolver el problema de la incertidumbre de maneras más eficientes. En esta primera aproximación hemos elegido las metaheurísticas poblacionales a) Optimización por Cúmulo de Partículas (PSO) [9, 10], b) Algoritmos Evolutivos (EA) [5] y c) Evolución Diferencial [11], dadas sus

características y posibilidades de ser utilizados en el problema que nos concierne. Es importante mencionar que, si bien el método que se propone se desarrollará en el marco del presente proyecto, previamente hemos probado una versión preliminar, la cual implementamos sólo con Algoritmos Evolutivos y Evolución Diferencial. Dicha versión ha obtenido resultados alentadores, ya que ha superado los resultados de las metodologías previamente desarrolladas, sin considerar que aún resta realizar estudios más exhaustivos y concluir el esquema que incorpore a PSO.

## 2. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN y DESARROLLO

La predicción del comportamiento de los incendios forestales es considerada una herramienta muy útil, ya que permite determinar las zonas que serán afectadas por el fuego, ayudando a tomar medidas de evacuación y de gestión de recursos de forma eficiente. La predicción de cualquier fenómeno natural es una tarea compleja, tanto por el diseño de los modelos involucrados como así también por la presencia de incertidumbre en la información con la que dicho modelo es alimentado. En base a esto, la predicción de un incendio forestal no escapa a esta situación, ya que su comportamiento está determinado por una serie de parámetros que usualmente no pueden ser medidos en tiempo real. Esta falta de precisión en los parámetros de entrada impacta directamente en la salida del modelo, impidiendo a las técnicas de predicción clásicas [12, 13, 14] obtener predicciones aceptables. En este contexto, se debe recurrir a métodos de reducción de incertidumbre que permitan generar predicciones aceptables independiente-

mente de la imprecisión en los parámetros de entrada.

En síntesis, la problemática existente a raíz de la falta de exactitud presente en los parámetros de entrada en cualquier modelo científico o físico, puede producir consecuencias dramáticas en la salida del mismo particularmente si se trata éste de un sistema crítico. Por tal razón, la presente línea de investigación consiste en el desarrollo de métodos computacionales (y en este proyecto en concreto el desarrollo de HESSIM), que se enfoquen en el tratamiento de la incertidumbre de los valores de entrada de modelos para lograr así una predicción lo más confiable posible por parte del mismo. El método propuesto en este caso utilizará como técnica de optimización una metaheurística híbrida basada en Algoritmos Evolutivos, Evolución Diferencial y Optimización por Cúmulo de Partículas, bajo un esquema de integración colaborativa. Es importante mencionar que HESSIM operará con un esquema de paralelización basado en islas con doble jerarquía master-worker, lo que le permitirá implementar las diferentes metaheurísticas con múltiples poblaciones y migración. Se supone que tal esquema ayudará a conseguir un mejor y mayor aprovechamiento del paralelismo potencial de tareas presente en el método.

## 3. RESULTADOS ESPERADOS

En primer lugar, se espera obtener mejoras en la calidad de la predicción alcanzada por el método, a raíz del incremento en la diversidad de casos lograda mediante la multiplicidad de poblaciones y la heterogeneidad provista por las distintas metaheurísticas involucradas. En segundo lugar, mejorar los tiempos de ejecución de la metodología. Para verificar tales mejoras, los resultados de HESSIM han de ser

comparados con los producidos por las versiones anteriores (ESS-IM, ESS y S<sup>2</sup>F<sup>2</sup>M) a través de una serie de experimentos que involucren la utilización de datos de incendios reales de diversas zonas forestales. Hasta el momento, los métodos han sido comparados a través de casos correspondientes a quemas controladas desarrolladas en el campo para tal fin.

Por otra parte, el proyecto está enmarcado en una línea de investigación a más largo plazo, lo que asegura el avance científico por el interés de la propuesta y el tema planteado, lo cual brinda un amplio y prometedor campo de trabajo.

#### 4. FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

Además de la innovación científica, se espera que el presente proyecto provea de medios económicos para el fortalecimiento de las líneas de investigación relacionadas y brinde soporte a las actividades que se desprendan del mismo. Tales líneas se extenderán mediante la incorporación de nuevos becarios y estudiantes avanzados, principalmente de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información, aunque no de forma excluyente, facilitando y propiciando de esta manera el acercamiento de los nuevos profesionales al área del HPC. Por su parte, a nivel de postgrado, y en particular referido a estudiantes de doctorado, esta línea de investigación cuenta con dos tesis de doctorado en curso que se espera estén concluyendo durante el primer año de proyecto: la primera, perteneciente al Ing. Miguel Méndez Garabetti, cuyo plan de tesis doctoral se relaciona con este proyecto, y la segunda, a cargo de la Lic. María Laura Tardivo, cuya temática también se vincula estrechamente, dado

que se especializa en distintos métodos y posibilidades referentes a DE. Ambos cursan el doctorado en Ciencias de la Computación de la Universidad Nacional de San Luis, y son becarios de CONICET.

#### 5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Bianchini, G., Caymes Scutari, P., Méndez Garabetti, M., Evolutionary-Statistical System: a Parallel Method for Improving Forest Fire Spread Prediction, *Journal of Computational Science (JOCS, Elsevier)*. Vol. 6, pp. 58-66, 2015.  
DOI: 10.1016/j.jocs.2014.12.001
- [2] Bianchini, G., Denham, M., Cortés, A., Margalef, T., & Luque, E., Wildland fire growth prediction method based on Multiple Overlapping Solution. *Journal of Computational Science*, 1(4), 229–237, 2010.  
DOI: 10.1016/j.jocs.2010.07.005
- [3] Bianchini, G., Denham, M., Cortés, M., Margalef, T., Luque, E., Improving forest-fire prediction by applying a statistical approach, *Forest Ecology and Management*, 234 (supplement 1), p. S210, 2006.
- [4] Montgomery D.C, Runger G.C.: *Applied Statistics and Probability for Engineers*. 6th Edition. Limusa Wiley & Sons, New Jersey, 2014.
- [5] Goldberg, D.E., Genetic and evolutionary algorithms, *Come of age*, *Communications of the ACM*, 37 (3) pp. 113119, 1994.

- [6] Cantú Paz E., A survey of Parallel Genetic Algorithms. *Calculateurs Parallèles, Réseaux et Systems Repartis*, 10(2), pp. 141-171, 1998.
- [7] Méndez-Garabetti, M., Bianchini, G., Tardivo, M. L., & Caymes-Scutari, P., Comparative analysis of performance and quality of prediction between ESS and ESS-IM. *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*, 314, 45–60, 2015. DOI: 10.1016/j.entcs.2015.05.004
- [8] Tardivo, M.L., Caymes Scutari, P., Bianchini, G., Méndez Garabetti, M., Cencerrado, A., Cortés, A., A comparative study of evolutionary statistical methods for uncertainty reduction in forest fire propagation prediction. *Procedia Computer Science*, 108, 2018–2027, 2017. DOI: 10.1016/j.procs.2017.05.252
- [9] Engelbrecht, A., *Fundamentals of Computational Swarm Intelligence*. John Wiley & Sons, Ltd., 2005.
- [10] Kennedy, J., Eberhart, R., Particle Swarm Optimization. *Proceedings of the IEEE International Joint Conference on Neural Networks*, pp. 1942-1948, 1995.
- [11] Méndez-Garabetti, M., Bianchini, G., Tardivo, M.L., Caymes-Scutari, P., Análisis de Metaheurísticas Poblacionales para su Aplicación en Métodos de Reducción de Incertidumbre. Séptimo Encuentro de Investigadores y Docentes de Ingeniería EnIDI 2013, Los Reyunos, San Rafael. Mendoza, Argentina, pp. 543-557, 2013.
- [12] Wallace, G., A Numerical Fire Simulation-Model. *International Journal of Wildland Fire*, 3(2), 111, 1993. DOI: 10.1071/WF9930111
- [13] Finney, M. A., & Finney, M. A. (n.d.). FARSITE: Fire Area Simulator-model development and evaluation.
- [14] Lopes, A. M. G., Cruz, M. G., Viegas, D. X., & Lopes, A. M. G. (n.d.). FireStation - An integrated software system for the numerical simulation of fire spread on complex topography. Retrieved from <http://adai.dem.uc.pt>