

MODULO V. SISTEMA DE PREDICCIÓN CAMPBELL

Los factores básicos que determinan la dinámica de los incendios pueden ser muchos, lo que complica el análisis necesario para los profesionales que trabajan en su entorno, aún más bajo las presiones y situaciones estresantes en las que se da.

El Sistema Campbell es sencillo de utilizar al estar fundamentado en principio sobre **tres factores básicos de propagación del fuego**: **ORIENTACIÓN, VIENTO Y PENDIENTE**.

Con este sistema es posible realizar breves análisis a la hora de plantear actuaciones basadas en el comportamiento previsto del fuego.

La lógica utilizada se basa en el sistema de la alineación de fuerzas, entendiendo como tal el grado de coincidencia favorable o desfavorable respecto del frente de fuego de los tres factores mencionados.

De esta manera, si el factor (orientación, viento o pendiente) está a favor sumaremos una alineación y si no está a favor no sumaremos ninguna alineación (exposición soleada +1, viento a favor +1, pendiente positiva +1).

No todos los factores o fuerzas tienen la misma importancia relativa siempre, dependerá de las condiciones reales. Hay que comprender que el sistema debe ser adecuado a la realidad del cada caso, para esto cuantos más conocimientos y experiencia acumulemos mejor adaptación conseguiremos. A modo de ejemplos:

- En los incendios de viento, incendios en los que el factor que más influye en el avance es el viento, la **dirección** y las **características** de este serán las que más peso tendrán en la valoración, y por tanto las más importantes para poder predecir la dinámica del incendio.
- En incendios topográficos, incendios en los que la topografía es la que marca su evolución por la escasa fuerza de los otros factores o por lo agresivo de esta, la **pendiente** será la que más peso tiene en la predicción de su dinámica.

ORIENTACIÓN DE LA PENDIENTE

La influencia de la orientación de la pendiente con respecto a la radiación solar (Figura 1) se basa en el efecto en la temperatura y humedad relativa, y por tanto, en la humedad de los combustibles finos muertos, así como en aspectos microclimáticos que condicionan la vegetación/combustibles con los que nos encontramos. Además, esta orientación condiciona la aparición de vientos locales por movimiento de masas de aire debido al calentamiento diferencial de las laderas, como ya hemos visto en módulos anteriores.

Podemos incidir en que la orientación tiene una incidencia directa sobre:

- La temperatura del combustible.
- El tipo de vegetación.
- Meteorología local.

La exposición/orientación de las laderas al sol:

- Define la posición del combustible en la pendiente respecto del sol y la radiación que emite, indicando fundamentalmente cuando este estará frío o cuando estará caliente.
- Nos destaca según la hora del día cual será la temperatura del combustible, lo que lo hará más inflamable y por tanto más peligroso.
- Algunas de las características demarcadas serán:
 - Diferencias de temperatura: combustible frío o caliente.
 - El combustible al sol alcanza los 55°C.
 - Es normal que se den diferencias de temperatura del combustible fino y muerto de hasta 40°C, entre zonas y orientaciones, en días de verano.

En las siguientes gráficas de curvas horarias, Campbell describe la influencia de la radiación solar sobre las cuatro exposiciones básicas. En ella se indican en abscisas (eje horizontal) las horas solares y en ordenadas (eje vertical) el calentamiento del combustible. Se observan cuatro curvas según las cuatro exposiciones: Sur, Este, Oeste y Norte.

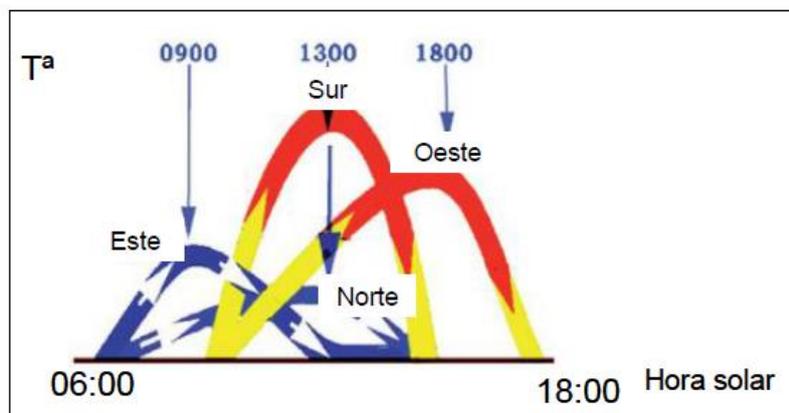


Ilustración 1. Influencia de la orientación de la pendiente con respecto a la radiación solar.

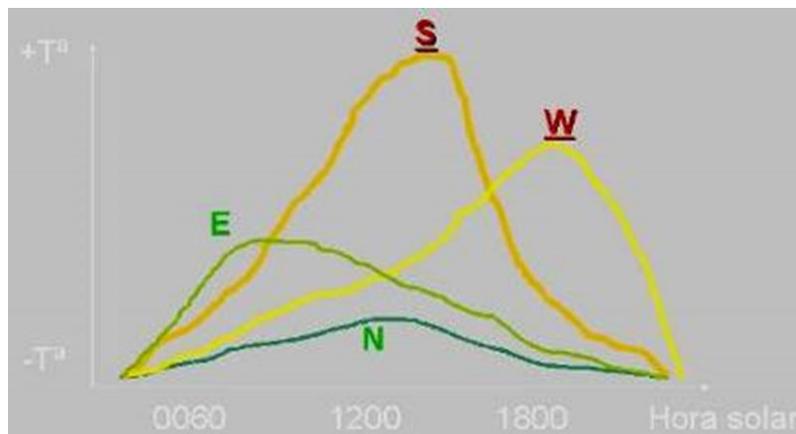


Ilustración 2. Grafica de influencia de la orientación de la pendiente con respecto a la radiación solar, en otro formato.

Exposición ESTE:

Esta ladera se calienta desde que sale el sol, dándose su máximo calentamiento a las 9:00 horas solares (la hora solar va retrasada 1 hora-invierno o 2 horas-verano con la hora oficial).

Exposición SUR:

Las laderas con esta exposición se van calentando desde la media mañana hacia su cenit, ya que el sol da cada vez más directamente sobre ella. La máxima temperatura se alcanza sobre las 13:00 solares, poco después de recibir la máxima radiación a las 12:00 hora solar.

Estas laderas como se puede observar en el pico de la gráfica, son las que más se calientan, en referencia a las demás exposiciones.

Exposición Norte:

Es la exposición que menos se calienta, siendo su máxima en el medio día solar.

Exposición Oeste (O ó W):

Esta exposición, la segunda en calentamiento después de la sur, llega a su máxima temperatura sobre las 18:00 hora solar. Ya que, al estar calentándose durante todo el día se le suma que a esta hora recibe la radiación directamente. Esto hace que el pico de esta exposición sea mayor que el de la exposición Este, aunque la radiación directa solar que reciben sea igual.

De manera general el calor en las distintas exposiciones nos define las curvas de combustibilidad (fig. 1):

- Existen distintas exposiciones y calentamientos a lo largo del día.
- Los combustibles expuestos al sol tienen una temperatura mayor que aquellos que están a la sombra (por ej. 25°C más).
- Los combustibles calientes necesitan de un precalentamiento menor para llegar a ignición, facilitando por lo tanto su inicio como su evolución.
- Los combustibles más calientes tendrán menos humedad, sobre todo los muertos. Es esta manera en las orientaciones expuestas los combustibles tendrán menos humedad.



Ilustración 3. Ortofoto de una zona de Málaga.

Si nos damos cuenta en la foto anterior podemos observar la diferencia de vegetación entre la orientación sur y la norte.



Ilustración 4. Zona de incendio con laderas a solana (izquierda) y umbría (derecha).

Como ejemplo en la imagen es posible observar que en la orientación de solana se dio una carrera con mayores longitudes de llama que en la de la derecha, viéndose a su vez mas daños en el arbolado, pudiendo suponer unas peores condiciones del incendio en el lado de la solana.

PENDIENTE

Este factor es muy importante al favorecer una mayor velocidad de ascenso del frente del incendio, a la vez que sitúa los materiales combustible más cerca de la radiación facilitando su ignición.

Las mediciones científicas en laboratorio han dado diferencias de velocidad del orden de **20 VECES** superiores en el ascenso que en el descenso.



Ilustración 5. Diferencia de intensidad y en este caso de velocidad en un foco de incendio en ladera.

Como es posible ver en la imagen anterior la pendiente nos da una mayor velocidad e intensidad en el frente de fuego.



Ilustración 6. Diferencias de intensidad y velocidad influidas por la pendiente (http://directos.ideal.es/Event/Trafico_Granada?Page=483).

VIENTO

El viento influye:

- **Favoreciendo** la propagación en la dirección que este lleva.
- **Perjudicando** la propagación de los frentes que evolucionan contrarios a él.

Cuan el viento favorece la evolución de un frente se le denomina “**alineado**”.

El viento favorece la evolución acelerando el proceso de combustión.



Ilustración 7. Incendio con una fuerte implicación del viento. (<http://www.latercera.com/noticia/fuertes-vientos-activan-11-incendios-forestales-en-cinco-regiones-del-sur-del-pais/>)

Como se puede observar en la imagen, el viento marca la evolución de este incendio. El viento es observable por la inclinación de la columna de humo, a más inclinación podemos intuir mayor fuerza del viento.

La pendiente y el viento, cuando están a favor contribuyen a la aceleración del proceso de combustión, siendo las variables más influyentes en la velocidad de propagación de los incendios, ya sean de superficie o de copa.

ALINEACIÓN DE FUERZAS

Entendemos como fuerzas el viento, la pendiente y la orientación.

Hablaremos de alineación de fuerzas, en función de los tres factores, así en función del número que intervienen o no tenemos las siguientes alineaciones:

- **0/3** Fuera de alineación.
- **1/3** Poca alineación.
- **2/3** Media alineación.
- **3/3** Plena alineación.

FACTOR	A FAVOR (+)				EN CONTRA (-)			
VIENTO	+	+	+	-	+	-	-	-
PENDIENTE	+	+	-	+	-	+	-	-
ORIENTACIÓN	+	-	+	+	-	-	+	-
ALINEACIÓN	plena	media	media	media	poca	poca	poca	nula
	3/3	2/3	2/3	2/3	1/3	1/3	1/3	0/3

Ilustración 8. Tipos de alineación en función del viento, pendiente y orientación

Modo de uso

Este sistema es sencillo de utilizar con los factores básicos que hemos visto (orientación, viento y pendiente).

Para utilizarlo primero debemos elegir un frente determinado (flanco, cabeza, cola,...) ya que diferentes partes del incendio pueden tener evoluciones distintas.

A partir de la elección del frente, el razonamiento que sigue el sistema Campbell está basado en la ALINEACIÓN DE FUERZAS, o lo que es lo mismo la alineación de factores. En resumidas cuentas, en estudiar el grado de coincidencia favorable o desfavorable de los factores o fuerza con esa parte del incendio. Así, las predicciones de los posibles cambios de comportamiento pueden hacerse observando la fuerza y la alineación que los factores valorados tomarán en ese punto al paso del frente.

Para este curso como primer acercamiento a estos conceptos buscaremos entender las fuerzas que actúan y su alineación, para predecir los riesgos que nos podemos encontrar en cada zona.

En su inicio el sistema Campbell como se ha indicado se basa en tres factores que nos proporcionan tres tipos de alineaciones:

Frente con plena alineación

Si la pendiente, la orientación y el viento van a favor de la evolución del incendio, nos encontraremos un frente con **plena alineación**, 3/3.

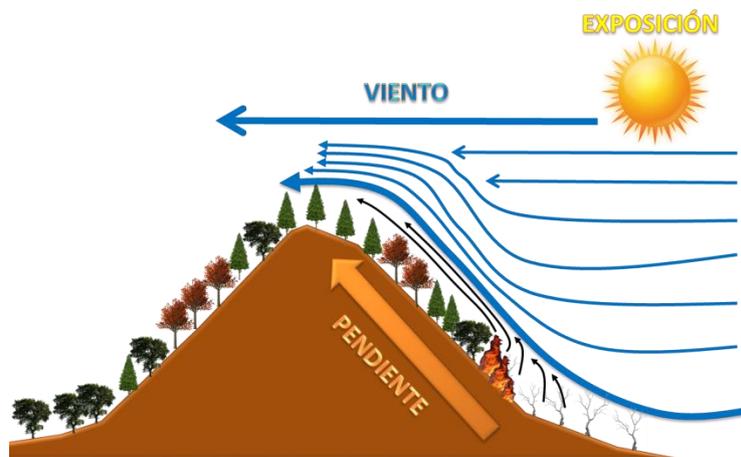


Ilustración 9. Frente de incendio con plena alineación de factores.



Ilustración 10. Fotos de frentes con plena alineación

Frente con media alineación

Si un factor no favorece la evolución del incendio nos encontraremos con un ejemplo de **media alineación**, 2/3.

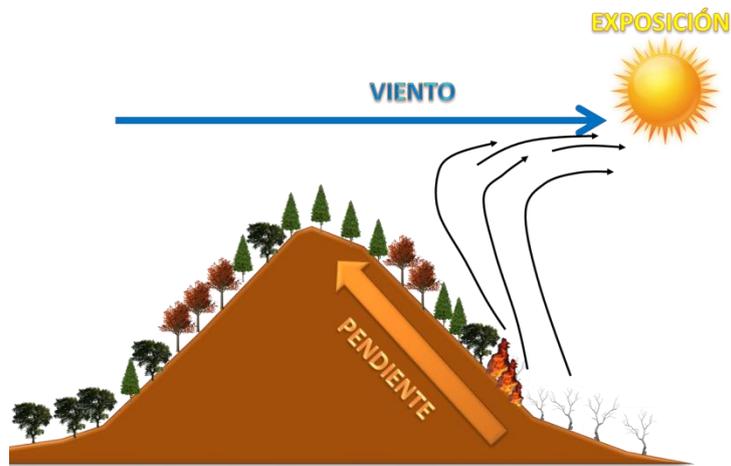


Ilustración 11. Frente de incendio con media alineación de factores.

Frente con poca alineación

Si solo uno de los factores está alineado con la evolución del flanco del incendios lo consideramos con **poca alineación**, 1/3.

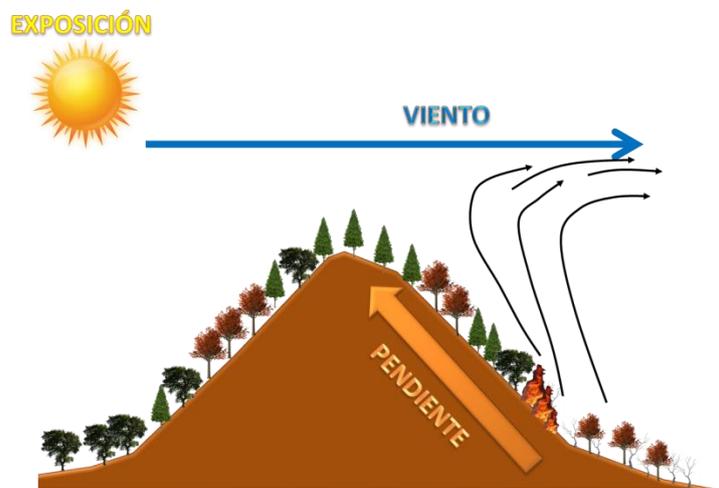


Ilustración 12. Frente con poca alineación.

Frente con nula alineación

Si ningún factor favorece la evolución del incendio, por ejemplo la imagen siguiente que representa un frente que acaba de cruzar una cumbre, se considera **fuera de alineación**, 0/3

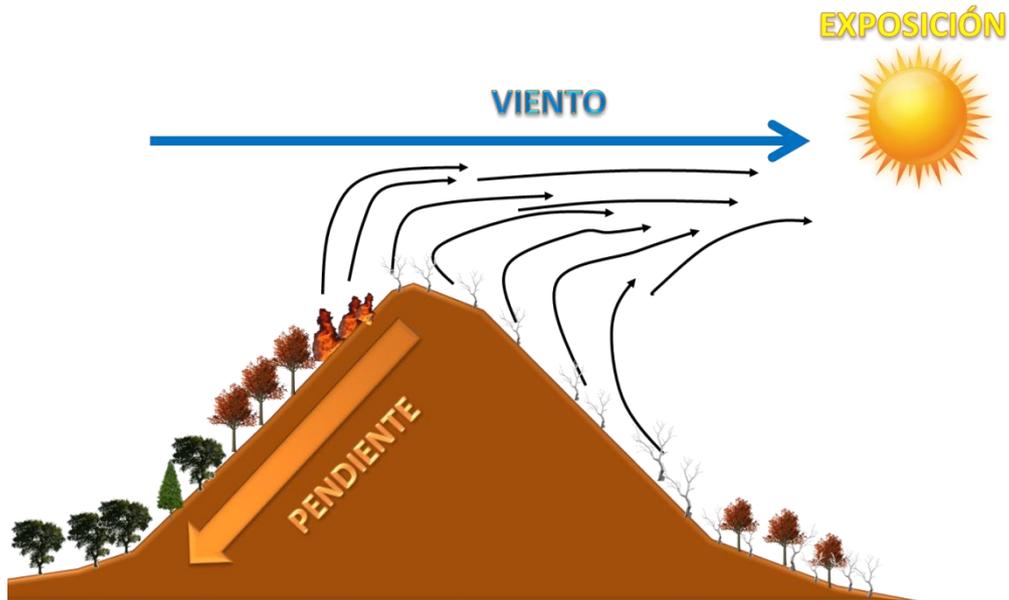


Ilustración 13. Imagen de un frente con nula alineación.



Ilustración 14. Foto de un frente con nula alineación.

Una vez vista la teoría pasamos a estudiar el sistema de forma más práctica diferentes tipos de alineaciones:

Alineación en una sola ladera

El ejemplo más sencillo es el de un fuego o frente en una sola ladera. Para analizarlo utilizaremos la siguiente imagen:

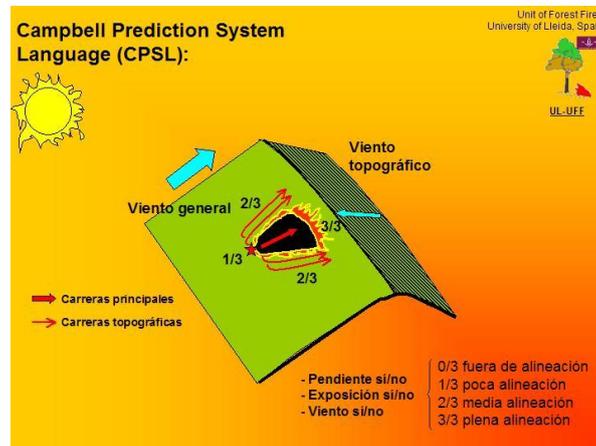


Ilustración 15. Ejemplo de análisis de un incendio en una sola ladera por Sistema Campbell.

Análisis de la pendiente

Si la pendiente favorece el avance se suma “1”, si no “0”:

- En la cabeza, parte de arriba del incendio, la pendiente favorecerá la evolución del incendio por lo que se suma 1.
- En la cola parte de abajo la pendiente dificulta la evolución por lo que se cuenta “0”.
- En los flancos, derecho e izquierdo, el fuego al evolucionar encuentra combustible donde quemar y evolucionará a favor de la pendiente por lo que se cuenta “1”.

Análisis del viento

Si el viento favorece el avance del frente estudiado se suma “1”, si no “0”:

- En la cabeza, parte de arriba del incendio, el viento favorecerá la evolución del incendio por lo que se suma 1.
- En la cola parte de abajo la pendiente dificulta la evolución por lo que se cuenta “0”.
- En los flancos, derecho e izquierdo, el viento no favorece la evolución hacia los lados del fuego por lo que se suma “0”.

Análisis de la orientación

Si la orientación favorece el avance del frente al calentar los combustibles y el entorno estudiado se suma “1”, si no “0”:

Al estar todo el incendio en la misma ladera todos los frentes tienen el mismo valor con respecto a la orientación. En el caso que nos ocupa el sol del dibujo indica que está insolado por lo que se sumará "1".

Deducción global

De esta manera sumando los aspectos tendremos cuatro indicaciones en este ejemplo (cabeza, flanco izquierdo, flanco derecho y cola).

La indicación de alineación se realiza indicando la suma de las alineaciones en relación con las posibles, y como estamos usando solo tres factores las alineaciones posibles son tres. De esta manera, las alineaciones del ejemplo serán:

- La cabeza 3/3 Plena alineación. (tres alineaciones de las tres posibles)
- Los dos flancos tienen la misma, 2/3 Media alineación. (dos alineaciones de las tres posibles)
- Y la cola solamente tendrá 1/3 Poca alineación ya que solo la orientación favorece su evolución. (una alineación de las tres posibles)

Una vez vistas las alineaciones de este incendio podemos tomar decisiones sobre la seguridad en su entorno, entendiendo que es solo una estimación que puede cambiar en cualquier momento, a manera de ejemplo podemos teorizar lo siguiente:

- En este caso podemos deducir que la **cabeza** está muy potenciada por los factores principales estudiados, y por tanto, que es razonable pensar que tendrá una mayor intensidad y velocidad. Por lo que las zonas afectadas por su posible evolución (las partes por encima de esta) son zonas muy peligrosas, pudiendo catalogarlas como "zona de hombre muerto".

La **Zona de Hombre Muerto**¹ se define como toda superficie que se encuentra por delante de los frentes del incendio con posibilidad de atrapar al personal que allí se pueda encontrar. Valorándose principalmente las consecuencias producidas por humo, radiación o contacto directo con la llama (quemaduras y asfixia). Podemos deducir que serán zonas en las que no debemos permanecer, salvo circunstancias valoradas por profesionales con gran experiencia con el beneplácito de la dirección del incendio.

- En los **flancos** encontramos al principio alineaciones 1/3 ya que el viento no facilita la evolución inmediata del flanco hacia el lado, le llega perpendicular, ni la pendiente, pero como estamos estudiando las posibles evoluciones en relación con la seguridad, cualquier evolución por pequeña que sea hacia los lados encontrará en su zona superior combustible por arder favorecida por el viento y/o la pendiente, pasando rápidamente a una alineación 1/3 a una 2/3 o 3/3.

En estos flancos aun con menos riesgo, en principio, su comportamiento puede cambiar rápidamente y colocarnos en una zona peligrosa en cualquier momento. Por lo que, si

¹ Cheney, P., Gould, J., & McCaw, L. (2001). The dead-man zone—a neglected area of firefighter safety. Australian Forestry, 64(1), 45-50.

accedemos o nos encontramos en estas zonas, debemos mantener continuamente el OCELA, y como siempre que estamos en un incendio, con un control constante de su evolución. Es una zona con un nivel moderado o bajo de seguridad, influyendo mucho la posibilidad de evoluciones por debajo de nuestra posición.



Ilustración 16. Frente con media alineación.

- La **cola** siguiendo con el análisis es la parte en principio menos peligrosa ya que solo mantiene una de los tres factores a favor del avance, la orientación. Aun así debemos tener en cuenta que si evoluciona hacia cualquiera de los lados podrá generar un nuevo frente 3/3, por lo que debemos controlarla constantemente, aun así las zonas menos peligrosas a priori son las que están en su avance por debajo de la cola.

El personal de extinción suele intervenir primero en la cola del incendios para así una vez controlada esta, la menos peligrosa ir ascendiendo por los flancos, sin peligro de tener fuego por debajo, hasta extinguir la cabeza. Esta es la mejor forma teórica de extinguir un fuego forestal, pero cómo es posible entender, son las circunstancias reales las que determinarán las tácticas y estrategias en la extinción de un incendio.

Hay que entender que cualquier cambio en los factores cambiará las alineaciones, por ejemplo una variación de viento cambiará automáticamente la alineación de factores y se tendrá que reevaluar las alineaciones.

Alineación en cambio de ladera

Uno de los conceptos importantes del sistema Campbell es el de **Punto de Inflexión**, que podremos definir como puntos donde cambia la alineación, por ejemplo: al pasar una cumbre, o un valle. Así, los incendios cambian su comportamiento al perder o ganar su alineación con algún factor. Dentro de estos, si el punto de inflexión es previsible que pase de un comportamiento agresivo a uno menos agresivo, lo que denominaremos **“a mejor”**, y si el punto crítico

previsiblemente empeorará la evolución haciendo la evolución del incendio más agresiva, lo denominaremos “a peor”, llamándolo a su vez “**punto crítico**” por el riesgo que tiene.

A modo de ejemplo podemos observar en la siguiente imagen un *punto de inflexión* por cambio de ladera, cambio *a mejor*, en la evolución del incendio en la que el alumno puede deducir su análisis con los conocimientos ya vistos.

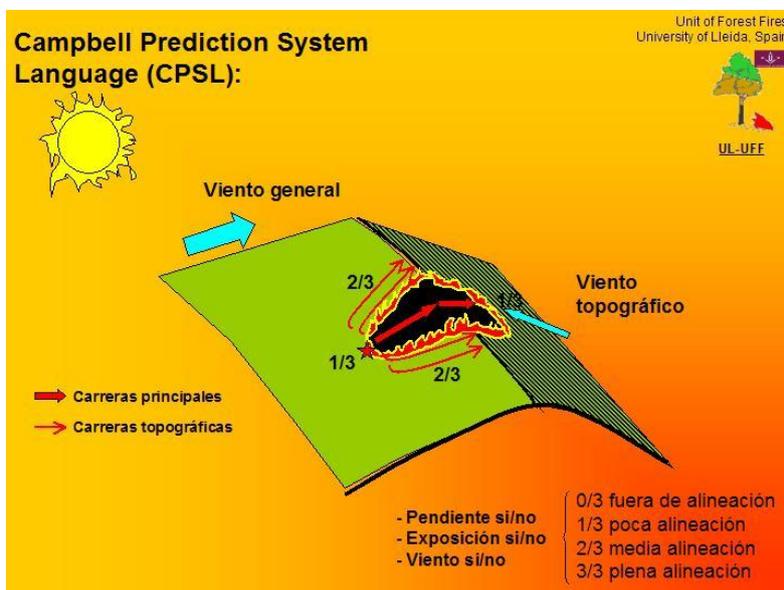


Ilustración 17. Ejemplo de análisis de un incendio en cambio de ladera “a mejor” por Sistema Campbello.

Alineaciones en varias laderas

En esta situación ejemplificada, el alumno puede ver como varían las alineaciones en un barranco o valle con dos laderas, favoreciéndose la evolución en una más que en otra.

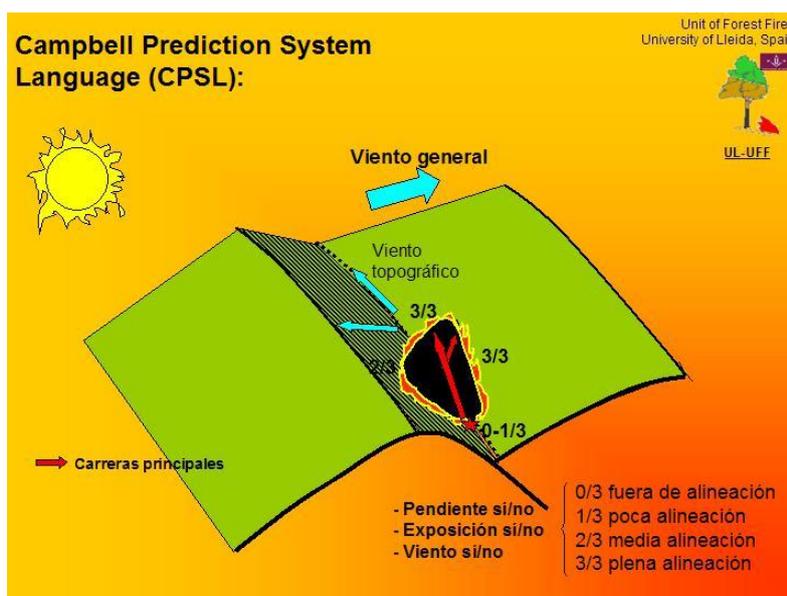
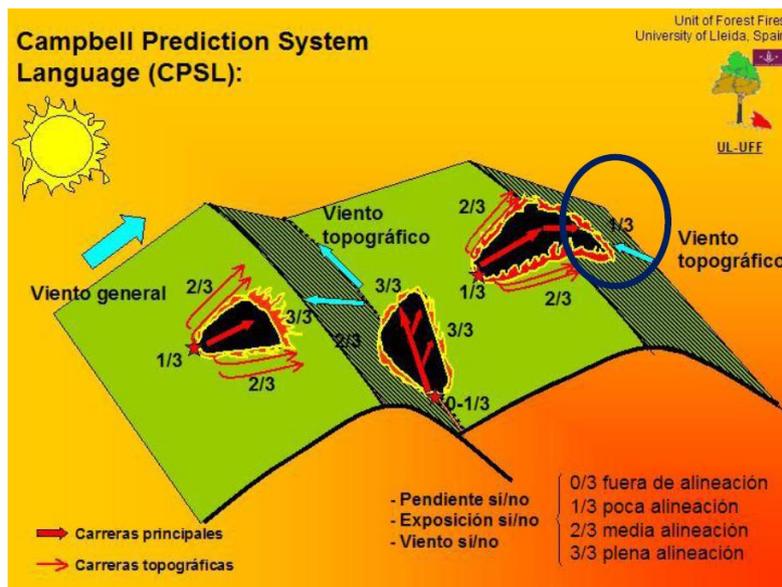
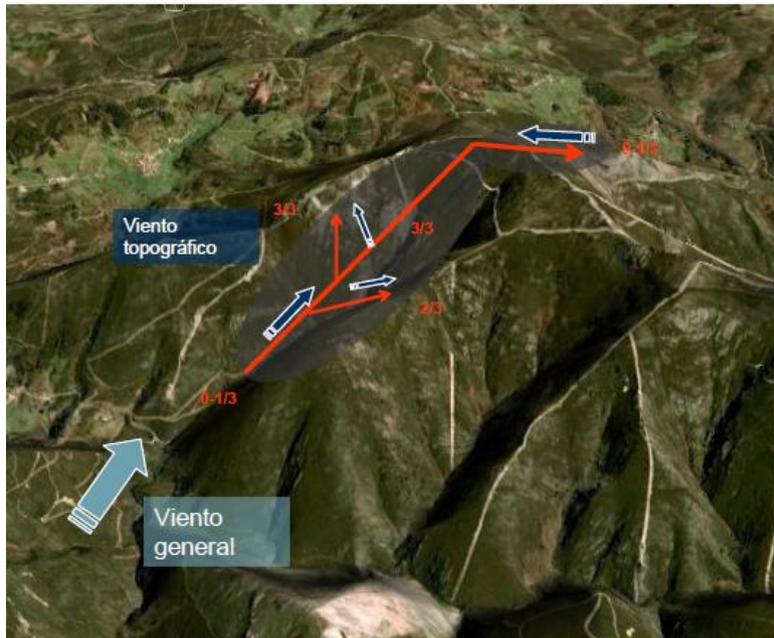


Ilustración 18. Ejemplo de análisis de un incendio encuadrado entre dos laderas.

Otros ejemplos



Incremento en el número de factores

Este sistema se basa principalmente en los tres factores estudiados, pero como se ha visto en módulos anteriores existen más factores que intervienen en la evolución del incendio.

Este sistema permite a los profesionales ir aumentando los factores que incluye en su análisis, según suma conocimientos y experiencia. Llegando de forma organizada a los análisis complejos que suelen hacer los profesionales especialistas en estos temas con dedicación, estudio y experiencia. Podemos decir que es un sistema que nos ayuda a ir entendiendo la dinámica del incendio de una manera adaptada a los conocimientos y experiencias de cada profesional.

Curso de dinámica del incendio foresta_2017

Un ejemplo de factores que pueden ir incluyéndose en el análisis según nuestro nivel de conocimientos y experiencia, es el siguiente cuadro:



Ilustración 19. Gráfico con los factores principales ampliado.

De esta manera iremos ampliando n/4, n/5, n/6..., llegando en el diagrama anterior a n/9. Siendo muy importante en el análisis dotar de rangos de importancia a cada factor, pero eso lo dejaremos para futuras formaciones o autoformaciones.

Lenguaje Campbell

Ya se han definido los conceptos de:

- Factor.
- Alineación de fuerzas.
- La situación va "a mejor" o "a peor".
- Punto de inflexión.
- Punto crítico.
- Zona de hombre muerto.

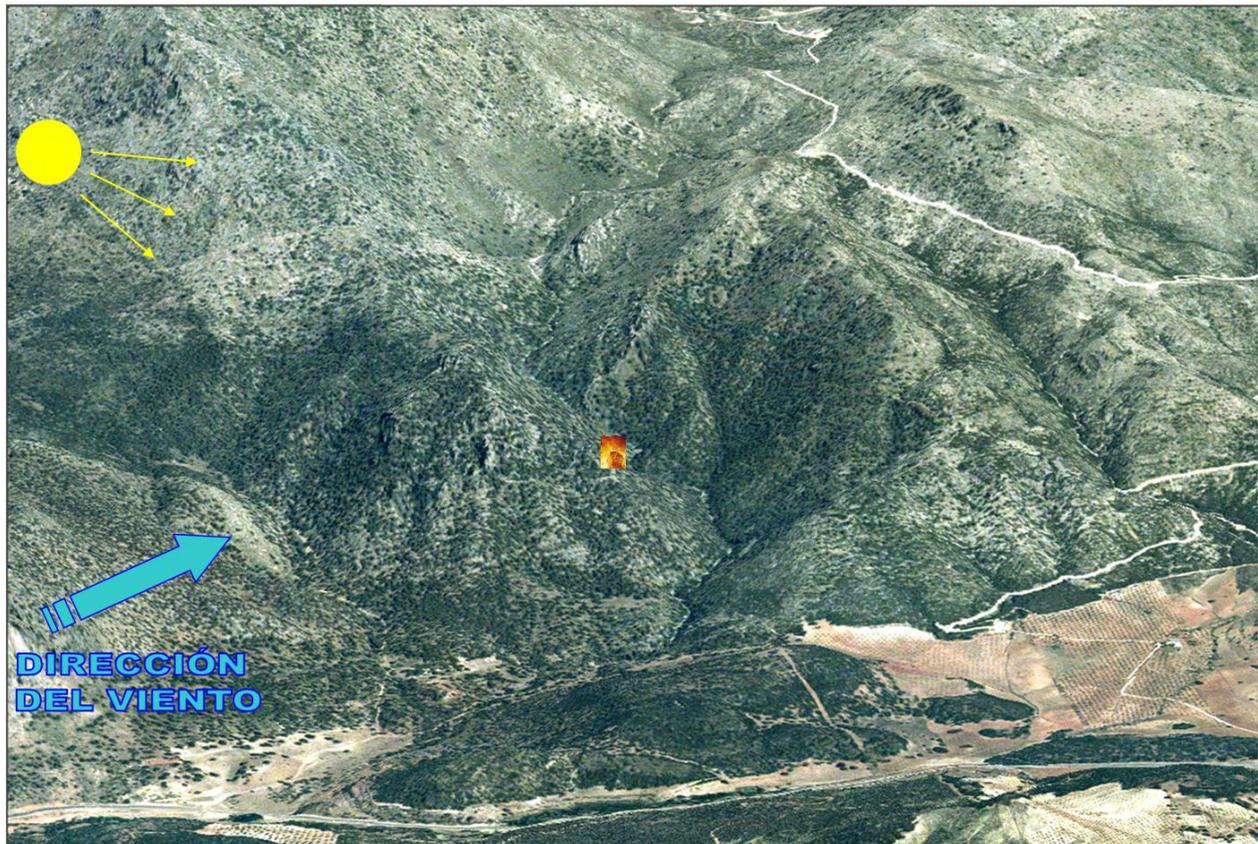
A estos podemos añadir los **Tipos de Fuegos**:

- **Conducidos por viento.** Fuegos en los que el factor que marca su evolución principalmente es el viento, por inexistencia de los demás factores (sin pendiente u orientación) o por que la fuerza del viento minimiza los efectos de los demás componentes.

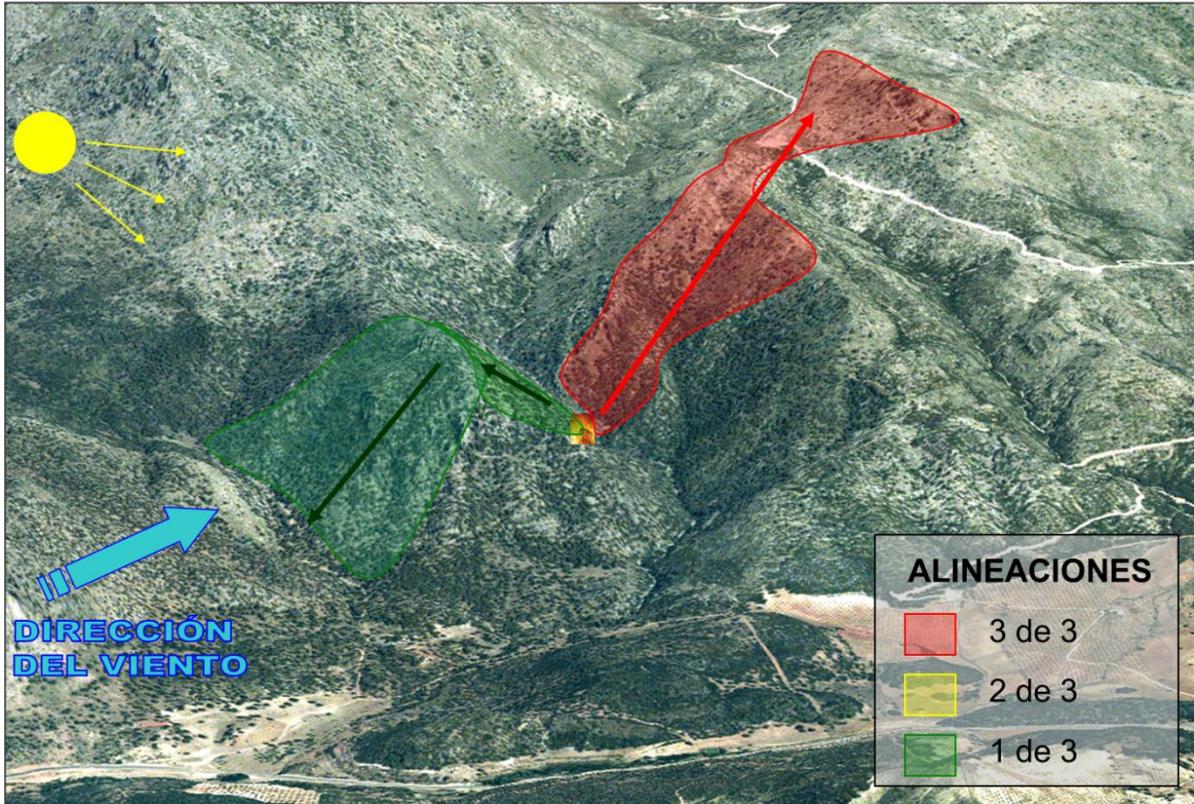
- **Topográficos.** Fuegos en los que el factor que marca su evolución principalmente es la topografía, la pendiente principalmente, por inexistencia de los demás factores (sin viento u orientación) o por que la topografía influye mucho más que los demás, generando sus propias condiciones locales.
- **De combustible.** Fuegos en los que es el combustible el que marca la dinámica del incendio.

Ejemplo de análisis

Condiciones iniciales



Análisis cercano



Análisis ampliado

