

Selección de píxeles e imágenes adecuados para el control del estado de la vegetación con satélite NOAA para el seguimiento del riesgo de incendio forestal

Marc Coromines¹, F. Xavier Castro, Josep M. Borbón²

Resumen

El conocimiento del estado de la vegetación forestal es una necesidad para evaluar el riesgo de incendio forestal durante todo el año. El seguimiento por satélite es una alternativa razonable tecnológicamente y de gran cobertura a un precio económico. Es por ello que en las dos últimas décadas se ha difundido su uso entre los gestores del riesgo de incendio forestal. De todas formas, la equivalencia entre los datos ofrecidos por el satélite NOAA y los muestreos de vegetación son satisfactorios, básicamente, en áreas de vegetación homogénea, que se reducen, en clima mediterráneo, a zonas de cultivo. En estas zonas se cumple el requisito de una variabilidad territorial mínima. Esta limitada variabilidad podemos sintetizarla en tres características: a) la superficie es bastante llana, b) son zonas homogéneas de vegetación en base a tipología de plantas presentes (la misma especie, incluso la misma variedad) y c) son zonas homogéneas de vegetación respecto a la edad de las plantas. En zonas forestales, estos supuestos son infrecuentes y las correlaciones entre los datos del satélite y los muestreos de campo empeoran notablemente. Por otro lado, aún después de haber filtrado las zonas con nubes, no todas las imágenes tienen la misma calidad y no son igualmente válidas para observar la vegetación. Se ha desarrollado una metodología para encontrar, en un territorio dado, aquellas imágenes de satélite y aquellos píxeles que pueden dar una mejor referencia del estado de la vegetación en cada momento. Esta metodología está basada en radiometría de superficie para la selección de imágenes y en homogeneidad de píxel para diversos parámetros. En el caso de Cataluña, se ha aplicado para una serie de 5 años de datos del satélite NOAA, obteniéndose como resultado que se consideran píxeles de referencia entre el 1 y el 5 por ciento del total de píxeles forestales. Con ellos se pretende hacer un seguimiento informativo del estado de la vegetación forestal. Este trabajo se ha realizado dentro del proyecto GRINFOMED+MEDIFIRE del programa Interreg 3B MEDOCC.

Introducción

El seguimiento del riesgo diario de incendio forestal implica el seguimiento de los elementos más dinámicos de los componentes del riesgo de incendio forestal: la meteorología y del estado de la vegetación. Así como las estaciones meteorológicas automáticas han resultado ser la pieza clave en el seguimiento de la meteorología, el satélite está llamado a ser el intérprete del estado de la vegetación. Esto es así debido a que las otras alternativas o bien son poco viables, o bien son métodos indirectos. Este es el caso de del muestreo de la vegetación o la valoración del estado de las plantas a través de índices meteorológicos de riesgo.

¹ Licenciado en Ciencias Ambientales.

² Servicio de Prevención de incendios forestales. Departament de Medi Ambient i Habitatge. Generalitat de Catalunya

El objetivo de este proyecto es obtener una información detallada y dinámica (diaria) sobre el estado de la vegetación para relacionarlo con el riesgo diario de incendios forestales

Antecedentes

El seguimiento del riesgo de incendios y del estado de la vegetación por medio de índices derivados de imágenes de satélite es complejo. Hay problemas como la mala relación entre la calidad geométrica y la resolución temporal de los sensores o la gran diversidad vegetal y paisajística del territorio catalán.

Hasta ahora, el seguimiento convencional del riesgo a partir del análisis de las series de los índices de vegetación en todo el territorio no se ha mostrado una tarea efectiva. La relación entre el contenido hídrico de la vegetación (de algunas especies y localizaciones) y los valores de los índices de imágenes de satélite (NOAA-AVHRR y Landsat) es mala, a pesar de, en muchos casos, haber escogido los territorios muestreados por su homogeneidad.

Las agrupaciones de imágenes de días consecutivos (7 o 10 días típicamente) permiten minimizar la variabilidad diaria de las observaciones de NOAA debidas, por ejemplo, a la heterogeneidad intrapíxel y a calidad radiométrica, pero se corre el riesgo de ignorar episodios de estrés hídrico de las plantas que suelen durar, normalmente, menos de una semana.

Metodología

Imágenes NOAA y índices utilizados

En el estudio se han utilizado las series de datos NOAA correspondientes al periodo 2002-2005, obtenidas y tratadas por el Centro Tecnológico Forestal de Cataluña.

Los índices derivados de NOAA son los valores de referencia para el seguimiento del comportamiento de la vegetación a lo largo del tiempo. Se han utilizado los siguientes índices derivados:

- *NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)*
- *Ts* (Temperatura de superficie): derivada de los canales térmicos de NOAA, se relaciona con la temperatura de la superficie terrestre.
- *NDVI/Ts*: el cociente entre estos dos índices se ha asociado tradicionalmente a parámetros de déficit hídrico de la vegetación. La componente *Ts* acentúa la estacionalidad del índice y, al mismo tiempo, actúa como filtro por el hecho de que utiliza dos canales más del espectro de NOAA para el cálculo.

La serie de datos relativamente corta (4 años) y la dificultad de analizar series temporales complejas, obligan a utilizar agrupaciones (manteniendo siempre los datos de origen). Para ello, hemos utilizado el análisis de percentiles de índices como valores de comportamiento de referencia. Estas agrupaciones pueden ser tratadas estadísticamente (con un mínimo de registros) y permiten comparar los distintos años.

Homogeneidad del píxel sobre el terreno

Uno de los principales obstáculos a la hora de utilizar las imágenes NOAA-AVHRR (y en general de otros satélites) reside en la heterogeneidad de la superficie terrestre registrada bajo el valor de cada píxel. Esta variabilidad espacial (debida fundamentalmente a la cobertura vegetal y a la orografía) explica los mejores resultados obtenidos en estudios para el seguimiento del estado de la vegetación en áreas homogéneas (estepas) y, en cambio, las imprecisiones en los cálculos y la

variabilidad temporal de las medidas a medida que aumenta la complejidad de las formaciones vegetales y del relieve.

Esta limitación intrínseca a los sistemas de imágenes satélite, se produce tanto con sensores de resolución media (NOAA, MODIS) como en sensores de alta resolución (Landsat TM y ETM+), aunque la superficie registrada por cada pixel disminuye de manera considerable. Esto se debe principalmente a dos factores:

Por una parte, el aumento de la precisión del sensor garantiza un ajuste más alto a una descripción básica de la superficie (por ejemplo de tipologías de vegetación) pero lleva implícito unos requerimientos elevados de esfuerzo descriptivo de estas unidades de vegetación. Es decir, la descripción de la vegetación presente en la superficie equivalente a un pixel de NOAA, se puede hacer, por ejemplo, con el mapa de usos del suelo derivados de Landsat (y eso ya nos da una idea aproximada de la diversidad implícita en NOAA). En cambio, si lo que queremos es describir la homogeneidad o variabilidad de los píxeles de Landsat, nos hará falta aumentar tanto la precisión geométrica como descriptiva de los datos de vegetación.

El diseño del sensor, no garantiza una lectura sobre un punto fijo e invariable sobre el territorio ni una unidad de superficie fija, sino que varía en función de la posición de la cámara y de la distancia del sensor a la superficie terrestre (en base al ángulo entre la posición del satélite en su órbita y la porción de superficie registrada). De hecho, y en este sentido, todos los sensores especifican la precisión al nadir (satélite situado en la vertical de la superficie registrada).

A pesar de la dificultad de medir el peso de estos factores en el comportamiento de los índices de vegetación derivados de satélite se ha relacionado de manera positiva la calidad de la descripción del comportamiento de la vegetación a partir de imágenes con la homogeneidad de la superficie terrestre registrada. Un ejemplo muy claro de esta relación se produce en superficies continuas mono-específicas (por ejemplo de cultivos cerealísticos de secano) donde se observa perfectamente la estacionalidad de los índices derivados de NOAA, y en cambio se minimizan en gran medida las oscilaciones diarias propias de la heterogeneidad espacial.

La principal dificultad en Catalunya radica en la imposibilidad de encontrar píxeles forestales (o superficies equivalentes) completamente homogéneos y mono-específicos. Más bien, la situación típica es la contraria: la diversidad orográfica y de recubrimiento vegetal es muy grande.

Se ha analizado la heterogeneidad de los píxeles de NOAA según datos de usos del suelo, caracterización de las masas forestales, orografía y sensores de satélites de alta resolución.

Los resultados más interesantes se han obtenido por medio de los usos del suelo de Landsat, de datos de inventario forestal (Mapa Forestal de España, MFE50) y del mapa de Hábitats de Cataluña. De hecho, una descripción esmerada de la vegetación lleva implícita la información biogeográfica (orografía y clima).

Para describir la heterogeneidad de la vegetación se ha utilizado el índice de diversidad de Shannon y un nuevo índice al que llamamos SUMA.

Índice de Shannon

Con el fin de integrar la diversidad paisajística de usos en un único indicador, se ha utilizado el Índice de diversidad de Shannon, que viene determinado por la ecuación:

$$H = \sum (P_i * \ln (P_i))$$

Donde P_i es la probabilidad de encontrar cada uso o tipología vegetal (i) en el píxel. En este caso P_i es la superficie ocupada por el uso (i) en relación a la superficie total del píxel. Los valores de H crecen a medida que aumenta la diversidad, entendida tanto como número de usos presentes en el píxel como la homogeneidad en el reparto de superficies entre usos. De esta manera, H se aproxima a 0 si hay un solo uso en el píxel o bien si uno de los usos ocupa la gran mayoría de la superficie.

Los píxeles de NOAA que tienen más interés son aquéllos que presentan valores de H más bajos.

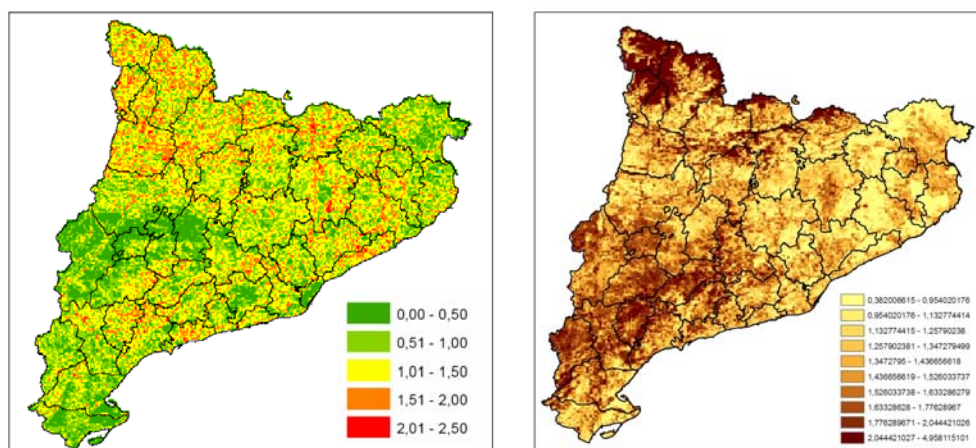


Figura 1 – Distribución de SHANNON de hábitats y SUMA

Indice SUMA

Se ha utilizado la información derivada de sensores de alta resolución (Landsat TM y ETM+) para medir la diversidad del territorio. Esto se ha hecho atendiendo a las similitudes funcionales entre NOAA y Landsat, que registran datos en bandas similares del espectro. Se ha utilizado un índice de homogeneidad denominado SUMA, y que resume la variabilidad en las lecturas para cada una de las bandas espectrales de Landsat. Se han tratado estadísticamente las series de imágenes Landsat TM y ETM+ disponibles entre el 2002 y el 2005. Se ha utilizado el análisis de la variabilidad observada en los diferentes canales de Landsat como aproximación a la diversidad del territorio y paso previo al cálculo de SUMA.

Se han utilizado los datos correspondientes a los canales visibles 1, 2 y 3, infrarrojo próximo 4, infrarrojo medio 5 y canal térmico 6, sin corrección radiométrica (DN) con el fin de conservar la información percibida por los sensores y para mantener la información relativa a los diferentes grados de iluminación según orografía y hora de la toma de la imagen Landsat.

Los resultados muestran la desviación típica media observada para cada píxel equivalente NOAA a lo largo de la serie 2002-2005 para los valores de DN de cada canal. Valores bajos de desviación típica media en la serie indican un comportamiento homogéneo de cada canal a lo largo del territorio y una evolución similar de todos los píxeles Landsat incluidos en el equivalente NOAA a lo largo del año.

A partir de los cálculos parciales obtenidos para cada canal, se ha calculado el índice SUMA que pondera los valores de variabilidad observados para cada canal.

Para ello se ha escalado la variabilidad observada para cada canal en valores del 0 al 1. Se ha realizado posteriormente la suma entre canales, de manera que el valor deseable para el píxel NOAA homogéneo es de 0 y el máximo posible es 6 (1 para cada canal considerado).

Homogeneidad vegetal de los píxeles de NOAA

En principio, se utilizó el Mapa de Usos del Suelo de Landsat (ICC, 2002) pero la resolución temática que aporta es insuficiente para la determinación de la heterogeneidad de los píxeles NOAA, sobre todo para aquellos usos que tienen más interés desde el punto de vista del riesgo de incendios. Las formaciones forestales quedan reducidas a 4 (máximo 5) categorías de usos: bosques de planifolios, de aciculifolios, de esclerófilas, matorrales y prados. La diversidad intrínseca que contienen estas categorías obliga a recurrir a otras fuentes de información más detalladas.)

Una posible mejora a la interpretación de la heterogeneidad de las masas forestales la aporta el Mapa Forestal de España (MFE50, MIMAM 2002) que describe la especie dominante. Los resultados son positivos pero el MFE 50 cuenta con las limitaciones de no contemplar datos del sotobosque y basarse en inventarios de densidad baja (de manera que el método de asignación de etiquetas en los polígonos no es suficientemente explícito).

Mapa de hábitats y índices derivados

Como alternativa a las dos fuentes propuestas anteriormente, se ha utilizado el Mapa de Hábitats de Cataluña, realizado por el Departamento de Botánica de la UB, en colaboración con el Departamento de Medio Ambiente que describe con detalle los hábitats y formaciones vegetales representativas y singulares del territorio catalán.

Las 250 categorías de hábitats que se presentan como vegetación dominante en los diferentes píxeles del ámbito catalán dan una idea bastante aproximada de la diversidad vegetal del territorio.

La principal mejora que supone la introducción de esta fuente de información es la posibilidad de discriminar las masas forestales en formaciones vegetales bastante detalladas, según las especies arbóreas principales. Así mismo también discrimina la composición básica y la estructura del sotobosque. De esta manera, la homogeneidad de los píxeles se puede caracterizar mediante medidas de la superficie total de píxel recubierta por un solo hábitat y por la complejidad de la propia leyenda del hábitat. Por ejemplo, un bosque de *Pinus nigra* sin sotobosque se podrá considerar más homogéneo que un bosque mixto de pino y roble con sotobosque de *Rosmarinus officinalis* y *Erica sp.*. Por otro lado, la utilización de este mapa introduce dificultades:

a) un aumento general de los valores del índice de Shannon debido a la existencia de más categorías de vegetación.

b) la necesidad de trabajar con muchas tipologías de vegetación y una representatividad territorial de éstas más baja. Más categorías de hábitats se presentan como dominantes en los diferentes píxeles y, en consecuencia, el número de píxeles disponibles para cada categoría es menor.

c) un sistema específico de recogida de datos y digitalización del mapa de hábitats. Mientras que el mapa de usos del suelo responde a una metodología estándar y reproducible de obtención de la información, el mapa de hábitats depende de

inventarios e interpretación sobre ortofotomapa de los límites de vegetación y del recubrimiento de cada hábitat.

d) La discriminación entre primer, segundo y tercer hábitat para cada mancha de vegetación (en función del recubrimiento observado de cada hábitat) es un parámetro interesante para medir la heterogeneidad del territorio. Pero, por otro lado, dificulta en gran medida extraer un índice de diversidad único. En este sentido, con el fin de complementar la descripción de cada pixel en términos de diversidad, se han añadido al índice de Shannon los siguientes indicadores:

Porcentaje de recubrimiento del primer hábitat -- El mapa de hábitats de Cataluña lleva asociados diversos hábitats para cada polígono de vegetación, especificando qué recubrimiento aproximado presenta cada uno. Para nuestro caso, los píxeles equivalentes de NOAA que más nos interesan son aquéllos que presentan 1 solo hábitat recubriendo la superficie, y por lo tanto, menor diversidad. Por este motivo, se ha calculado el recubrimiento medio del primer hábitat (de cada polígono) como indicador complementario en el índice de diversidad de Shannon. De esta manera, valores de recubrimiento medio próximos al 100 por ciento indican una baja presencia de 2º y 3º hábitat y por lo tanto más homogeneidad.

En la figura siguiente se muestra esquemáticamente la distribución de los valores de recubrimiento medio a lo largo del territorio.

Superficie ocupada por un solo hábitat—Se ha calculado la superficie de pixel equivalente de NOAA ocupada por más de un hábitat (para cualquier valor de recubrimiento) y, por defecto, la superficie ocupada exclusivamente por 1 hábitat. De esta manera, excluimos la diversidad debida exclusivamente a segundos y terceros hábitats, pues asumimos que la variabilidad de las lecturas de NOAA no se debe tanto a la cantidad de diversidad sino a la calidad de la homogeneidad.

Combinación de índices de variabilidad intrapíxel

La utilización conjunta de los diferentes indicadores indicados es la opción más razonable para distinguir a priori los mejores píxeles. En este sentido, el indicador principal, el Shannon de hábitats, irá acompañado del porcentaje de recubrimiento medio del primer hábitat y de la superficie representada por una sola categoría de hábitats, como parámetros de calidad del pixel. El índice SUMA se utiliza paralelamente para una clasificación de los valores similares de Shannon.

Así, podemos decir que la calidad de un pixel equivalente de NOAA con respecto a variabilidad intrapíxel es función de 4 subíndices:

$$VI = f(\text{Shannon hábitats}, \text{pctREC}_{1\text{er hab}}, \text{SUP}_{1\text{ solo hab}}, \text{SUMA})$$

Calidad radiométrica de las imágenes NOAA

La variabilidad temporal en los índices de vegetación puede ser debida en parte a diferencias en el estado de la atmósfera, y por lo tanto, de la calidad de las imágenes registradas con NOAA. Esta variabilidad puede explicarse por la presencia de neblinas o nubes bajas, una baja transparencia atmosférica o la hora concreta de grabación de la imagen, que comporta unas condiciones de luz determinadas. Se trata de averiguar la influencia que puede tener el estado de la atmósfera en la calidad de las imágenes y de los índices derivados de NOAA.

Para la estimación de la nitidez atmosférica, se ha utilizado los datos horarios de radiación solar incidente de las estaciones meteorológicas automáticas del Servicio

Catalán de Meteorología. Se han utilizado un total de 135 estaciones meteorológicas automáticas que han pasado los filtros de calidad (eliminación de registros erróneos y contraste de polinomios).

Temperatura en estaciones automáticas y Ts

Se han contrastado los datos de temperatura del aire obtenidos en el conjunto de estaciones meteorológicas automáticas con la temperatura de superficie (Ts) calculada por medio de NOAA. Todo ello para diferentes valores de radiación real de las mismas estaciones.

Se ha establecido la curva de radiación potencial para cada punto del territorio en base a los datos de las estaciones y clasificado las imágenes (o áreas de las imágenes) NOAA en base a los valores observados de radiación real a la hora de grabación de la imagen. Cuanto más próximo es el valor de radiación real observada y el valor de radiación potencial máxima, mejores son las condiciones de visibilidad teórica, y por lo tanto, mejores han de ser los datos derivados de NOAA.

Al no disponer de datos de contenido hídrico de vegetación u otras variables que puedan ser relacionadas con los índices de vegetación de NOAA, se limitó el análisis de la calidad atmosférica a los datos de Ts respecto de los datos de temperatura en la estación meteorológica correspondiente a la hora de grabación de la imagen.

La relación entre la temperatura de superficie (Ts) y la temperatura en la estación automática a medida que excluimos imágenes NOAA según la calidad radiométrica mejora de manera significativa.

Tabla 1 - Valores de R^2 entre T^a en estación y Ts para la estación de Aldover

DIFRAD	sin selección	< 20pct	< 10pct	<5pct
<u>R²</u>	0.6726	0.844	0.87	0.9076

Calidad atmosférica (DIFRAD)

Para medir la calidad radiométrica de las imágenes se ha utilizado el índice DIFRAD, que mide la diferencia entre la radiación potencial máxima prevista y la radiación real incidente. El valor de calidad atmosférica se ha calculado de la siguiente manera:

$$\text{DIFRAD} = (\text{Rad}_{(\text{hora})} / \text{Rad}_{\text{MAX}}) * 100$$

DIFRAD es el indicador de calidad atmosférica, Rad_{MAX} es la radiación máxima registrada en la estación en el periodo y $\text{Rad}_{(\text{hora})}$ es la radiación medida en la estación el día y hora de grabación de la imagen NOAA. Los valores de calidad se expresan en tanto por 100 y es sencillo clasificar las imágenes según su calidad.

Para disponer de unos valores de referencia de nitidez atmosférica, se ha calculado el máximo observado para periodos de 7 días a lo largo de los 4 años (periodo 2002-2005). La curva de valores máximos resultantes (polinomio de grado 5 con buenos ajustes) es la que se ha utilizado para la estimación de la radiación solar potencial máxima prevista los diferentes días del año. El resultado ha sido un polinomio para cada estación, a partir del cual se ha calculado los valores de DIFRAD diarios.

Para valores más pequeños de DIFRAD (calidad radiométrica más elevada), se produce un mejor ajuste entre Ts y la temperatura obtenida en las estaciones.

Es razonable esperar que este efecto de mejora del comportamiento del índice Ts según la selección de imágenes por radiación incidente se reproduzca en los otros cálculos derivados de NOAA.

A partir de las series de datos de radiación de las estaciones meteorológicas, se ha seleccionado el día y la franja horaria de paso de cada una de las imágenes NOAA utilizadas en el estudio y se ha calculado los valores de DIFRAD respecto de la curva de máximos de la estación. Para la interpolación al resto del territorio se utilizó el método *IDW* (Inverse Distance Weighted). A pesar de que los resultados obtenidos con ésta interpolación dependen exclusivamente de la distribución de las estaciones a lo largo del territorio, permite solucionar fácilmente huecos de estaciones por causa de falta puntual de datos o de lecturas erróneas de los radiómetros.

Las imágenes del periodo 2002-2005 presentan un desfase posicional (a menudo importante) de la nubosidad en los mapas de radiación. Esta imprecisión geométrica tiene, principalmente, tres causas:

- El método de interpolación de DIFRAD y la distribución territorial de las estaciones (que coincide con la abertura focal o de toma de datos del propio radiómetro) son exactos, pero en todo el espacio que va de una estación en otra, sólo disponemos de una estimación matemática.
- Precisión temporal de los datos de radiación en las estaciones. Disponemos de lecturas horarias. En situaciones climáticas adversas (frentes y vientos fuertes en altura), la distancia recorrida por las nubes dentro de esta franja horaria es importante para que sea perceptible al superponer la máscara de nubes de NOAA y el mapa de DIFRAD correspondiente.
- La proyección de las nubes sobre la superficie terrestre.

De estos tres factores, sólo el segundo, tiene posible solución a corto plazo, en base a los protocolos de transmisión de datos de las estaciones, buscando datos de radiación más próximos a la hora de grabación de las imágenes.

Selección de píxeles idóneos

Una vez descrito el proceso de calificación del píxel según su homogeneidad en superficie y por calidad radiométrica, se han buscado los píxeles de mayor calidad.

Esta selección tiene un componente estático debido a la vegetación y a la distancia a las estaciones automáticas y otro dinámico debido a la transparencia atmosférica al paso del satélite (*fig. 2*).

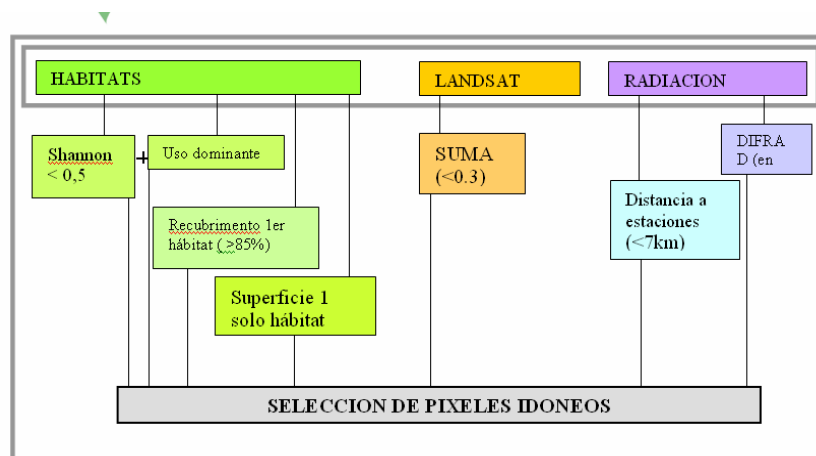


Figura 2 – Esquema de selección de píxeles idóneos

Resultados

En la selección de píxeles para el seguimiento del riesgo de incendios cabe destacar los siguientes aspectos:

Importancia de la vegetación dominante: Hay que destacar que la composición vegetal es el peso principal en la determinación del comportamiento de los píxeles de NOAA. Hay una estrecha relación entre la vegetación dominante medida a partir del mapa de hábitats y el comportamiento de los índices a lo largo del tiempo. Las formaciones vegetales más simples y estacionales (campos de cultivo, estepas, etc) muestran comportamientos muy marcados tanto para NDVI como NDVI/Ts. En cambio, formaciones forestales de aciculifolios, muestran un comportamiento lineal a lo largo del año, debido en parte a una mayor complejidad vegetal y una menor estacionalidad. Hay que tener en cuenta una serie de factores intrínsecos a la vegetación con el fin de entender cuál es la posible vía de análisis del riesgo de incendio.

Disponibilidad de hábitats dominantes: La alta variabilidad esconde una baja distribución territorial de la mayoría de hábitats. Es imposible encontrar un hábitat forestal que tenga representación en todas las comarcas. Además, en caso de que eso fuera posible, la climatología variada hace que el comportamiento de un píxel en una comarca y en otra no sea comparable.

Representatividad: La descripción de los hábitats de Cataluña se hace en base a criterios estructurales (tipo de formación vegetal), especies dominantes, recubrimiento de cada especie y presencia de sotobosque u otras especies no principales. Bajo esta caracterización se esconde una gran complejidad (en muchas categorías) con respecto a comportamiento fenológico anual de la vegetación, y de la estrategia delante de situaciones de estrés hídrico.

Proximidad a estaciones y otros indicadores limitantes: Además de los factores propios de la definición de los hábitats, hace falta tener en cuenta la distribución de los otros parámetros de calidad que se han introducido. Por ejemplo, la mayor parte de las estaciones de la red meteorológica están planteadas para hacer el seguimiento de las principales zonas agrícolas. A menudo eso comporta que las masas forestales compactas (sin mosaico agrícola y otra vegetación antrópica) se encuentren a mucha distancia de la estación y, por lo tanto la fidelidad de los cálculos de calidad radiométrica sea baja.

Análisis del peso de los factores implicados en la caracterización de los píxeles: En resumidas cuentas, aunque la vegetación dominante es el principal factor (indispensable) para la selección de píxeles, éstos están sujetos a valores óptimos del resto de indicadores con el fin de servir para el seguimiento del estado de la vegetación. Todo este proceso esconde una dificultad importante, y es el hecho de que cada píxel responde a un comportamiento único fruto de su complejidad vegetal, orográfica y climatológica, y, aunque es probable que se pueda comparar con píxeles próximos similares, es difícil extraer un patrón de comportamiento genérico para una especie (por ejemplo para *Pinus sylvestris*).

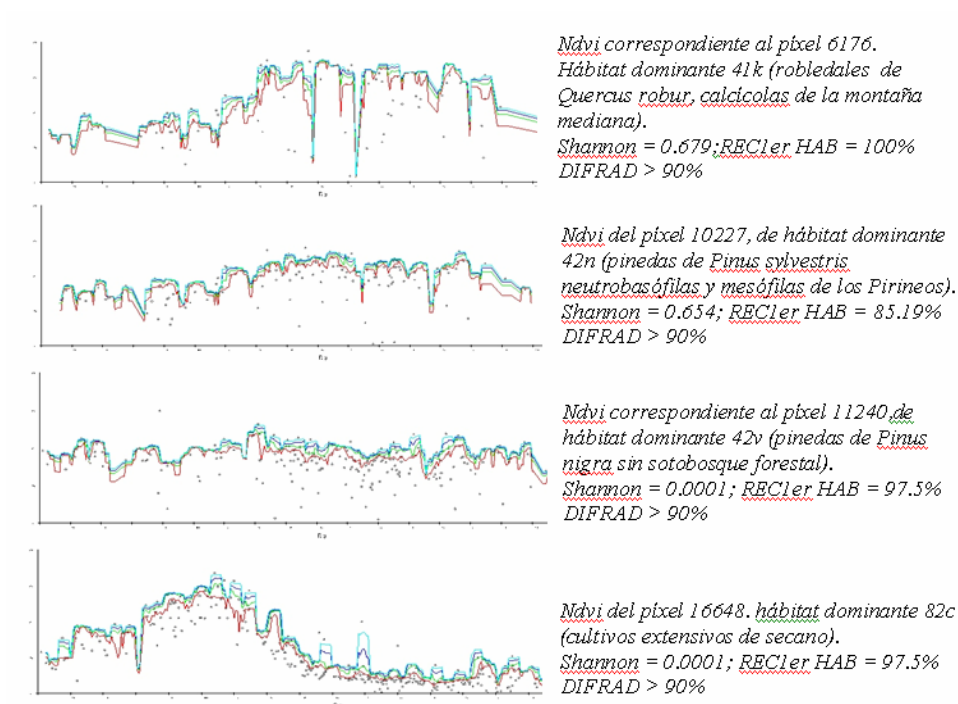


Figura 3 – Gráficos de NDVI para determinados píxeles

Distribución territorial

La aplicación de los anteriores criterios nos ha permitido realizar un mapa de píxeles disponibles a lo largo del territorio. Cada píxel presenta su curva de comportamiento y su vegetación dominante y, por lo tanto, es difícilmente comparable otros.

Una vez contemplados todos los criterios, el mapa de píxeles resultantes es el siguiente:

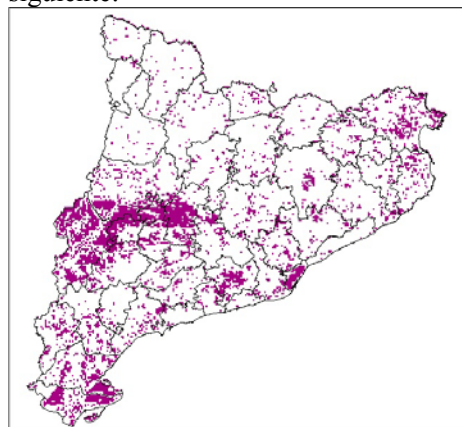


Figura 4 – Localización de píxeles idóneos.

Conclusiones

Hemos visto que los píxeles que presentan mejores valores de los parámetros de calidad, muestran en general un mejor comportamiento (la estacionalidad es más clara y no hay tantas oscilaciones diarias).

Hay excepciones que hay que ir contrastando y que han de ser objeto de posteriores estudios:

- a) *El contraste entre unidades de vegetación.* De la misma manera que la homogeneidad de los píxeles parece ser una garantía de las posibilidades de análisis del comportamiento de la vegetación, intuimos que hay unidades de vegetación que ejercen un fuerte contraste entre sí y que dificultan el establecimiento de patrones: por ejemplo, los cultivos de secano y los bosques de *Pinus nigra* presentan dos curvas muy diferentes.
- b) *La complejidad de cada unidad de vegetación descrita y la precisión de los datos de vegetación.* La leyenda de los hábitats de Cataluña es finita y, por lo tanto, no muestra toda la diversidad de hábitats presentes. De todos modos, hay que decir que los hábitats se han presentado como una buena herramienta para la caracterización de los píxeles de NOAA, pues los resultados son bastante interesantes

Referencias

- Burgan, R.E. & Hartford, R.A. 1993. Monitoring vegetation greenness with satellite data. Gen. Tech. Rep., INT-297. Ogden, TU, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station. 13p.
- Carreras, J. y Diego, F. La Cartografía dels hàbitats a Catalunya. Departament de Medi Ambient (DMAH) Universitat de Barcelona (UB).
- Chuvieco E. 1997. A review of remote sensing methods for the study of large wildland fires. Megafires Project. Universidad de Alcalá.
- CREAF. 1992. Inventari ecològic i forestal de Catalunya: Mètodes. Dep. Agric. i Pesca. Generalitat de Catalunya. 103p.
- Stohlgren, T.J. et al. 1996. Rapid assessment of plant diversity patterns: A methodology for landscapes. Environmental Monitoring and Assessment 48: pag. 25-43.
- Vidal, A., Desbois, N., Pereira, J.M., García, J., Chuvieco, E. 1997. NOAA-AVHRR satellite data processing: state of the art and choices in Megafires. Megafires Project. Universidad de Alcalá.
- Vidal, A., Desbois, N., Pereira, J.M., García, Beaudoin, A., Chuvieco, E. 1997. Short term fire risk mapping using remote sensing. Megafires Project. Universidad de Alcalá.