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

Benedito Momplet, Roger; Margalef, Tomàs, dir. Aplicació de la computació d'altres prestacions a la predicció de la propagació d'incendis forestals. 2022. (958 Enginyeria Informàtica)

This version is available at <https://ddd.uab.cat/record/264218>

under the terms of the  license

Aplicació de la Computació d'Altes Prestacions a la predicció de la propagació d'incendis forestals.

Roger Benedito Momplet

Resum– FARSITE és un simulador que ens permet predir el comportament de l'incendi i extreure informació rellevant com per exemple, la direcció i velocitat de propagació, l'àrea afectada, generació de fums i calor alliberat, etc. Aquest informe està centrat sobre l'opció de simulació 'Post-Frontal Combustion', que ens permet simular la generació de gasos i temperatura. *Com puc utilitzar-ho? Quina configuració he d'utilitzar? Com funciona? Quin és l'augment computacional que genera?* Són algunes de les preguntes que es resolen en aquest document.

Paraules clau– Farsite, simulador, incendis, combustió, gasos, requisits, configuració, Post-Frontal Combustion.

Abstract– FARSITE is a simulator that allows us to predict the behavior of the fire and extract relevant information such as the direction and speed of propagation, the affected area, generation of fumes and heat released, etc. This report focuses on the 'Post-Frontal Combustion' simulation option, which allows you to simulate gas generation and temperature. *How do I use it? What settings should I use? How does it work? What is the computational boost it generates?* These are some of the questions addressed in this document.

Keywords– Farsite, simulator, fires, combustion, gases, requirements, configuration, Post-Frontal Combustion.



1 INTRODUCCIÓ

El concepte d'incendi forestal és una terme globalitzat en la societat actual, ja que és un problema que es porta tractant dècades. L'augment de combustible forestal degut a la quasi desaparició d'activitats productives forestals, juntament amb el canvi climàtic, han donat lloc al que coneixem avui en dia, com a mega incendis o incendis de sisena generació. Capaç de causar danys materials, mediambientals i humans, com els vistos a Portugal, Califòrnia o bé a Austràlia.

En aquest punt, la planificació per controlar i extingir l'incendi és clau per poder destinar els màxims recursos en els perímetres crítics dels incendis. Aquí és on entren els simuladors/predicció d'incendis per poder estudiar el comportament de propagació, la intensitat tèrmica o ara bé l'e-

missió de fums produïts abans que succeeixi, i poder-ho evitar.

FARSITE és un simulador que ens permet predir el comportament de l'incendi i extreure informació rellevant com per exemple, la direcció i velocitat de propagació, l'àrea afectada, generació de fums i calor alliberat, etc. Per desgràcia FARSITE en la seva última versió (FARSITE 5), va prescindir d'algunes prestacions, com per exemple la generació de fums i calor alliberat en l'aire, ja que com ells indiquen en les seves guies i manuals d'ús, la utilització d'aquesta prestació implicava un augment en el cost computacional i temps d'execució de la simulació.

En aquest informe es tractarà sobre el model Post-Frontal Combustion, mitjançant l'aplicació de codi tancat que s'utilitza en Windows i que ens permet fer simulacions i extraccions de dades i mitjançant el codi en llenguatge C++ (que ens referirem a ell com a Linux) el qual no té entorn gràfic i que a priori no podem extreure dades del Post-Frontal Combustion, però podem visualitzar i modificar el codi per adaptar-lo.

Aquest document s'utilitzarà per deixar constància sobre el progrés realitzat, sobre l'estudi de FARSITE i la seva opció de simulació Post-Frontal Combustion.

- E-mail de contacte: 1418887@uab.cat
- Menció realitzada: Enginyeria de Computadors
- Treball tutoritzat per: Tomás Manuel Margalef Burrull (Department of Computer Architecture and Operating Systems)
- Curs 2021/22

2 OBJECTIUS

En aquest apartat es mostraran els objectius realitzats en aquest estudi i que s'explican en el llarg del document.

- l'aprenentatge de l'ús de FARSITE,
- la utilització de les prestacions de generació de fums i calor alliberat en l'aire (Post-Frontal Combustion),
- estudi i comprensió de les estructures de dades utilitzades en la simulació,
- estudi i comprensió de les dades generades,
- la comprensió de les variacions d'execució entre la simulació estàndard i la simulació Post-Frontal,
- l'estudi de l'augment computacional entre la simulació de propagació estàndard (predicció de les diferents àrees de propagació al llarg del temps) i la simulació de Post-Frontal Combustion, (opció que com ja s'ha dit comporta un augment del cost computacional).

3 PLANIFICACIÓ

En aquest apartat es mostrarà la planificació de treball segmentada en 8 apartats juntament amb el temps utilitzat per implementar-ho.

- Estudi i comprensió de les diferents capes d'informació requerides per l'ús de FARSITE (Setmana 1-2)
- Comprensió del funcionament d'execució i d'extracció de dades de FARSITE en Windows (Setmana 3)
- Primers intents de posada en marxa del model Post Frontal Combustion en FARSITE Linux (Setmana 4-10)
- Solució del problema en l'execució i primeres extraccions de dades per generar comparatives entre execucions de Linux i de Windows (Setmana 10-14)
- Estudi de les variacions d'outputs entre els simuladors de Linux i Windows (Setmana 15)
- Modificació del codi per poder seleccionar els outputs desitjats des del document d'execució. (Setmana 16)
- Estudi computacional i cerca de possibles optimitzacions (Setmana 16-18)
- Documentació del treball realitzat. (Setmana 19)

4 POSADA EN MARXA

En aquesta secció es descriuran els arxius i configuracions necessàries que es tracten com a inputs per la utilització correcta de FARSITE.

4.1 Arxius necessaris

Landscape (LCP): Les dades del terreny utilitzades per FARSITE estan contingudes en un únic fitxer horitzontal. Dintre d'ell, hi ha diverses capes que contenen la informació del terreny. Aquestes capes són;

- Elevacions: Necessari per a l'ajust de la temperatura i la humitat i per a la conversió de la propagació del foc entre distàncies horitzontals i de pendent.
- Pendants: Necessari per calcular els efectes del pendent sobre la propagació del foc i la radiació solar.
- Aspecte topogràfic: Ràster necessaris i conté valors per a l'aspecte topografia indiquen l'orientació de la pendent.
- Model de combustibles: Especificar un índex sencer per a un model de combustible.
- Cobertura de copes: Necessari per calcular els factors d'ombra i de reducció del vent per a tots els models de combustible. Percentatge horitzontal de la superfície del sòl que està cobert per les copes dels arbres.
- Alçada de vent: Dades opcionals que es fan servir per calcular les distàncies d'observació, la reducció del vent a l'alçada de la flama mitjana i les característiques del foc de la corona.
- Alçada de la base de la copa: Dades opcionals que es fan servir per determinar la transició del foc de superfície al foc de la copa. Per a un sol arbre és l'alçada fins a la part inferior de la copa.
- Densitat de copa: Dades opcionals que són fonamentals per determinar les característiques de propagació dels incendis de copa.
- Duff: Dades opcionals necessàries per fer servir el model de combustió Post-Frontal. Les unitats angleses són tones/acre i les unitats mètriques són megagrams/hectàrea (tones per hectàrea) introduïdes com a valors decimals.
- Course Woody: Necessari per utilitzar el model de combustió Post-Frontal. Utilitza valors enters per fer referència a un fitxer de perfil de Woody que conté les dades del model de combustió postfrontal.

Weather (WTR): Fitxer de text ASCII necessari per a qualsevol simulació. Conté observacions diàries sobre la temperatura i la humitat, així com les precipitacions. Totes les entrades han de ser enters.

Adjustment (ADJ): fitxer de text ASCII necessari per a qualsevol simulació de FARSITE. Ajusta la velocitat de propagació permeten a l'usuari utilitzar el judici experimentat o les dades locals per ajustar la simulació als patrons de propagació del foc observats o reals.

Custom Fuel Model (FMD): Opcional per a FARSITE. Permet introduir models de combustible en anglès o unitats mètriques.

Fuel Conversion (CNV): Opcional per a FARSITE. És necessari un fitxer de conversió de combustible si els valors de model de combustible no corresponen directament amb

els valors de combustible del fitxer de model de combustible o els 13 models de combustible estàndard.

Custom Fuel Model (FMD): Opcional per a FARSITE. Els models diferents als 13 estàndards (Anderson 1982) s'han de subministrar en un fitxer de model de combustible personalitzat.

Coarse Woody Profile (CWD): Opcional necessari per utilitzar el model de combustió Post-Frontal. Aquest fitxer conté les dades que descriuen cadascun dels perfils de Woody del curs que es troba al fitxer Landscape (LCP).

Wind (WND): Fitxer de text ASCII necessari per a qualsevol simulació de FARSITE. La informació del vent s'ha d'introduir com a flux de dades o com a fitxer meteorològic en graella.

Burn Period (BPD): Opcional per a FARSITE. És un fitxer de dates i hores que especifiquen els períodes de gravació diaris. És un fitxer opcional que s'utilitza per aturar la simulació durant períodes de poca activitat, com ara nits fresques i humides.

Ignition: Arxiu que indica la zona en què s'inicialitza l'incendi. Aquesta zona pot ser inicialitzada com a un punt o un conjunt d'ells, generar així línies o perímetres d'inici-alització de foc.

4.2 Paràmetres

A FARSITE, cal establir els límits o la tolerància d'error en el temps i l'espai per als càlculs de comportament del foc. (Quina freqüència en el temps i amb quina distància a l'espai esteu disposats a permetre que es facin els càlculs del comportament del foc?). Per poder indicar aquests valors cal fer ús dels següents valors;

TimeStep: Quantitat màxima de temps que les condicions en un punt donat s'assumeixen com a constants perquè es puguin projectar la posició del front de foc. Les posicions de tots els focs es projectaran al llarg d'aquest TimeStep per tal que es puguin calcular les propagacions.

Visible TimeStep: És sempre un múltiple del pas del TimeStep. No pot ser inferior al TimeStep. El front de foc es dibuixarà a l'arxiu de sortida als intervals de temps visibles. El Visible TimeStep sovint s'estableix més gran que el TimeStep real per evitar detalls innecessaris a les posicions del perímetre de foc que es mostren.

Perimeter Resolution: Defineix l'espai màxim dels punts de projecció al llarg del perímetre del foc. Aquesta configuració té un gran impacte en els requisits de càlcul de la simulació, ja que una resolució perimetral més petita genera més punts de projecció del foc.

Distance Resolution: Defineix la distància màxima que pot recórrer el foc en un TimeStep sense agafar nova informació del paisatge.

En la figura 1 podem veure una representació de la segmentació de TimeStep en diversos TemporaryTimeStep quan el perímetre o la distància de propagació ha superat el valor dels paràmetres de resolució i s'ha generat una segmentació.

També cal aclarir que valors de paràmetres de resolució elevats, provoquen una menor precisió.

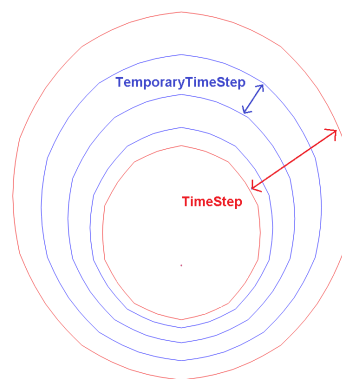


Fig. 1: Representació de la segmentació de TimeStep

4.3 Temps de simulació

Aquesta configuració serveix per establir la data d'inici i de fi de la simulació que es vol generar. Cal introduir el mes, dia, hora i minut en què l'incendi inicia i finalitza. Cal tenir en compte que aquests valors estan directament relacionats amb les dades introduïdes en els arxius anteriorment nomenats com per exemple el Weather (WTR), ja que les dates d'inici i fi de simulació cal que estiguin dintre del rang de dies introduïts dins dels arxius.

4.4 Comportament del foc

Permet modificar el comportament del foc com restringir el foc de la copa. També permet establir diverses opcions que modifiquen els càlculs del comportament del foc. Les opcions que podem habilitar són les següents;

Enable Crownfire: Aquesta opció permet que un foc de superfície faci la transició a algun tipus de foc de corona en funció de les condicions del combustible de la copa i del comportament del foc de la superfície.

Link Crown Density and Cover: La densitat aparent de la copa és fonamental per determinar la propagació del foc de la copa. Marcar aquesta opció obliga a la simulació a utilitzar els atributs de la coberta de la copa per a cada cel·la per modificar els valors de la densitat massiva de la copa d'aquesta cel·la.

Level Distance Checking: Compara l'avenç del perímetre de foc simulat amb els valors de les resolucions de distància i perímetre establerts. Aquesta variable és imprescindible per la simulació de Post-Frontal Combustion, ja que tota simulació que utilitzi el mòdul de Post-Frontal a d'estar declarada com a 'Simulation-Level' i no declarat com a 'Fire-Level'. Aquesta variable junt amb la variable d'activació del PostFrontal habilitaran variacions en el recorregut d'execució de la simulació per generar nous objectes i crides a funcions necessàries pel càlcul del Post-Frontal Combustion.

Càlculs Post-Frontal: L'habilitació d'aquest model permet calcular el flux de calor i les emissions de manera que es puguin simular impactes com la producció de fum i l'escalfament del sòl. La combustió post-frontal requereix dos fitxers opcionals Duff i Coarse Woody, que ja s'ha mencionat anteriorment. A part d'habilitar el model, també cal

indicar algunes opcions com per exemple, les opcions d'entrada de combustible per indicar si cal que 'sempre', 'mai', 'quan no es tingui registre' es tingui en compte la informació de combustible del document CWD o la precisió que volem obtenir.

4.5 Variables

En aquest subapartat es tractaran les variables globals que afecten el funcionament intern de FARSITE.

Version: Determina quines capes d'informació són habilitades, depenent del valor que s'assigni. En la Taula 1, es determinen els valors que cal introduir per l'activació correcta de les capes. Cal destacar que l'ús d'un valor major, implica un augment d'instruccions i es recomana seleccionar correctament el valor 'Version'. També cal aclarir que les capes d'informació fan referència a fitxers que contenen informació com inclinació del terreny, densitat de vegetació, meteorologia, capacitat de combustió de diferents elements, etc, mencionats anteriorment. A més a més, és una variable autoimposada per l'aplicació de FARSITE, el que implica que només podrà ser modificada quan utilitzem la compilació i execució del codi en C++ de FARSITE.

TAULA 1: TAULA DELS VALORS 'VERSION'

Capas d'informació	Valor
Adjustment, Fuel Moisture	42
Adjustment, Fuel Moisture, Custom Fuel Models	43
Adjustment, Fuel Moisture, Custom Fuel Models, Fuel Model Conversions	44
Adjustment, Fuel Moisture, Fuel Model Conversions	45
Utilitzar document CWD	+4
Utilitzar document BPD	+10

TablePFInputOption: Nova variable incorporada en el desenvolupament d'aquest projecte. Habilita l'extracció d'informació global d'emissió de la simulació. Permet seleccionar una emissió d'entre Fuelweight, Totalheat, PM25, PM10, CH₄, CO o CO₂. Extreu l'emissió en Tones per hectàrea per cada TimeStep de les zones Flaming (combustió amb flama) i Smoldering (combustió amb brases). Es descriu amb més detall en la secció de Modificació del codi.

MapsPFInputOption: Nova variable incorporada en el desenvolupament d'aquest projecte. Habilita l'extracció de mapes d'emissió de la simulació Post-Frontal. Permet seleccionar una o totes les emissions d'entre Fuelweight, Totalheat, PM25, PM10, CH₄, CO o CO₂. Extreu un mapa en format ASC indicant les Tones per hectàrea per minut per cada TemporaryTimeStep. Es descriu amb més detall en la secció de Modificació del codi.

5 DESENVOLUPAMENT

El desenvolupament d'aquest estudi es basa en;

La utilització del FARSITE en Linux, on tenim el codi en llenguatge C++ i podrem generar l'estudi computacio-

nal. En aquest entorn s'han realitzat les següents investigacions per poder obtenir els conceptes claus per executar correctament la simulació i per entendre el funcionament intern de FARSITE;

- **Iteracions de simulació:** Per qualsevol mena de simulació que no utilitzi Post-Frontal, la simulació genera X iteracions que es determinen entre el temps real de la simulació, que es calcula amb la diferència de la data d'inici i de fi de la simulació i el TimeStep que és la quantitat màxima de temps transcorregut entre el punt actual i el següent punt de propagació. Només amb aquesta informació podem suposar que cada iteració de la simulació fa referència al càlcul de la propagació de la nova àrea afectada i per tant, si es vol extraure més informació com per exemple amb el Post-Frontal, en cada iteració augmentarà el nombre d'instruccions produïdes pel càlcul d'aquestes noves dades. Però realment el comportament del Post-Frontal no actua seguint aquest patró. Realment pel càlcul del mòdul de Post-Frontal el que succeeix és un augment de les iteracions de la simulació no constants. En la Taula 2 observem que en una simulació estàndard, una durada d'1 dia i un TimeStep d'1 hora, les iteracions generades són 24, mentre que amb la mateixa durada i temps de propagació, amb la simulació de Post-Frontal es genera 90 iteracions. Això és a causa de la diferència de les dades que es tracten. En una simulació estàndard, es calcula l'àrea afectada mitjançant una propagació de punts. Cada punt dels perímetres, es calcula tenint en compte les diferents capes d'informació i el TimeStep, s'agafen els valors de les diferents capes en el punt inicial i es calcula la inèrcia de propagació en aquests punt determinat, després es multiplica aquesta velocitat de propagació per el TimeStep i es genera el vector de propagació que indicarà el nou punt de propagació del incendi. En canvi, pel càlcul de Post-Frontal Combustion, es segmenta el temps indicat pel TimeStep en diferents temps de propagació dins de cada període de temps TimeStep. Produint així un augment de les iteracions globals de simulació. On la simulació estàndard requereix d'una iteració per calcular la propagació, el mòdul de Post Frontal por arribar a necessitar fins a més de 49 iteracions, provocant així l'augment que s'ha mencionat anteriorment. Les iteracions dependran directament de la variable TemporaryTimeStep.

TAULA 2: TAULA D'ITERACIONS DE SIMULACIÓ FLATLAND

	1 Dia	2 Dies	3 Dies	4 Dies
Estàndard	24	48	72	96
Post-Frontal	90	156	199	223

- **Partició del TimeStep:** Com s'ha vist anteriorment, la comprensió de la partició del TimeStep és clau per entendre el funcionament del bucle intern de la simulació. Aquesta partició de TimeStep depèn directament dels paràmetres de resolució (Perimeter Resolution i Distance Resolution).

Quan la propagació d'un TimeStep supera els valors dels paràmetres de resolució, es genera una partició del TimeStep guardant l'acumulació en la variable TemporaryTimeStep.

En la taula 3, podem observar el nombre de particions totals que hi ha hagut en una simulació amb un TimeStep de 60 minuts i diferents paràmetres de perímetre i distancia.

TAULA 3: PARTICIONS DEL TIMESTEP SEGONS PERÍMETRE I DISTANCIA AMB SIMULACIÓ ASHLEY

		Perímetre					
		30	45	60	100	150	200
Distancia	30	445					
	45	279	296				
	60	304	214	214			
	100	236	166	136	133		
	150	228	168	127	97	89	
	200	225	157	123	85	76	76

Observem que a l'hora d'anar introduint uns valors de resolució més grans, el nombre de particions del TimeStep es va reduint. Aquest concepte és clau a l'hora de voler extreure els mapes de propagació del model Post-Frontal Combustion, ja que per cada partició es generarà un document ASC, provocant un augment en el temps d'execució per culpa de la generació de l'arxiu.

En la figura 2 podem observar la informació en format de mapa de propagació del model Post-Frontal on només s'ha fet l'extracció d'informació en els períodes de temps TimeStep.

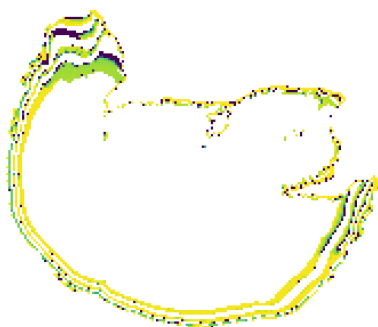


Fig. 2: Mapa de generació de CO2 del mòdul PostFrontal per cada TimeStep

En el mapa de la figura 2 comprovem que apareix una segmentació en franges on no tenim informació. Això és a causa del fet que depenent de la partició del TimeStep generat, la informació que s'extreu del objecte PostFrontal en l'instant de temps TimeStep pot variar d'entre els últims 60 min i els últims 2 min de simulació. Aquesta variància provoca que si només estrallem la informació cada TimeStep i no cada TemporaryTimeStep, és possible perdre gran part de la informació. En canvi, en la figura 3 s'ha realitzat una extracció d'informació per cada TemporaryTimeStep.

Observem com desapareixen aquestes franges entre extraccions i generen un mapa més uniforme on es representa l'extracció de les últimes 5 hores de la simulació. Cal recordar que les unitats que s'extreu en aquests mapes són tones per hectàrea per minut.

En la figura 4, podem observar l'extracció del mapa de CO2 utilitzant FARSITE en Windows i comprovem l'alta similitud amb l'extracció generada amb el codi en C++.



Fig. 3: Mapa de generació de CO2 del mòdul PostFrontal per cada TemporaryTimeStep



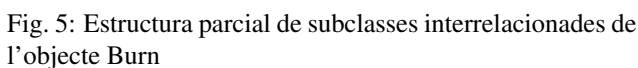
Fig. 4: Mapa de generació de CO2 del mòdul PostFrontal amb Windows

- Estructures de dades: La primera de les estructures de dades més importants a l'hora de generar la simulació és la classe **Burn**;

És l'objecte principal on es guarda tota l'informació de la simulació. En la figura 5, podem veure part de la seva estructura de subclasses interrelacionades, com per exemple l'estructura de dades 'FireRing', encarregada de guardar la informació relacionada amb les diferents areas generades per la propagació, l'estructura de dades 'newinfire' que s'utilitza per generar una cadena entre els diferents focs que s'estan generant i tenir-lo ordenat temporalment, l'objecte 'Rasterize' que ens guarda les dades en un format de dos dimensions per poder tractar-les més endavant com a mapes, l'objecte 'AreaPerimeter' que ens guarda l'assignació de les diferents areas i els objectes 'FireEnvironment2' i 'FELocalSite' que ens guarden dades de propagació del foc amb un historial temporal per saber si ja està consumit tot el combustible o encara no.

La segona estructura de dades important és la **PostFrontal**;

Estructura que també està indexada a l'estructura Burn. Sobre aquesta estructura es genera el mapa de combustió que es pot veure en les figures 2, 3, 4. En la figura 6 podem veure la seva estructura. Dins d'aquesta estructura trobem l'objecte 'PFIntegration', encarregada de gestionar les integracions entre els threads, l'objecte 'FireRing' mencionat anteriorment i l'objecte 'BurnupFireRings', entre d'altres.



PostFrontal
+ReferenceFireRingNum: long +MergeReferenceRingNum: long +x1, y1, x2, y2: double +rt, wf: double +n1, ym1, xm2, ym2: double +rt2, wf2: double +xm1, ym1, xm2, ym2: double +StartK: double +StartY: double +Vets: double* +SimLevel_FlameWeightConsumed: double +SimLevel_SmolderWeightConsumed: double +pfi: PFIIntegration +NumPFI: long +bup: BurnupFireRings
+InterpolateOverlaps(PerimPoints*, long): void +GetPerimVal(long, long, long): double +GetRingPoint(FireRing*, long): void +Cross(double, double, double, double, double, bool, double, double, double, bool, double*, double*): bool +AreaPerim(long, double*, double*, double*): void +Direction(double, double): double +Overlap(long, double*): long +FillOuterRing(FireRing*): void +UpdatePointOrder(FireRing*, long): void +UpdateFireRing(FireRing, long, long): void +UpdateMergeOrder(FireRing*, long): void +FillMergeArray(FireRing*): void +PartitionMergeRing(long, long, double, double): void +RemoveRingEnclaves(FireRing*): void +RemoveDuplicatePoints(FireRing*): void +AllocPFI(): bool +CloseAllThreads(): void +FreePFI(): void +ComputeSmoke(double, long): double +ComputeHeat(double): double +AccessReferenceRingNum(long, long, long): long +ComputePostFrontal(double, double, double*, double*): void +EscriurePFI_SmolderWeightConsumed(): void +SetupFireRing(long, double, double): FireRing* +CorrectFireRing(long, long*, double*, long*, long, long): void +MergeFireRings(long*, long, long*, double*, long, long): void +BurnupPrecision(long): long +UpdateAttackPoints(FireRing*, long): void +ResetAllThreads(): void

Fig. 6: Estructura de dades i funcions de l'objecte PostFrontal

La tercera estructura de dades és la **PFFrontData**;

Aquesta estructura no sinclou dins de l'objecte Burn, i s'utilitza per guardar les dades generals de la simulació de Post Frontal, com el Flaming i el Smolder que ens permet calcular el flux de calor i les emissions per poder simular impactes com la producció de fum i l'escalfament del terra. També és la que s'encarrega de fer la modificació de valors per poder seleccionar les opcions de CO₂, CO, CH₄, Fuel perdut, etc. A l'hora d'utilitzar el FARSITE de Windows es mostren les dades en una taula o en una gràfica com es pot veure en la figura 8. En la figura 7 es mostra la seva estructura de dades.

PFFrontData
+numarrays: long +pfi: PFFrontStruct* +pf2: PFFrontStruct* +pm25f: double +pm25s: double +pm10s: double +pm10f: double +ch4s: double +ch4f: double +cof: double +cos: double +co2f: double +co2s: double +MaxSmolder: double +MaxFlaming: double +MaxTotal: double +FractFlameAtMax: double +number: long +MaxTime: double
+GetFlameMult(long): double +GetSmolderMult(long): double +SetData(double, double, double): void +GetPostFrontalProducts(long, long, long, long): double +GetTime(long): double +ResetData(): void +GetMax(long, long): double

Fig. 7: Estructura de dades i funcions de l'objecte PFFrontData

- Ruta d'execució : A l'hora d'executar FARSITE es diferencien quatre grans blocs de comportament.

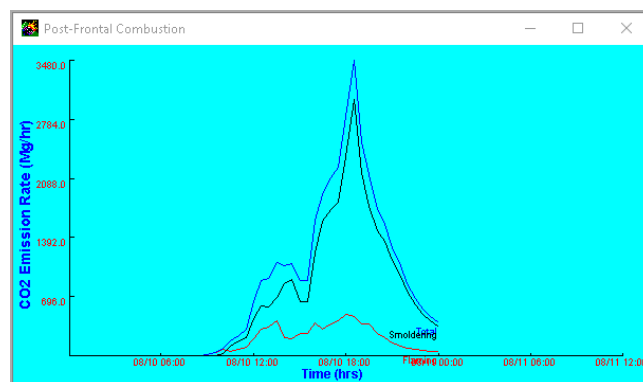


Fig. 8: Gràfica d'emissió de CO₂ en una simulació

El primer bloc és el d'inicialització de variables de control. Es realitzen les primeres inicialitzacions de les variables més generals, com per exemple els apuntadors als fitxers de lectura principals o les comprovacions per seleccionar el número de Threads que s'utilitzaran per optimitzar el rendiment del programa. (Ubicat en l'arxiu batch.cpp)

El segon bloc és la comprovació i lectura dels fitxers introduïts. En aquest punt és on es comprova l'existència del fitxer i el contingut d'ell i on es llegeixen i actualitzen les variables mencionades anteriorment, d'entre altres.

En el tercer bloc és on s'executa el codi per generar la simulació i on s'executa la funció FarsiteSimulationLoop la qual és on apareixen les 'iteracions de simulació' mencionades anteriorment, controlada per la variable SIMTIME de l'objecte Burn on es guarda el TimeStep actual de la simulació. És a dir, si volem calcular la propagació d'un incendi al cap de 24 hores, amb un TimeStep d'una hora amb una simulació estàndard, el valor SIMTIME anirà incrementant-se de seixanta en seixanta en cada iteració, per determinar l'hora actual de simulació executen-se. Dins d'aquest gran bloc podem dividir l'execució de cada iteració en tres parts. Cal anotar que en aquest bloc és on s'han generat les modificacions que mencionarem més endavant.

- La primera part fa referència a la funció 'FarsiteProcess1' i a la funció 'FarsiteProcess2', encarregades de controlar les iteracions. En aquestes funcions es generen comprovacions on es diferencia entre la simulació amb 'DistanceCheck' igual a 'SIMLEVEL' o igual a 'FIRELEVEL' per modificar l'increment del temps de la variable SIMTIME, i generar la diferència d'iteracions generades, mencionades anteriorment. Anotar que dins de la funció 'FarsiteProcess1' es generen un seguit de crides a diferents funcions fins a arribar a una que es diu 'InterpolateOverlaps', la qual provoca l'error que impedia l'execució d'una simulació.
- La segona part fa referència a la funció 'FarsiteProcess3', encarregada de generar tots els càlculs de propagació de la simulació. Al final d'aquesta funció és on s'actualitzen les dades de l'objecte PFFrontData, mencionat anteriorment.
- La tercera part és l'encarregat d'escriure la informació en els documents de sortida normals, com per exemple el 'shape'. En aquest bloc s'ha trobat amb funcions inexistents i s'ha hagut d'implementar-ne de noves per

extreure la informació relacionada amb la simulació de l'objecte PostFrontal.

El quart bloc és l'encarregat de fer les crides a les funcions d'extracció de dades addicionals, com per exemple l'extracció d'informació del objecte PFrontaData i les comprovacions necessàries per finalitzar la simulació

La utilització del FARSITE en Windows, on tenim la possibilitat d'utilitzar un executable FARSITE amb entorn gràfic. Aquesta aplicació és totalment funcional, cosa que ens permet fer la comprovació de valors amb el FARSITE de Linux per validar el seu bon funcionament i ens permet modificar valors i generar simulacions de forma més ràpida. Un altre punt a tenir en compte és que la informació dels manuals que fem servir estan generats per aquest tipus d'entorn, el que facilita la compressió d'ús de l'aplicació. El fem servir per comprendre la informació que ens genera FARSITE i també ens ha servit de guia per la utilització de FARSITE en l'entorn Linux.

Un punt a destacar sobre les primeres diferències entre la generació de la simulació estàndard i la simulació Post-Frontal en Windows, és el canvi d'informació visual que ens generen. En la Figura 9 podem comprovar com al realitzar una simulació estàndard, ens mostra 3 àrees, la primera representant l'àrea inicial i les altres dues àrees indiquen la propagació del foc per a cada X de temps transcorregut, i podem visualitzar en quines zones el foc s'està propagant amb més velocitat i en quines no.

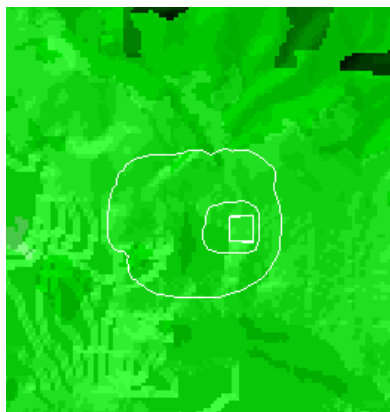


Fig. 9: Simulació estàndard d'un incendi

En canvi, en la Figura 10 observem una simulació amb Post-Frontal, on es mostra una escala de colors que indica en quines zones s'estan produint les emissions i en quines no.

FARSITE també permet extreure una mitjana d'emissió per cada TimeStep designat. Aquesta informació es pot veure a través d'una taula o una gràfica com la que es pot veure en la figura 8. Aquesta informació pot ser adaptada a qualsevol classe d'emissió i es genera mentre s'està simulant l'incendi. Les dimensions de les dades són tones per hectàrea i es diferencia la zona que hi ha flama i la zona en la qual només queda brasa.

6 MODIFICACIONS DE CODI

Com ja s'ha dit amb anterioritat, FARSITE en Linux no té l'opció d'extreure informació del model de Post-Frontal

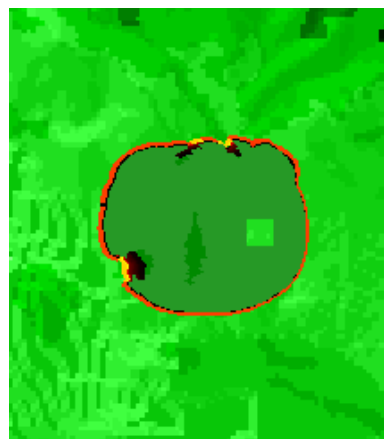


Fig. 10: Simulació Post-Frontal Combustion d'un incendi

Combustion. Per poder extreure dades s'ha modificat el codi per implementar dues opcions d'extracció d'informació.

La primera extracció d'informació s'ha realitzat mitjançant l'objecte PFrontaData que ens permet extreure les dades generals de la simulació. Amb aquesta classe podem extreure les mateixes dades que extreu FARSITE en Windows amb l'expressió de taula o gràfica que s'ha mencionat anteriorment. Les dades que s'extreuen són tonelles per hectàrea per cada TimeStep de l'emissió produïda per la zona de l'incendi on encara està cremant (Flaming) i per l'emissió de l'incendi on ja només queden brases (Smoldering). Per poder fer ús d'aquesta opció s'ha habilitat un nou paràmetre d'entrada anomenat 'table-putoption' que ens permet habilitar l'extracció d'entre Fuelweight, Totalheat, PM25, PM10, CH4, CO o CO2 per generar una taula en un document 'TXT' amb el nom de l'opció seleccionada.

La segona opció incorporada és la capacitat d'extreure els mapes d'emissió com els que s'ha vist en les figures 6 i 7. Per poder habilitar aquesta opció s'ha hagut d'utilitzar les dades de l'objecte PostFrontal i la funció 'RasterizePostFrontal' de l'objecte Rasterize ubicades dins de la classe Burn. Per poder fer ús d'aquesta opció s'ha habilitat un nou paràmetre d'entrada anomenat 'mapspinputoption' que ens permet habilitar la generació de mapes d'emissió de Fuelweight, Totalheat, PM25, PM10, CH4, CO o CO2. A diferència de l'extracció de mapes d'emissió de FARSITE en Windows, on només obteníem un mapa de l'àrea d'emissió on s'indicava les Tones per hectàrea per minut de les últimes 5 hores de la simulació, aquesta opció extreu un mapa per cada TemporaryTimeStep al llarg de tota la simulació. Amb aquesta modificació podem veure i determinar quines zones han estat les que han produït més emissions durant tota la simulació i no només la de les últimes 5 hores de simulació. Malauradament aquesta opció, al generar tants documents, pot arribar a augmentar el temps computacional fins a 3 vegades més, per aquest motiu es recomana utilitzar l'opció amb un perímetre i àrea de resolució elevat, per reduir les particions de TimeStep.

7 ESTUDI COMPUTACIONAL

L'estudi computacional s'ha generat amb una CPU Intel(R) Core(TM) i9-9900K CPU @ 3.60GHz amb 8 cores multithread de 2 threads i una memòria de 32GB.

FARSITE conte amb una opció de paral·lelització amb threads utilitzant estructura d'OpenMP per reduir el temps computacional, ubicades dins de la funció FarsiteSimulationLoop. Utilitze estructures de dades adaptades per l'execució en paral·lel com per exemple BurnThread o CrossThread per la repartició de treball del càlcul de valors i la comprovació de creuaments a l'hora de calcular l'expansió del perímetre de l'incendi.

En la taula 4 podem observar el temps d'execució, l'SpeedUp i l'eficiència d'una simulació estàndard de FARSITE utilitzant les dades de simulació d'Ashley amb una duració de 24 hores amb diferents nombres de threads.

TAULA 4: TAULA DE TEMPS/SPEEDUP/EFICIÈNCIA DE SIMULACIÓ ESTÀNDARD ASHLEY

Threads	Temps(sec)	SpeedUp	Eficiència
1	24,456	1	1
2	17,543	1,394	0,697
4	14,020	1,744	0,436
8	14,183	1,724	0,216
12	13,100	1,867	0,156
16	33,508	0,730	0,046

Amb la versió en serie obtenim un temps d'execució inicial de 24,456 segons. Amb la versió paral·lelitzada s'aconsegueix un SpeedUp màxim de x1,87 amb la utilització de 12 threads. També observem que l'eficiència de l'execució en paral·lel és molt baixa, aconseguint una màxima de 0,697 amb l'ús de 2 threads. Amb aquests resultats comprovem que la capacitat de paral·lelitzada en la simulació estàndard es baixa. També analitzem que a partir de 13 threads el rendiment decau i augmenta el temps d'execució. S'han realitzat diferents proves de rendiment amb temps de simulació diferents per comprovar si es generava algun coll d'ampolla relacionada amb la generació i utilització d'un nombre superior a 12 threads i s'ha comprovat que la utilització superior a 12 threads provoca un augment del temps de còmput permanent. A l'observar el codi s'han trobat limitacions en l'ús superior de 64 threads però cap explicació per la qual expliqui el problema d'utilitzar més de 12 threads. Al dur a terme proves en l'entorn de Windows s'ha observat una limitació màxima de 4 threads, però al utilitzar-la sobre un Intel Core i5-4460 de 4 nuclis, no podem assegurar que la limitació sigui de FARSITE i no del hardware.

En la taula 5 podem observar el temps d'execució, l'SpeedUp i l'eficiència d'una simulació sense extracció d'informació del Post-Frontal Combustion amb una duració de 24 hores amb diferents nombres de threads.

Utilitzant de referència el temps d'execució de la simulació seqüencial estàndard i Post-Frontal comprovem l'augment computacional de x1,599 relacionada directament amb el càlcul de noves dades dels objectes PostFrontal i PFrontalData. Observem que l'SpeedUp màxim aconseguit és de x1,679 utilitzant 12 threads i tal com passava amb la simulació estàndard obtenim unes eficiències molt baixes, obtenint com a màxima, una eficiència de 0,709 amb l'ús de 2 threads. També comprovem l'augment de temps d'execució de simulacions amb més de 12 threads.

En la taula 6 podem observar el temps d'execució, l'S-

TAULA 5: TAULA DE TEMPS/SPEEDUP/EFICIÈNCIA DE SIMULACIÓ POST-FRONTAL COMBUSTION ASHLEY

Threads	Temps(sec)	SpeedUp	Eficiència
1	39,099	1	1
2	27,586	1,417	0,709
4	23,893	1,636	0,409
8	24,313	1,608	0,201
12	23,282	1,679	0,140

peedUp i l'eficiència d'una simulació amb extracció d'informació del Post-Frontal Combustion, tenint una franga de simulació de 24 hores i amb una generació de Temporary-TimeStep que provoca 470 iteracions en loop de simulació.

TAULA 6: TAULA DE TEMPS/SPEEDUP/EFICIÈNCIA DE SIMULACIÓ POST-FRONTAL COMBUSTION AMB EXTRACCIÓ D'INFORMACIÓ

Threads	Temps(sec)	SpeedUp	Eficiència
1	165,841	1	1
2	160,086	1,036	0,518
12	138,338	1,199	0,100

Utilitzant de referència el temps d'execució de la simulació seqüencial Post-Frontal sense extracció i amb extracció de dades comprovem l'augment computacional de x4,242 relacionada directament amb la generació de fitxers. Com que no s'han generat optimitzacions computacionals en la generació de fitxers, la diferencia computacional en la paral·lelització del codi és quasi nul·la, obtenint com a màxim un SpeedUp de x1,199 relacionat directament amb la paral·lelització del càlcul de les noves dades i no de l'extracció d'elles. Un punt a seguir desenvolupant hauria de ser l'optimització d'extracció d'informació dels mapes per al mòdul de Post-Frontal Combustion.

8 CONCLUSIONS

En el llarg d'aquest estudi s'ha posat en context la importància de generar simulacions / prediccions d'incendis forestals per afavorir l'extinció d'ells i maximitzar la prioritat dels recursos.

S'han assolit els objectius d'aprenentatge i desenvolupament proposats així com la planificació.

S'han descrit els requeriments necessaris per fer ús de l'eina de simulació FARSITE, amb els diferents arxius que serveixen com a inputs de la simulació com:

- l'arxiu Landscape que defineix les dades del terreny amb diferents capes d'informació com les elevacions, pendents, aspectes topogràfics, models de combustibles, cobertura de copes dels arbres, alçada dels vents, alçada de les copes dels arbres, densitat de les copes dels arbres, d'entre d'altres.
- L'arxiu Weather que indica la humitat o precipitacions en el llarg del temps,

- l'arxiu Adjustment utilitzat per la calibració de la velocitat de propagació,
- l'arxiu Custom Fuel Model per assignar nous models de combustibles,
- l'arxiu Fuel Conversion per generar la conversió d'un model de combustible a unes unitats de combustió,
- l'arxiu Coarse Woody Profile necessari per a la simulació Post-Frontal,
- l'arxiu Wind que conte la informació de vents, d'entre d'altres.

S'han descrit els paràmetres necessaris per generar la simulació com;

- TimeStep que indiquen la quantitat màxima de temps que les condicions en un punt donat s'assumeixen com a constants,
- Visible TimeStep necessari per l'extracció del fitxer de propagació,
- el Perimeter Resolution que defineix l'espai màxim dels punts de projecció al llarg del perímetre del foc o
- la Distance Resolution que defineix la distància màxima que pot recórrer el foc en un cert instant de temps sense agafar nova informació.

S'han descrit les constants d'inici i finalització de la simulació i punts a tenir en compte.

S'han estudiat les variacions de comportament del foc, que permet modificar el comportament del foc com restringir el foc de la copa o modificar els càlculs de la combustió del foc, la importància de la variable Level Distance Checking que provoca diferents comportaments en la forma de simulació i la variable Càlculs Post-Frontal que habilita el model Post-Frontal Combustion.

També s'ha descrit la importància de selecció de la variable Version per al bon ús de la simulació i les variables TablePFInputOption i MapsPFInputOption introduïdes per l'habilitació d'extracció d'informació del model Post-Frontal.

S'ha descrit el model de desenvolupament que s'ha seguit per realitzar l'estudi, com l'ús del codi de FARSITE amb llenguatge C++ per comprendre el funcionament intern com;

- l'ús d'iteracions dintre de la funció FarsiteSimulationLoop amb les variacions de comportament entre la simulació estàndards i les simulacions amb el mòdul Post-Frontal Combustion,
- l'explicació de la partició del TimeStep segons els paràmetres de resolució Perimeter Resolution i Distance Resolution,
- les estructures de dades que utilitza FARSITE per al càlcul i extracció d'informació de la simulació com l'objecte Burn, l'objecte PostFrontal o l'objecte PFrontalData o
- el funcionament de la ruta d'execució que explica de forma general el comportament de FARSITE.

I per altra banda l'ús de l'aplicació de codi tancat de FARSITE per Windows, utilitzat per la comprensió del funcionament i l'extracció de dades.

També s'han descrit les modificacions generades per l'extracció d'informació del codi en C++ i la forma d'utilitzar-les.

Finalment, s'ha generat un estudi computacional superficial sobre la paral·lelització amb OpenMP i una comparativa entre la simulació estàndard, Post-Frontal sense extracció de dades i Post-Frontal amb extracció de dades. I s'ha comprovat la baixa paral·lelització i eficiència produïda amb l'ús de diversos threads i simulacions.

En el llarg d'aquest document també s'han anat deixant punts per continuar desenvolupant en pròxims estudis com l'optimització i paral·lelització en l'extracció de dades del model Post-Frontal Combustion.

9 BIBLIOGRAFIA

- Finney, M.A. (2004). 'FARSITE: Fire Area Simulator—model development and evaluation.' Rocky Mountain Research Statio. Ogden, UT.
- Hal E. Anderson. (1982). 'Aids to Determining Fuel Models For Estimating Fire Behavior.' General Technical Report. Ogden, UT.
- Finney, M.A. (1999). 'Spatial Modeling of Post-Frontal Fire Behavior.' Missoula, MT.
- Scott, J.H. Burgan, R.E. (2005). 'Standard fire behavior fuel models: a comprehensive set for use with Rothermel's surface fire spread model.' Rocky Mountain Research Station. Ogden, UT.
- Nicole M.Vaillant Alan A.Ager. (2013). 'ArcFuels10 Tutorial Supplemental Information.' Pacific Northwest Research Station.
- Mark A. Finney Robert C. Seli Patricia L. 'Modeling Post-Frontal Combustion in the Farsite Fire Area Simulator.' Rocky Mountain Research Statio. Montana.
- Brett H.Davis .(2010). 'Retrospective Fire Modeling: Quantifying the Impacts of Fire Suppression.'
- Index of referenceguide. (Jun 2022). <http://www.fire.org/downloads/farsite/WebHelp/referenceguide>
- (Jun 2022). 'The FARSITE Tutorial - Supplemental documentation for the command line version.'