Universitat Autònoma de Barcelona

Dipòsit digital de documents de la UAB

This is the **published version** of the bachelor thesis:

David Garcia, Raul; Margalef Burrull, Tomás Manuel, dir. Paral · lelització del Càlcul de Camps de Vent. 2023. (Enginyeria Informàtica)

This version is available at https://ddd.uab.cat/record/280719

under the terms of the  license

Universitat Autònoma de Barcelona

Dipòsit digital de documents de la UAB

This is the **published version** of the bachelor thesis:

David Garcia, Raul; Margalef Burrull, Tomás Manuel, dir. Paral · lelització del Càlcul de Camps de Vent. 2023. (Enginyeria Informàtica)

This version is available at https://ddd.uab.cat/record/280719

under the terms of the  license

Universitat Autònoma de Barcelona

Dipòsit digital de documents de la UAB

This is the **published version** of the bachelor thesis:

David Garcia, Raul; Margalef Burrull, Tomás Manuel, dir. Paral · lelització del Càlcul de Camps de Vent. 2023. (Enginyeria Informàtica)

This version is available at https://ddd.uab.cat/record/280719

under the terms of the  license

Paral·lelització del Càlcul de Camps de Vent

Raúl David García

Resum— Aquest article tracta sobre la importància del vent als incendis forestals i com el programari WindNinja pot calcular camps de vent espacials per a incendis forestals i altres aplicacions que requereixen una estimació del vent d'alta resolució en terrenys complexos. L'estudi es va centrar en la relació entre les variables utilitzades en la configuració del programa, com ara la mida i la resolució de la malla, el nombre de fils d'execució, el flag de momentum i el temps de resolució. Es va concloure que una malla més fina o el flag de momentum augmenten el temps de resolució a causa de la precisió necessària. Posteriorment, es va desenvolupar un codi Python per separar un mapa a parts iguals i reduir el temps d'execució.

L'objectiu final és reduir el temps d'execució i comparar la precisió dels resultats obtinguts aplicant paral·lelització, ja que resoldre els camps de vent requereix molt temps de còmput i cal aplicar aquestes tècniques per fer-ho aplicable a emergències reals.

Paraules clau—WindNinja, QGis, Python, JSON, LCP, GDAL, RMSE, Heatmaps

Abstract— This article discusses the importance of wind in wildfires and how WindNinja software can calculate spatial wind fields for wildfires and other applications that require high-resolution wind estimation over complex terrain. The study focused on the relationship between variables used in program configuration, such as mesh size and resolution, number of execution threads, momentum flag, and resolution time. It was concluded that a finer mesh or the momentum flag increases the solving time due to the required accuracy. Subsequently, a Python code was developed to split a map into equal parts and reduce the execution time.

The final goal is to reduce the execution time and compare the accuracy of the results obtained by applying parallelization, since solving the wind fields takes a long time and parallelization techniques must be applied to do it applicable to real emergencies.

Index Terms—WindNinja, QGis, Python, JSON, LCP, GDAL, RMSE, Heatmaps

1 INTRODUCCIÓ:

La preocupació sobre el risc dels incendis forestals s'ha incrementat en els darrers temps. Això és degut en part al canvi climàtic, cosa que genera onades de calor que fan que el bosc tingui estrès hídric i sigui més vulnerable als incendis. El resultat és un paisatge sec, continuat i inflamable. Un incendi en aquest tipus de paisatge, en tenir vegetació continuada, sol ser ràpid i devastador.

Dins aquesta situació el vent hi juga un paper clau, ja que gràcies a les dades que ens proporciona, es pot saber com evolucionarà l'incendi. Com que el terreny no és pla i sol ser irregular, cal calcular el vent tenint en compte la topografia del mapa i com afecta aquesta als corrents d'aire, de manera que s'han d'aplicar models que permetin calcular el vent a cada punt del terreny .

2 OBJECTIUS:

L'objectiu d'aquest treball és utilitzar **WindNinja [1]** què és un programari que calcula camps de vent variables especialment per a incendis forestals i altres aplicacions que requereixen una estimació del vent d'alta resolució en terrenys complexos.

Quan el terreny és gran i es vol obtenir resultats a alta resolució, el temps d'execució esdevé un factor limitant i és necessari aplicar tècniques de paral·lelització que permetin reduir el temps d'execució. Una possibilitat consisteix en dividir el mapa del terreny en diversos sub mapes que es puguin resoldre de forma paral·lela i d'aquesta manera reduir el temps total d'execució.

Amb això es busca reduir el temps d'execució, aplicant i comparant els resultats quant a temps d'execució i precisió del camp de vents obtinguts ja que, resoldre els camps de vents, especialment quan s'aplica conservació de moment, porta força temps. És necessari

aplicar tècniques de paral·lelització per reduir el temps d'execució i fer que sigui aplicable a emergències reals.

3 PLANIFICACIÓ:

El temps disponible per fer aquest treball és aproximadament d'unes 21 setmanes.

- **Setmana 1-4:** Familiaritzar-se amb l'entorn de WindNinja i entendre bé que és cada mapa i com es realitzen les configuracions dins de QGIS.
- **Setmana 4-9:** Anàlisi dels objectius i realitzar comparatives entre arxius de configuració. Realització de codi Python per aconseguir un split de mapes.
- **Setmana 9-14:** Execució de WindNinja al codi per crear outputs que representen la velocitat i direcció del vent en un format de grilla ASCII, proporcionant informació detallada sobre el comportament del vent en una àrea geogràfica específica.
- **Setmana 14-19:** Eliminació de les dades de solapament afegides als fitxers de velocitat i direcció del vent, per després fer una agrupació i reduir el temps de l'execució.
- **Setmana 19-21:** Paralelitzar el codi y preparar l'exposició del treball realitzat.
- **Setmana 21:** Presentació del TFG.

4 METODOLOGÍA:

La metodologia que s'adapta a la realització d'aquest projecte pot ser la metodologia **Agile Scrum [2]**. La raó és que la realització d'aquest treball és guiada pel tutor del treball setmanalment. Això permet interaccions on el treball es pot anar adaptant als diferents canvis que es poden anar produint d'una forma més natural i eficient.

També permet una resolució de dubtes i preguntes molt millor que via correu electrònic o reunions més espaiades en el temps.

Gràcies a les reunions setmanals i inclús fer reunions amb membres del departament en específic, ha permès poder adaptar millor el desenvolupament del projecte

5 WINDNINJA:

WindNinja és un model de diagnòstic, és a dir, proporciona un estat estàtic de la direcció del vent i la velocitat del vent per a cada cel·la del mapa donada al terreny (topografia i vegetació) i determinats valors atmosfèrics (relacionats amb el vent) per a un moment instantani.

Per executar WindNinja cal especificar tots els paràmetres necessaris en un fitxer de configuració (.cfg). Aquest fitxer està compost per:

- Característiques del terreny: elevació del terreny, vegetació, resolució de la malla i unitat de mesura de la malla.
- Inicialització: Mètode d'inicialització i tipus de malla.
- Dades d'entrada de vent: Altura, velocitat, unitats de mesura d'aquestes i direcció.
- Sortides: Altura i velocitat del vent i fitxers de sortida.
- Ajustaments: Número de threads i conservació del momentum.

Els resultats del model són quadrícules ASCII Raster de velocitat i direcció del vent (per fer servir en models espacials de comportament del foc com FARSITE), un arxiu de forma GIS (per traçar vectors de vent en programes GIS) i un arxiu .kmz (per a veure a Google Earth).

Normalment s'executa en mides de domini de fins a 50 kms per 50 kms i amb resolucions al voltant de 100 metres.

5.2 CONFIGURACIONS I PROVES:

L'objectiu de les primeres setmanes consistia en la familiarització de l'usuari amb els programes WindNinja i **QGis [3]**, realitzant diverses proves de configuració per entendre com funcionen i quin significat tenen totes les variables utilitzades dins dels arxius de configuració (.cfg) a l'hora de realitzar la simulació.

Juntament amb això, es va realitzar un estudi de rendiment per analitzar més en profunditat la relació de les variables (en aquest cas, les de la mida i resolució de la malla, el nombre de threads utilitzats i el flag de momentum), amb el temps de resolució.

Amb això, vàrem arribar a la conclusió de que una mida més petita de cel·les, triga més a causa de la precisió necessària per realitzar tots els càlculs.

També quan el flag de momentum és positiu al model, es necessita realitzar més operacions de càlcul i emmagatzematge de dades per calcular el gradient. Tot i que la tècnica de momentum pot augmentar el temps de compilació, també pot millorar la precisió i la velocitat del model durant l'entrenament.

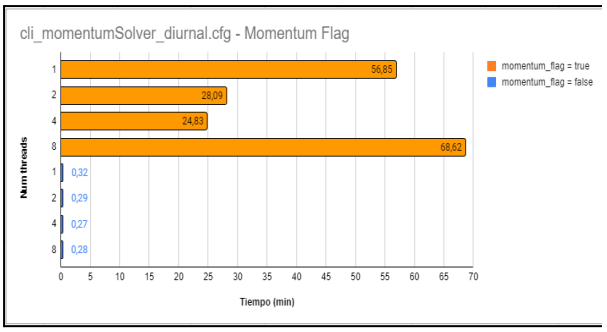


Figura 1. Estudi de num_threads / temps amb i sense momentum.

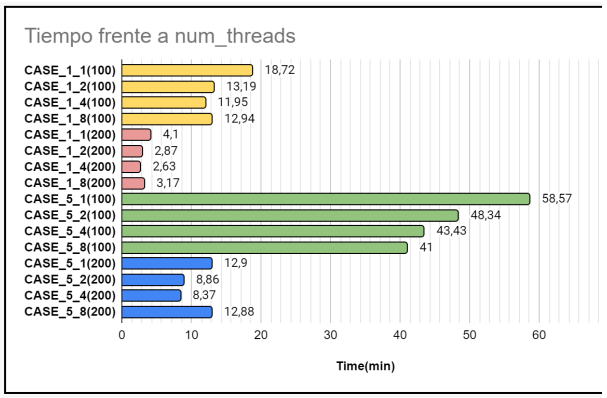


Figura 2. Estudi de num_threads / temps sempre amb momentum però diferent mesh_res.

Quan s'executa el WindNinja, un programari de modelatge del flux de vent, els fitxers amb extensió "_vel.asc" i "_ang.asc" es generen com a resultats de la simulació. Aquests fitxers contenen informació sobre la velocitat i la direcció del vent, respectivament, en un format ASCII.

- **Fitxer "_vel.asc"**: Aquest fitxer emmagatzema els dades de velocitat del vent per a cada cel·la en una graella espacial. Cada cel·la al fitxer té un valor associat que representa la velocitat del vent en aquesta ubicació específica. Generalment, aquests valors s'expressen en metres per segon (m/s) o en una altra unitat de velocitat.
- **Fitxer "_ang.asc"**: Aquest fitxer emmagatzema les dades de direcció del vent per a cada cel·la a la mateixa graella espacial. Igual que al fitxer de velocitat, cada cel·la té un valor associat que representa la direcció del vent en aquesta ubicació particular. La direcció del vent sovint s'expressa en graus, on 0 graus correspon al nord, 90 graus a l'est, 180 graus al sud i 270 graus a l'oest.

Aquests fitxers s'utilitzen per visualitzar i analitzar els resultats de la simulació del flux de vent generada pel WindNinja. Proporcionen informació detallada sobre la velocitat i direcció del vent a diferents ubicacions de la zona modelada, el que pot ser útil per a diversos fins, com el disseny d'estructures, la planificació d'energia eòlica, la gestió d'incendis forestals i altres estudis relacionats amb el vent.

6 QGIS:

QGIS (Quantum GIS) és un sistema d'informació geogràfica (SIG) que s'utilitza per visualitzar, analitzar i gestionar dades espacials. Permet treballar amb dades geoespacials en diferents formats, com shapefiles, fitxers raster, bases de dades i serveis web.

Ofereix una àmplia gamma de funcionalitats, que serveixen per a la realització d'aquest treball i són:

- Visualització de mapes: QGIS permet crear mapes interactius i personalitzats amb múltiples capes d'informació geogràfica.
- Anàlisi espacial: L'eina proporciona nombroses eines d'anàlisi espacial per fer operacions com superposició de

capes, càlcul d'àrees i perímetres, consultes espacials, generació de mapes de calor, entre d'altres.

- ➢ Processament de dades: El programa compta amb algorismes de processament geoespacial que permeten realitzar anàlisis avançades, com ara anàlisi de proximitat, interpolació espacial, anàlisi de xarxes i anàlisi de patrons.

La relació entre QGIS i WindNinja implica l'ús de QGIS com una eina per preparar, analitzar i visualitzar dades geoespacials rellevants abans i després d'executar WindNinja.

Combinant amb dues eines, es pot obtenir una comprensió més completa i detallada del flux de vent en una àrea determinada i la seva interacció amb l'entorn geogràfic.

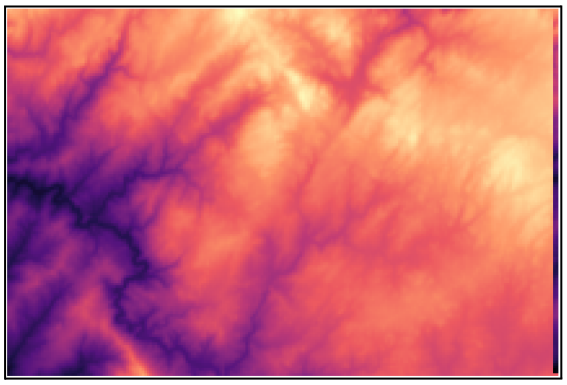


Figura 3. Raster de la zona utilitzada per a l'estudi en QGis.

7 DESENVOLUPAMENT DEL CODI:

El cas d'estudi utilitzat per realitzar totes les proves ha sigut el "CASE 1" proporcionat pel departament. Per saber-ne més, s'ha utilitzat el fitxer .kmz per veure on està situat i com són les seves formes d'una manera més visual.

El terreny es troba a Portugal i el terreny és un conjunt de muntanyes, vegetació i pobles. La zona que es fa servir té un perímetre de 71 km i una àrea de 300,38 km².

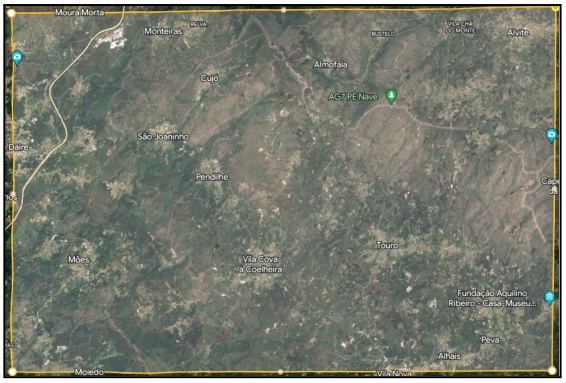


Figura 4. Zona utilitzada per a l'estudi.

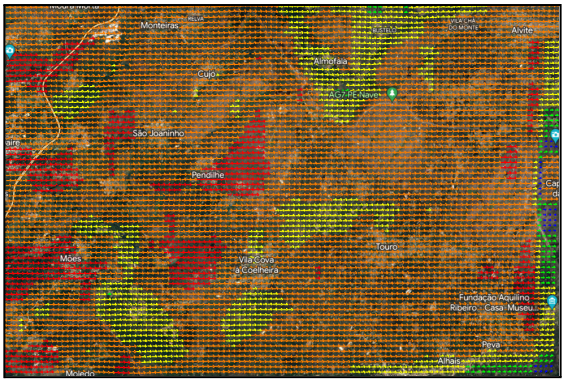


Figura 5. Direcció i velocitat del vent mostrada per colors dins de l'àrea.

La tasca ha estat desenvolupar un codi **Python [4].** El codi comença llegint un fitxer de configuració en format **JSON [5]** que conté els paràmetres necessaris per al processament. Aquests paràmetres inclouen la ruta especificada del mapa (.lcp), el nombre de divisions horitzontals i verticals desitjades per dividir el mapa, el valor de solapament per superposar les divisions i l'extensió del fitxer de sortida.

A continuació, el codi utilitza la biblioteca **GDAL [6]** per obrir el fitxer de mapa especificat a la configuració i obtenir la seva amplada i alçada. Aquests valors s'utilitzaran posteriorment per fer les retallades en àrees més petites.

El mapa es divideix en àrees més petites segons el nombre de divisions horitzontals i verticals especificades a la configuració.

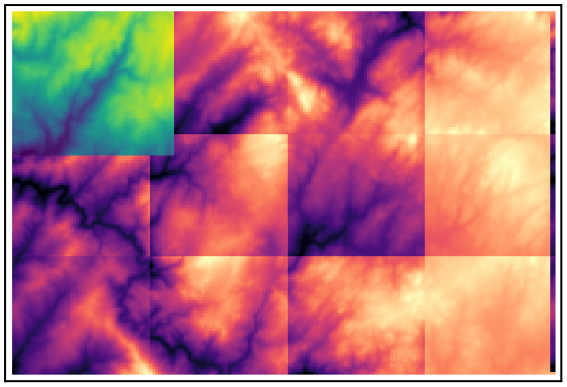


Figura 6. Partició del mapa sense solapament (vermell) i partició del mapa amb solapament (verd).

El solapament també es té en compte per assegurar que les àrees adjacents se superposin, això ajuda a assegurar que no es perdi informació important en calcular els camps de vent als límits de cada partició.

Per a cada àrea, es realitza el següent:

- Es generen les coordenades i dimensions de la retallada en funció de la posició de l'àrea al mapa i el solapament.
- Es retalla el mapa original utilitzant GDAL i es desa en un fitxer de tall **LCP [7]** específic per a aquesta àrea.
- S'executa el programari WindNinja utilitzant el fitxer de tall com a entrada. Això genera resultats de simulació de velocitat i angle del vent per a aquesta àrea.
- Els resultats de WindNinja es llegeixen des dels fitxers de sortida generats i s'emmagatzemen en matrius de velocitat i angle.
- Es realitzen ajustaments a les matrius de velocitat i angle per tenir en compte el solapament entre àrees.
- Les matrius de velocitat i angle resultants s'afegeixen a llistes separades.

```
Resultados de WN para el corte 1:
Run 0: Reading elevation file...
Run 0: Run number 0 started with 1 threads.
Run 0: Generating mesh...
Run 0: Initializing flow...
Run 0: Building equations...
Run 0: Solving...
Run 0 (solver): 10% complete
Run 0 (solver): 41% complete
Run 0 (solver): 61% complete
Run 0 (solver): 82% complete
Run 0 (solver): 95% complete
Run 0 (solver): 100% complete
Run 0: Writing output files...
Run 0: Meshing time was 0.003010 seconds.
Run 0: Initialization time was 0.020907 seconds.
Run 0: Equation building time was 0.245065 seconds.
Run 0: Solver time was 0.597649 seconds.
Run 0: Output writing time was 0.831156 seconds.
Run 0: Total simulation time was 1.785528 seconds.
Run 0: Run number 0 done!
```

Figura 7. Execució de les parts del mapa de manera individual en Windninja.

Un cop s'han processat totes les àrees, el codi desa les matrius de velocitat i angle en fitxers de text separats. Aquests fitxers contenen les dades de les matrius juntament amb capçaleres que proporcionen informació sobre la mida de les matrius, les coordenades i altres metadades rellevants.

```
#ncols  64
#nrows  41
#xllcorner  213
#yllcorner  142
#cellsize   100.0
#NODATA_value   None

8.59 9.22 9.71 10.77 12.58 12.48 10.89 9
9.27 9.46 9.74 11.05 12.62 12.19 10.58 8
9.23 9.18 9.88 11.64 12.68 11.88 10.33 8
8.57 8.88 10.25 12.06 12.61 11.70 10.19
7.82 8.84 10.73 11.97 12.40 11.80 10.10
7.52 9.01 10.96 11.60 12.15 11.86 9.85 7
7.47 9.04 10.90 11.33 11.94 11.63 9.45 7
7.40 8.91 10.70 11.32 11.79 11.14 9.09 7
7.60 8.86 10.49 11.26 11.55 10.65 9.00 8
8.75 9.14 10.02 10.85 11.05 10.29 9.31 9
10.37 9.71 9.34 10.02 10.44 10.16 9.79 9
11.06 10.07 8.93 9.38 10.15 10.26 10.05
10.47 9.98 9.23 9.47 10.23 10.36 10.18 1
```

Figura 8. Exemple de fitxer creat amb capçalera i metadades.

Com que cada partició es calcula de forma independent, permet un procés més ràpid i eficient.

Un cop s'han completat tots els càlculs necessaris, es procedeix a ajuntar totes les matrius (vel i ang) en una matriu global corresponent a cadascun. Això s'utilitza per comparar les dades obtingudes amb les dades originals.

El mètode per comparar aquestes dades es basa en utilitzar el **RMSE [8]**, ja que serveix per avaluar la precisió de les prediccions del

model en termes de la velocitat del vent i l'angle del vent. En relació amb WindNinja, amb ell es pot avaluar què tan a prop hi ha les prediccions del model dels valors observats.

Un valor de RMSE més baix indica més precisió i millor ajustament del model a les dades. D'altra banda, un valor de RMSE més alt indica una menor precisió i un error més gran en les prediccions del model.

```
RMSE VELOCIDAD: 3.4993563219009585
RMSE ANGULAR: 22.345241923887407
```

Figura 9. Càlcul del RMSE per a les dues matrius.

A més, amb les matrius globals de velocitat i angle del vent generem mapes de calor o **heatmaps [9]**. El heatmap mostrarà la distribució espacial de la velocitat del vent i l'angle del vent a l'àrea d'estudi, amb colors o nivells d'intensitat diferents que representen els valors corresponents.

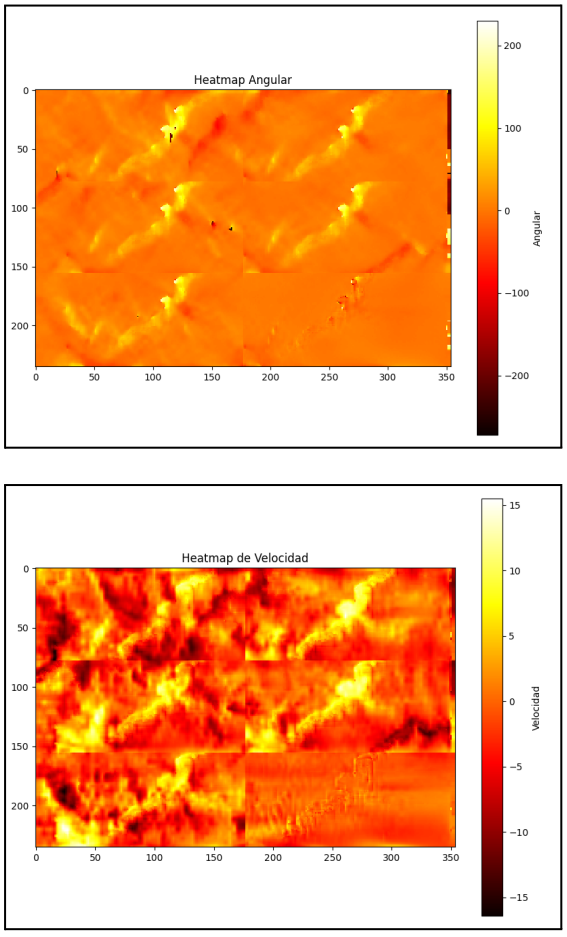


Figura 10. Heatmaps de la distribució espacial de la velocitat del vent i l'angle del vent .

Heatmap a WindNinja és útil per visualitzar i comprendre la variabilitat espacial dels paràmetres relacionats amb el vent. Podeu ajudar a identificar àrees amb altes o baixes velocitats del vent, patrons de flux de vent, zones de turbulència o àrees d'interès per a l'energia eòlica. Això permet prendre decisions informades sobre la ubicació dels aerogeneradors, la planificació de projectes o l'avaluació de riscos associats al vent.

7.1 RESULTATS:

Els resultats obtinguts s'obtenen en realitzar proves com ja s'ha esmentat abans amb el mapa de "CASE_1". Dins d'aquests resultats el que es té en compte és el canvi de valors dins de les variables següents:

- ➢ Número de particions horitzontals i verticals.
- ➢ Solapament afegit entre particions.
- ➢ Número de threads utilitzats en l'execució.
- ➢ Momentum flag activat o desactivat.

Els temps obtinguts són la mitja del resultats després d'haver-hi compilat 5 vegades cada opció descrita en el gràfic.

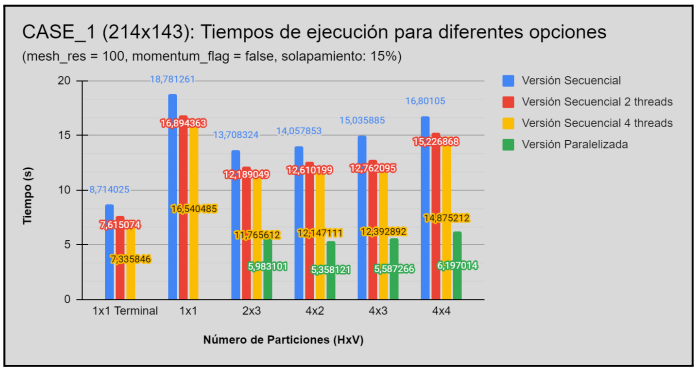


Figura 11. Gràfica de resultats I.

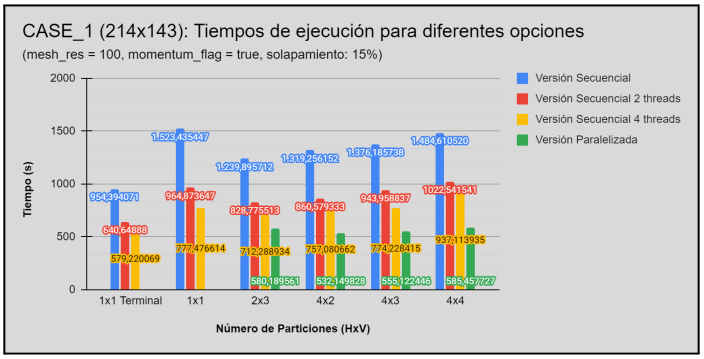


Figura 12. Gràfica de resultats II.

En general, la versió seqüencial amb 2 threads mostra una millora significativa en el rendiment en comparació de la versió seqüencial estàndard en tots els casos. Els temps d'execució es redueixen considerablement, cosa que suggereix que la paral·lelització del programa ha permès un processament més ràpid. La versió seqüencial amb 4 threads mostra una millora addicional en el rendiment en comparació de la versió amb 2 threads. Tot i que les millores no són tan pronunciades com en la transició de la versió seqüencial a la versió amb 2 threads, hi continua havent una disminució en els temps d'execució.

En comparar les versions paral·lelitzades, s'observa que la mida de les particions influeix en el rendiment. En general, com més petites són les particions, menys temps d'execució té el programa, però si ens fixem el nombre de particions és rendible fins a cert punt.

En el nostre cas es pot observar que la versió paral·lelitzada de 2x3 ja té un speedup de 1,97x respecte a la versió seqüencial amb 4 threads, però encara es pot anar més enllà i aconseguir un millor speedup si fem servir la versió 4x3 ja que ens proporciona un speedup de 2,22x. Afinant una mica més el resultat, obtenim que la versió 4x2 és la més eficient per al CASE_1 ja que s'aconsegueix un speedup de 2,27x.

Aquests resultats són per a les versions que no utilitzen el flag de momentum, encara que igualment es pot apreciar que la versió més eficient amb el flag activat segueix sent la 4x2 donant un speedup de 1,42x. Dins d'aquestes proves també es troba el cas 4x4, però es pot apreciar que l'excessiva partició del mapa fa més lenta l'execució.

7.2 RESUM FUNCIONAMENT CODI:

En resum, aquest codi realitza una sèrie d'operacions per dividir un mapa en àrees més petites, executar simulacions de velocitat i angle del vent utilitzant el programari WindNinja i GDAL, i desar els resultats en matrius i fitxers de text. Aquests resultats poden ser utilitzats posteriorment per a l'anàlisi i la visualització del vent en àrees específiques dins del mapa.

8 CONCLUSIÓ:

Els incendis forestals són un dels perills naturals més importants a tota Europa, especialment, a l'àrea mediterrània on els últims anys hi han hagut grans incendis a Espanya, Portugal o Grècia. Per aquesta raó, com més eines i ajudes puguem donar els analistes forestals millor per tal de minimitzar els danys dels incendis.

WindNinja permet simular i predir com el vent i altres condicions atmosfèriques afectaran la propagació del foc, aquestes dades són importants per comprendre com el foc es pot estendre i ajudar els equips de gestió d'incendis a prendre decisions informades sobre l'estratègia de control.

D'altra banda, encara que QGIS en si mateix no és un simulador d'incendis, es pot utilitzar en combinació amb WindNinja per analitzar la propagació del foc. Aquestes dades es poden utilitzar per crear models i fer anàlisis espacials que ajudin a comprendre millor com es comportarà un incendi en una àrea determinada.

Junts, es poden utilitzar com a part d'un enfocament integrat per a l'anàlisi i la predicció del comportament dels incendis forestals. El canvi climàtic juga un paper important, ja que augmenta les possibilitats d'aparició d'aquests incendis amb les sequeres i augment de temperatures que comporta, per tant, és primordial una bona qualitat i fiabilitat d'aquestes dades recolectades.

8.1 AGRAÏMENTS:

Donar les gràcies a Tomás Margalef per la seva constant revisió de la feina.

A Gemma Sanjuan per les hores dedicades a l'estudi i el desenvolupament del codi amb mi.

I a Irene González també pels seus consells i matisos per millorar aspectes del codi.

9 BIBLIOGRAFÍA:

[1] WindNinja | Missoula Fire Sciences Laboratory. (s. f.).

https://www.firelab.org/project/windninja

[2] Sotomayor, S. G. (2023, 15 febrero). Qué son las metodologías ágiles y cuáles son sus ventajas empresariales. Thinking for Innovation.

https://www.iebschool.com/blog/que-son-metodologias-agiles-agile-scrum/#:~:text=Por%20definici%C3%B3n%2C%20las%20metodolog%C3%ADas%20%C3%A1giles,las%20circunstancias%20espec%C3%ADficas%20del%20entorno

[3] Descubre QGIS. (s. f.).

https://www.qgis.org/es/site/about/index.html

Prestaciones — documentación de QGIS Documentation -. (s. f.).

https://docs.qgis.org/3.22/es/docs/user_manual/preamble/features.html

[4] ¿Qué es Python? - Explicación del lenguaje Python - AWS. (s. f.). Amazon Web Services, Inc

https://aws.amazon.com/es/what-is/python/#:~:text=Python%20es%20un%20lenguaje%20de,ejecutar%20en%20muchas%20plataformas%20diferentes.

[5] Coppola, M. (2023, 21 enero). JSON para principiantes: qué es, para qué sirve y ejemplos.

https://blog.hubspot.es/website/que-es-json#:~:text=JSON%20es%20un%20formato%20de,una%20alternativa%20al%20lenguaje%20XML.

[6] Python bindings – GDAL documentation.(s.f.).

https://gdal.org/api/python_bindings.html

[7] Geater, J. (s. f.). La Extensión de Archivo LCP: ¿Qué Es y Cómo Abrirla?

https://www.solvusoft.com/es/file-extensions/file-extension-lcp/#:~:text=Tipo%20de%20archivo%20LCP&text=Est%C3%A1%20relacionada%20con%20uno%20tipo,y%20pueden%20abrirse%20en%20Windows.

[8] Gabri. (2018). ¿Qué es el error cuadrático medio RMSE? El blog de franz.

https://acolita.com/que-es-el-error-cuadratico-medio-rmse/

[9] Seaborn heatmap - Python Tutorial. (s. f.).

https://pythonbasics.org/seaborn-heatmap/

seaborn.heatmap - seaborn 0.12.2 documentation (s. f.).

https://seaborn.pydata.org/generated/seaborn.heatmap.html

APÈNDIX:

A1. Configuració (JSON File)

```
{
    "map_path": "C:/WindNinja/WindNinja-3.8.0/bin/data/CASE_1/Input/ASCII_files/CASE_1.lcp",
    "num_particiones_horizontales": 4,
    "num_particiones_verticales": 3,
    "solapamiento": 0.15,
    "nombre_salida": "_corte",
    "nombre_salida_s": "_corteSolapamiento",
    "config": "C:/Users/raul_/CODIGO/cli_momentumPrueba_1.cfg",
    "windninja": "C:/WindNinja/WindNinja-3.8.0/bin/WindNinja_cli.exe"
}
```

A2. Configuració (CFG File)

```
num_threads             = 1
# elevation_file          = data/CASE_1/Input/ASCII_files/CASE_1.lcp
initialization_method   = domainAverageInitialization
momentum_flag           = false
number_of_iterations    = 2000
mesh_resolution         = 100
units_mesh_resolution   = m
time_zone               = America/Denver
input_speed             = 10.0
input_speed_units       = mph
input_direction         = 270.0
uni_air_temp            = 80.0
air_temp_units          = F
uni_cloud_cover         = 30.0
cloud_cover_units       = percent
input_wind_height       = 20.0
units_input_wind_height = ft
output_wind_height      = 20.0
units_output_wind_height = ft
vegetation              = grass
diurnal_winds           = false
year                    = 2011
month                   = 9
day                     = 23
hour                    = 13
minute                  = 30
write_goog_output       = true
write_shapefile_output  = false
write_ascii_output      = true
ascii_out_resolution    = 100.0
units_ascii_out_resolution     = m
write_farsite_atm       = false
```

A3. Overlap (TXT File)

overlap.txt

```
0; 0; 44; 0; 19; 0; 0; 177; 78
1; 0; 44; 19; 19; 0; 78; 177; 156
2; 0; 44; 19; 0; 0; 156; 177; 235
1; 44; 0; 0; 19; 177; 0; 354; 78
2; 44; 0; 19; 19; 177; 78; 354; 156
3; 44; 0; 19; 0; 177; 156; 354; 235
```

A4. Matrius Vel i Ang globals (TXT File)

velocidad.txt

```
#ncols  214
#nrows  143
#xllcorner  2819500.000000
#yllcorner  2148100.000000
#cellsize   100.0
#NODATA_value   -9999.000000
10.38 10.20 9.62 9.29 9.60 10.15 10.70
10.38 10.20 9.62 9.29 9.60 10.15 10.70
10.59 10.26 9.45 8.95 9.05 9.57 10.54
10.78 10.25 9.36 8.87 8.56 8.69 9.88 1
10.61 10.07 9.57 9.46 8.69 8.09 8.96 1
10.39 9.95 9.73 9.91 9.06 7.95 8.41 10
```

angular.txt

```
#ncols  214
#nrows  143
#xllcorner  2819500.000000
#yllcorner  2148100.000000
#cellsize   100.0
#NODATA_value   -9999.000000
272.00 273.00 272.00 265.00 258.00 25
272.00 273.00 272.00 265.00 258.00 25
271.00 272.00 271.00 268.00 264.00 26
270.00 270.00 269.00 271.00 272.00 26
269.00 269.00 268.00 271.00 274.00 27
270.00 269.00 270.00 271.00 273.00 27
```

A5. Resultats (TXT File)

```
--------------
nombre del mapa: CASE_5.lcp
numero_particiones_horizontales: 2
numero_particiones_verticales: 3
solapamiento: 0.25
num_threads: 4
resolucion: 100
momentum: false
rmse_velocidad: 3.4993563219009585
rmse_angular: 22.345241923887407
tiempo_ejecucion: 44.33428359031677
--------------
nombre del mapa: CASE_5.lcp
numero_particiones_horizontales: 2
numero_particiones_verticales: 3
solapamiento: 0.15
num_threads: 4
resolucion: 100
momentum: true
rmse_velocidad: 4.042822342657462
rmse_angular: 22.35501181010307
tiempo_ejecucion: 2759.0937440395355
--------------
```