

# WRF-SFIRE: Análisis de rendimiento y optimización de recursos en ambientes HPC

Rodolfo Alejandro Schmidt<sup>1</sup>, Natalia Anahí Magris<sup>1,2</sup>, Eduardo Piray<sup>1,3,4</sup> y Miguel Méndez-Garabetti<sup>1,2,3,4,5</sup>

1 Universidad Empresarial Siglo 21, Córdoba, ARG.

2 Facultad de Informática y Diseño, Universidad Champagnat, Mendoza, Argentina.

3 Free and Open Source Software/Hardware Research Laboratory (FOSSHLab), Argentina.

4 Departamento de Sistemas, Universidad CAECE, Mar del Plata, Argentina.

5 Dirección de Posgrados, Facultad de Ingeniería, Universidad de Mendoza, Mendoza, Argentina.

**Abstract.** The WRF-SFIRE model has become a valuable tool for wild-fire prediction worldwide. However, its performance in parallel environments can be affected by the complexity of the model and resource limitations. This study evaluates the model's performance in parallel environments and proposes optimization strategies to improve its efficiency and resource management/utilization. Representative cases will be conducted to assess the model's performance with different software and hardware configurations, including CPU/GPU. The results of this study can be useful for enhancing wildfire prediction capabilities and resource management efficiency in emergency situations.

El modelo WRF-SFIRE se ha convertido en una herramienta valiosa para la predicción de incendios forestales en todo el mundo. Sin embargo, su rendimiento en ambientes paralelos puede verse afectado por la complejidad del modelo y la limitación de recursos. En este trabajo se evalúa el rendimiento del modelo en ambientes paralelos y se proponen estrategias de optimización para mejorar su eficiencia y la administración (y/o utilización de recursos). Se llevarán a cabo casos representativos para evaluar el desempeño del modelo con diferentes configuraciones de software y hardware, incluyendo CPU/GPU. Los resultados de este trabajo pueden ser útiles para mejorar la capacidad de predicción de incendios forestales y la eficiencia en la gestión de recursos en situaciones de emergencia.

**Keywords:** WRF-SFIRE · Performance · performance improvement. · parallel architectures · HPC.

## 1 Introducción

La modelización en la ciencia es esencial para comprender y predecir fenómenos complejos, permitiendo a los investigadores explorar escenarios hipotéticos y

analizar datos de manera más efectiva. Los modelos matemáticos y computacionales han sido ampliamente utilizados en diversas disciplinas, desde la física hasta la biología y la meteorología, para simular y estudiar eventos y procesos específicos. El proceso de modelización puede entenderse como la creación de vínculos semánticos entre la teoría y los fenómenos u objetos. De esta forma, los modelos son el resultado de una elaboración humana, y un modelo conceptual se entiende como una posible representación del mundo físico. Por lo general, los modelos muestran una situación real de manera parcial e imprecisa, lo que permite analizar sistemas complejos de forma aproximada. Habitualmente, es necesario proporcionar parámetros de entrada a los modelos, los cuales suministran la información requerida para determinar las condiciones iniciales del fenómeno que se estudia y así estimar sus posibles cambios en el tiempo. Esto se denomina salida del modelo, que refleja la evolución del sistema a medida que transcurre el tiempo. Uno de los problemas ambientales críticos que enfrenta nuestro planeta son los incendios forestales. Estos eventos naturales, aunque juegan un rol fundamental en los ecosistemas, también pueden tener consecuencias devastadoras en términos de pérdida de vida y propiedades, como así también daños a la flora y la fauna. Los modelos de comportamiento de incendios forestales son herramientas valiosas para comprender, predecir y gestionar estos fenómenos, lo que permite a los científicos y autoridades tomar decisiones informadas y efectivas. La simulación de incendios forestales es un problema computacionalmente exigente, es decir que consume una gran cantidad de recursos y tiempo de procesamiento. Para abordar estos desafíos, es necesario ejecutar estos modelos en entornos de cómputo paralelo de alto rendimiento (HPC, por sus siglas en inglés) [1], los cuales que permiten distribuir y acelerar estos cálculo [2]. El modelo WRF-SFIRE (Weather Research and Forecasting) [3] se presenta como la mejor alternativa para resolver este problema en entornos HPC. Este modelo combina el sistema de predicción meteorológica WRF con un modelo de propagación de fuego basado en la física, permitiendo simular y predecir con precisión el comportamiento de incendios forestales bajo diversas condiciones. En este artículo, se analizará el rendimiento y la optimización de recursos del modelo WRF-SFIRE en ambientes HPC, destacando sus ventajas y aplicaciones en el campo del estudio y gestión de incendios forestales.

En este trabajo abordamos un estudio de análisis de rendimiento y optimización del modelo WRF-SFIRE, para ello planteamos los principales desafíos para poder abordar implementaciones de este modelo en ambientes HPC.

## 2 Trabajos Relacionados

Entre los trabajos relacionados que podemos mencionar, encontramos:

- Modeling Wildland Fire Behaviour using a Multi-physics System on HPC Platforms, por Angel farguell Caus. [4]
- Scalabilityofamulti-physicsystemforforestfire spreadpredictioninmulti-coreplatforms, por Angel Farguell, Ana Cortés, Tomàs Margalef, Josep R. Miró y J. Mercader. [5]

- Evaluation of GPU Acceleration for WRF–SFIRE, por Joshua Benz. [6]
- Performance Evaluation of an Operational Rapid Response Fire Spread Forecasting System in the Southeast Mediterranean, por Theodore M. Giannaros. [7]

Los trabajos relacionados abordan desde distintos enfoques la búsqueda de optimización de los modelos y la predicción de incendios forestales a través sistemas HPC. En su caso Farguell Caus y Farguell et al. Se centraron en perfeccionar el modelo a los fines de poder predecir el avance del fuego utilizando sistemas multiprocesadores. Benz en su trabajo exploró como el escalado del modelo WRF presenta limitantes dada la sobre carga asociada con la inicialización, descomposición y entrada/salida, y como un modelo híbrido con utilización de GPU y acelerando los mismos aprovecharía aún más el rendimiento y el paralelismo. En su caso Giannaros evaluó el rendimiento de un modelo de predicción y de pronóstico rápido de propagación de incendio utilizado en el Mediterráneo Sur.

El trabajo actual, se inscribe en el mismo contexto, evaluando el rendimiento del modelo WRF-SFIRE en entornos HPC y proponiendo estrategias de optimización. Buscando contribuir a la mejora del rendimiento y eficiencia de los sistemas de modelización y predicción de incendios forestales, a partir de una exploración sistemática de diversas configuraciones de software y hardware.

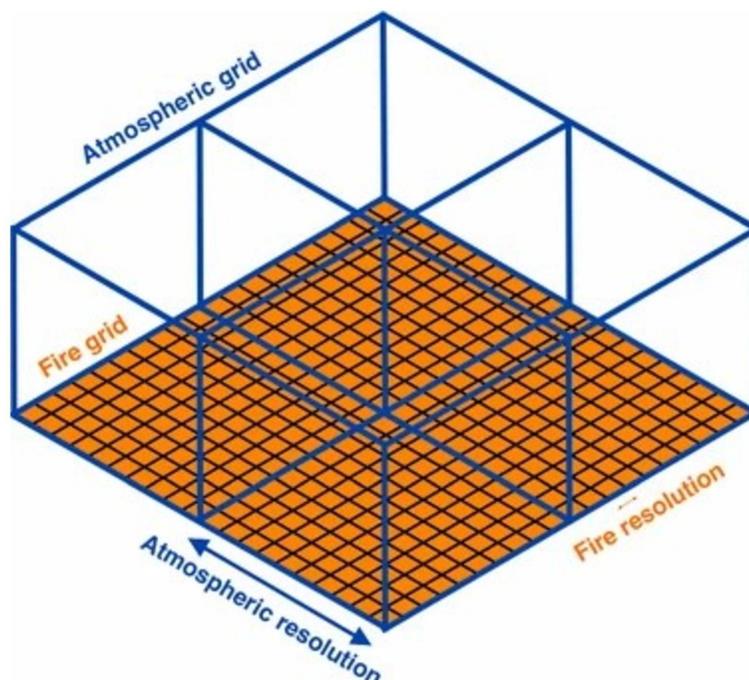
### 3 Propuesta de Trabajo

#### 3.1 Computación Paralela y HPC

Cuando pensamos en una resolución de un gran problema, con un gran flujo de datos y variables, debemos también pensar a lo grande, y esto, aunque parezca contradictorio, nos lleva a dividirlo en porciones pequeñas. Es aquí donde nos encontramos con la computación paralela, que se encarga a grandes rasgos de procesar grandes flujos de información a través de varios equipos trabajando en conjunto, de forma “paralela” para la resolución del caso. Como bien nos dice Robert Robey y Yuliana Zamora, la computación paralela es el futuro, [8] podríamos agregar y decir que la computación paralela es el presente. Esta forma de afrontar el trabajo de computo, lleva a que podamos resolver problemáticas a una velocidad superior que utilizando cualquier otro modelo o método. Pero esta forma de cómputo no se salva de las limitaciones, podemos mencionar algunas como el aumento de frecuencia y el gran consumo de energía cuestión que por esta causa no se utilice en todos los proyectos de gran envergadura. Es por esto, y por un sentido de superación, que, en este proyecto nos encontraremos utilizando un Clúster de un supercomputador para poder hallar optimizaciones al modelo WRF-SFIRE. De la mano de la computación paralela encontramos la Computación de Alto Rendimiento o HPC. Es una tecnología que utiliza conjuntos de procesadores de alto rendimiento para resolver problemas altamente complejos con datos masivos a una velocidad extremadamente alta.

### 3.2 WRF-SFIRE

El modelo WRF-SFIRE es un simulador de incendios forestales que se combina con el modelo meteorológico WRF y el modelo de propagación del fuego SFIRE. El modelo utiliza una construcción tridimensional, con una función de nivel de conjunto para definir la evolución y avance del fuego a medida que pasa el tiempo. El modelo actúa de una manera cíclica, tomando el estado de la atmósfera a través de la ejecución de WRF en cierto período de tiempo, utilizando esa información para influenciar en el frente de fuego de SFIRE mediante el método de nivel de conjunto. En cada paso del modelo atmosférico se ejecuta el modelo de fuego. Cuestión clave a determinar es la relación que debe aplicarse al Grid, tanto del modelo atmosférico, como al modelo de propagación del fuego. Como podemos verlo representado en la Fig.1[5]



**Fig. 1.** Grid Modelo atmosférico en 3D y Grid de Modelo de Fuego en 2D en una escala de 1:10

## 4 Objetivos

A los efectos de poder brindar una rápida respuesta a la problemática planteada, a los fines de poder utilizar el modelo en tiempo real con los sucesos, es que, tenemos como objetivo el de maximizar el rendimiento del modelo y minimizar

el consumo energético. Aprovechando al máximo el ambiente HPC, y la modelización planteada. En primera instancia es necesario testear la aplicación, a los fines de efectuar un análisis de rendimiento, tomando como métricas el tiempo de ejecución, eficiencia, speed-up, balanceo de carga, entre otras[9]. En los clústers de computadoras homogéneos la programación se lleva a cabo mediante la librería de paso de mensajes (MPI, Message Passing Interface). [10] MPI fue creado a comienzos de la década de 1990 para ofrecer un entorno de ejecución paralelo con paso de mensajes para clusters, MPP, e incluso máquinas de memoria compartida. Hay muchas implementaciones de MPI, como por ejemplo OpenMP (Open - Multi Processing) que soportan casi todo tipo de máquinas paralelas. El OpenMP es una interfaz de programación de aplicaciones (API) con soporte multiplataforma para la programación en C/C++ y Fortran de procesos utilizando memoria compartida sobre plataformas Unix y Windows. Esta infraestructura se compone de un conjunto de directivas del compilador, rutinas de la biblioteca y variables de entorno que permiten aprovechar recursos compartidos en memoria y en tiempo de ejecución. [11] La implementación consta del uso de paralelismo mediante unidades de procesamiento gráfico de propósito general (GPGPU, General Purpose Graphics Processing Units) mediante CUDA (Compute Unified Device Architecture) y la arquitectura de cálculo paralelo de NVIDIA. [12]

## 5 Conclusiones

El presente trabajo se encuentra en sus etapas iniciales de desarrollo, en tanto su dirección y enfoque de investigación prometen aportar significativos avances en la optimización del rendimiento del modelo WRF-SFIRE en entornos de computación de alto rendimiento (HPC). La revisión exhaustiva de los trabajos relacionados demuestra claramente la necesidad de continuar investigando estrategias de optimización para estos modelos, tanto a nivel de software como de hardware. Además, este estudio tiene como objetivo proporcionar una base sólida para futuras investigaciones, presentando un marco de análisis que podría ser aplicado a otros modelos similares. La intención es contribuir a la mejora general de la eficiencia y eficacia de los sistemas de modelización y predicción de incendios forestales, con el potencial de tener un impacto positivo en la gestión y control de estos eventos devastadores.

## Referencias

1. R. Buyya, *High Performance Cluster Computing: Architectures and Systems*. Prentice Hall, PTR, NJ, USA, 1999.
2. M. Méndez Garabetti, *Método de reducción de incertidumbre basado en algoritmos evolutivos y paralelismo orientado a la predicción y prevención de desastres naturales*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP), 2022.
3. J. Mandel, J. D. Beezley, and A. K. Kochanski, "Coupled atmosphere-wildland fire modeling with WRF 3.3 and SFIRE 2011," *Geoscientific Model Development*, vol. 4, pp. 591–610, jul 2011.

4. Farguell Caus, *Modeling wildland fire behaviour using a multi-physics system on hpc platforms*. Ph.D. Thesis, Universitat Autònoma de Barcelona, Dec. 2018.
5. A. Farguell, A. Cortés, T. Margalef, J. R. Miró, and J. Mercader, “Scalability of a multi-physics system for forest fire spread prediction in multi-core platforms,” *The Journal of Supercomputing*, vol. 75, pp. 1163–1174, Mar. 2019.
6. J. Benz, “Evaluation of GPU Acceleration for WRF-SFIRE,” *Master’s Projects*, Dec. 2021.
7. T. M. Giannaros, K. Lagouvardos, and V. Kotroni, “Performance Evaluation of an Operational Rapid Response Fire Spread Forecasting System in the Southeast Mediterranean (Greece),” *Atmosphere*, vol. 11, p. 1264, Nov. 2020.
8. R. Robey and Y. Zamora, *Parallel and high performance computing*. Shelter Island: Manning, 2021. OCLC: on1249107561.
9. “Software de Simulación WRF - Indagación en sus características y en el proceso de instalación.”
10. A. Grama, A. Gupta, G. Karypis, and V. Kumar, *Introduction to Parallel Computing*. Pearson/Prentice Hall, 2 ed., 2003.
11. J. Jorba Esteve and R. Suppi, *Programacion concurrente*. 02 2008.
12. *Massively parallel evolutionary computation on GPGPUS*. New York: Springer, 2013.