



2022  
Lleida

27·1  
junio · juny  
julio · juliol

Cataluña  
Catalunya

## 8º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

La **Ciencia forestal** y su contribución a los **Objetivos de Desarrollo Sostenible**

8CFE

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales  
**Cataluña | Catalunya · 27 junio | juny - 1 julio | juliol 2022**  
**ISBN 978-84-941695-6-4**  
© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Organiza



## Experiencias adquiridas con el uso de teledetección en el análisis de incendios forestales

FERNÁNDEZ ORTIZ, J.J.<sup>1</sup>; ESCRIBANO RODRÍGUEZ, B.<sup>1</sup>; MADRIGAL LADRÓN DE GUEVARA, C.<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Unidad de Análisis y Planificación del Servicio de Extinción de Incendios Forestales de Castilla-La Mancha. INFOCAM

### Resumen

La incorporación de las herramientas de teledetección al análisis de incendios forestales aporta información sobre el territorio útil en las tres fases de la emergencia: análisis preparativo, análisis operativo y análisis reconstructivo.

En INFOCAM, la Unidad de Análisis y Planificación en Castilla-La Mancha ha encontrado en las imágenes satelitales, principalmente extraídas de la constelación SENTINEL-2, una excelente fuente de información con la que cumplir el objetivo de reducción de incertidumbre sobre la que basar una ulterior toma de decisiones. La evaluación de la disponibilidad de combustible a través de su actividad vegetativa, mediante NDVI y FAPAR, y productos derivados de la relativización de éstos a sus valores máximos y mínimos característicos de cada tesela, como es el RG, junto con búsqueda de oportunidades para las operaciones de extinción y control del incendio (composición de bandas 12, 8 y 4 de SENTINEL-2) se erigen, entre la amplia gama de usos y aplicaciones de esta tecnología, como las que más beneficios aporta al servicio.

La integración de tal información en una plataforma GIS basada en entorno web, accesible por el resto de personal técnico permite compartir información de un modo ágil y dinámico.

### Palabras clave

Incendios forestales, teledetección, combustibles, vegetación.

## 1. Introducción

Una adecuada decisión siempre viene precedida de un correcto análisis de la información, la cual debe ser de calidad y completa según el objetivo a perseguir. La información, a su vez, tiene su origen en un proceso de filtrado y procesado de datos. La toma de decisiones en emergencias no es ajena a este proceso, siendo si cabe aún más compleja por las características intrínsecas del entorno.

La puesta en servicio de satélites con adecuado equilibrio entre la resolución espacial y la resolución temporal, junto con una apropiada resolución espectral, como es el caso de Sentinel 2, y plataformas como las implementadas por el programa COPERNICUS, catalizan su uso por los usuarios.

La Unidad de Análisis y Planificación del Servicio de Extinción de Incendios Forestales de Castilla-La Mancha (UNAP) se inició en el uso de teledetección en 2016, encontrando en esta tecnología una apropiada fuente de información para la consecución de uno de sus objetivos principales, que no es otro que reducir la incertidumbre asociada al estado y disponibilidad de los combustibles, aportando información sobre la que sustentar una correcta toma de decisiones.

## 2. Objetivos

La experiencia adquirida por la Unidad de Análisis de Incendios Forestales (UNAP) durante 6 años; esto es, desde 2016, en el uso de herramientas de teledetección pretende ser compartida con la comunidad científico-técnica como base para el desarrollo e integración de

esta tecnología en los procesos de toma de decisiones de aquellas organizaciones cuya área de trabajo comprende la gestión de incendios forestales.

La naturaleza eminentemente técnica de la UNAP convierte a esta unidad en usuario final de los productos de la teledetección, no en investigadora, motivo por el cual este documento no pretende exponer resultados productos de una investigación *sensu stricto*, sino la experiencia en el uso de esta tecnología. Sin embargo, ello no impide que desde la posición de usuario se realice una investigación heurística, basada en la evaluación de los productos utilizados, identificación de sus posibilidades y determinación de sus limitaciones.

### 3. Metodología

La evaluación de los productos utilizados en la gestión de incendios forestales se ha realizado desde la experiencia de usuario, y así se expondrá en este documento. La exposición se estructura en tres bloques, correspondiendo cada uno de ellos con cada una de las fases de la emergencia: preparación, emergencia y post-emergencia.

En cada uno de los bloques se exponen aquellos índices de mayor utilidad conforme a la experiencia adquirida en su uso durante 6 años. La exposición de cada uno de los índices queda configurada por la descripción de casos concretos en los que su aplicación aportó información relevante para la toma de decisiones final.

### 4. Resultados

El análisis de datos procedentes de imágenes satelitales para convertirlos en información útil sobre la que se construye la toma de decisiones puede ser estructurada por la fase de la emergencia en primer término, y por la finalidad en un segundo término.

#### Fase de preparación. Estado de la vegetación

Una de las utilidades de esta tecnología es el aporte de información referente al estado vegetativo de los combustibles vivos. Así, permite reducir la incertidumbre sobre el estrés hídrico de la vegetación, arrojando información sobre el grado de disponibilidad de éstos para la combustión. Esta misión se consigue utilizando índices del estado vegetativo, entendiendo éste como el nivel de actividad fotosintética (Chuvienco, 2019), con un doble enfoque. Mientras el primer enfoque tiene por objeto comparar diferentes áreas para un mismo momento, el segundo enfoque compara momentos distintos para una misma área. De este modo, con el primero se pretende detectar zonas próximas a un incendio forestal activo que presenten, bien índices de actividad fotosintética extremadamente bajos como indicador de alto estrés hídrico y, por ende, alta disponibilidad, bien, por el contrario, zonas con alto índice de actividad fotosintética y, resultado de ello, menor disponibilidad, constituyendo estas zonas, a priori, zonas con una menor intensidad potencial del fuego.

La elevada sensibilidad que éstos índices muestran a características de la estructura de la vegetación y el suelo, tal como el índice de área foliar (Kennedy et al., 1994; Kerr et al., 1992), esto es, la densidad de la vegetación o carga de combustible vivo. Hace que el análisis realizado a partir de estos datos, deba inexorablemente considerar este aspecto para no caer en el error de asociar zonas detectadas con alta actividad fotosintética con zonas de baja disponibilidad, cuando en realidad se trata de zonas de elevada carga de combustible (índice de área foliar elevado). Así, la utilización de estos productos sólo debe realizarse para zonas de similar estructura forestal y características.

Si bien la comparación espacial de teselas de vegetación para un mismo momento, plantea el inconveniente indicado, la comparación de una misma porción de vegetación en dos momentos diferentes no plantea tanta dificultad por permanecer técnicamente invariable la estructura de la vegetación, con la salvedad de las formaciones caducifolias. La plataforma

Sentinel Hub, <https://www.sentinel-hub.com/>, Sinergise Ltd., que suministra imágenes de Sentinel 2, preparadas para su uso directo, con valores de reflectividad al nivel inferior de la atmósfera, incluyendo corrección atmosférica, junto con la posibilidad de diseñar índices personalizados que satisfagan las necesidades del usuario, supone un gran salto en la productividad de esta tecnología. La aplicación web EO-Browser de la mencionada plataforma incluso permite obtener evolución temporal gráfica de los índices que el usuario seleccione (figura 1), para así identificar bruscos cambios en sus valores; indicadores tanto de incremento del estrés hídrico (léase incremento de la disponibilidad del combustible vivo), como de descensos del estrés hídrico (léase descenso de la disponibilidad del combustible vivo).



Figura 1. Distribución del valor NDVI en una ubicación correspondiente a una parcela de seguimiento de humedad del combustible vivo (HCV) ubicada en Fontanarejo (CR). Izquierda: salida gráfica de evolución de NDVI de la aplicación EO-Browser, de Sentinel Hub. Derecha: gráfico mostrando evolución del NDVI y HCV. Se aprecia la recuperación de actividad vegetativa con la precipitación del 11 de agosto de 2020 y el descenso inmediato posterior, en consonancia con la medición de humedad de *Cistus ladanifer* realizada en el sitio, con un coeficiente de correlación entre NDVI y HCV de 0,87 entre 19 de junio de 2020 y 31 de agosto de 2020.

No obstante, es posible comparar índices espacialmente, salvando la alta sensibilidad mencionada de los índices de actividad fotosintética a las características de la estructura forestal y suelo, mediante un proceso de relativización de los mismos, lo cual se consigue calculando la posición del valor actual del índice respecto a los máximos y mínimos históricos, obteniendo así los índices derivados RG o *Relative Greenness* (Vega-Nieva et al., 2019), a partir del índice NDVI. Análogamente, y como desarrollo propio de UNAP se utiliza el RfAPAR, elaborado a partir del índice fAPAR o *Fraction of Absorbed Photosintecally Active Radiation* (Martínez-Sánchez, 2020).

$$RG = \frac{NDVI_{Actual} - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \times 100 \quad (\text{Vega et al., 2019})$$

$$RfAPAR = \frac{fAPAR_{Actual} - fAPAR_{min}}{fAPAR_{max} - fAPAR_{min}} \times 100$$

Los valores máximos y mínimos, tanto de NDVI como de fAPAR se refieren a sus máximos y mínimos absolutos de la serie histórica considerada, para lo que se utilizó la serie 1999-2017, obtenidos, al igual que el valor NDVI actual y fAPAR actual, de la plataforma COPERNICUS LAND. De este modo, valores próximos a 100 indican una situación cercana a su máxima actividad fotosintética potencial y mínimo estrés hídrico, mientras que valores considerablemente inferiores a 50 deben ser interpretados como indicadores de estrés hídrico y alta disponibilidad del combustible vivo.

Sin embargo, para conocer lo avanzada o retrasada que se encuentra la fenología de la vegetación (Goetz et al., 2006; Potter y Brooks, 2000) respecto a lo considerado como normal, se debe utilizar el índice VCI o *Vegetation Condition Index* (Swinnen, 2020). Este índice, si bien

adopta una forma similar a la del RG, los valores máximos y mínimos no son los absolutos, sino los extremos que el índice NDVI adquiere para el periodo considerado.

Se ha realizado una validación de estos últimos índices expuestos (RG y VCI) mediante el análisis de la correlación del promedio del valor suplementario de éstos entre los meses de mayo y septiembre de la serie de años 2014-2019 con el valor promedio de la superficie forestal afectada anualmente de ese mismo periodo (figura 2), arrojando valores de 0,668 y 0,718 (<https://www.copernicus.eu/en/use-cases/forest-fire-risk-through-vegetation-stress>).

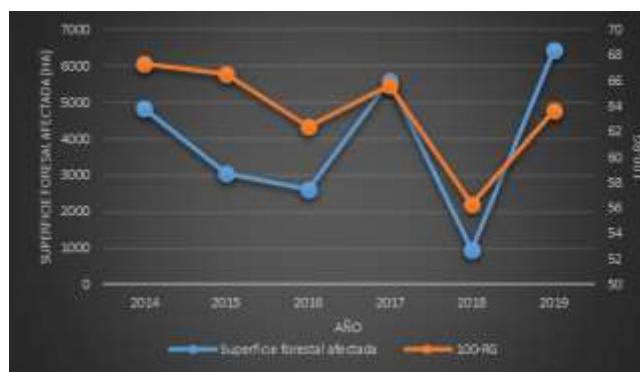


Figura 2. Superficie forestal afectada entre mayo y septiembre en Castilla-La Mancha y valor promedio del suplementario del índice Relative Greeness (100-RG) entre mayo y septiembre de los años 2014 y 2019.

Si bien RG y RfAPAR adoptan valores y comportamiento similares, la principal diferencia entre ambos se encuentra en la capacidad del segundo para localizar aquellas zonas con estrés hídrico con parada vegetativa invernal, especialmente en zonas frías por latitud, altitud o continentalidad, a tenor de la observación realizada tras la experiencia de uso adquirida.

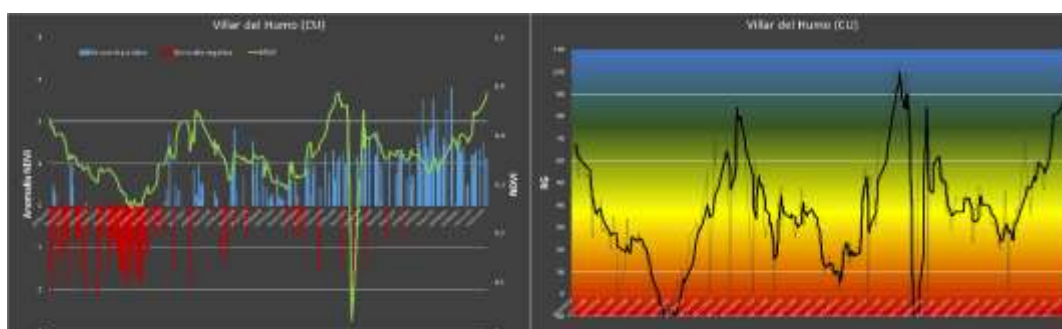


Figura 3. Izquierda: evolución del NDVI y la anomalía NDVI (columnas) para una localización en Villar del Humo (Cuenca). Derecha: evolución del RG (Relative Greeness) en la misma localización.

#### Fase de emergencia. Análisis operativo

Una vez declarado el incendio forestal, el análisis de la vegetación ubicada en el entorno del perímetro activo forma una parte esencial del análisis holístico necesario del evento, para así, acto seguido, elaborar una adecuada evaluación del potencial del incendio. Esta evaluación, o triaje, permitirá realizar una asignación adecuada de recursos en primera instancia y, posteriormente, elaborar una estrategia acorde a la previsión de propagación.

La búsqueda de oportunidades sobre las que apoyar las operaciones, bien la baja carga de combustible forestal, bien por su ausencia, que limite la propagación del fuego constituye indudablemente la piedra angular de la planificación estratégica en incendios que se mueven por



ecosistemas heterogéneos, en mosaico. La baja carga de combustible disponible puede producirse, bien por la ausencia de combustible, como es el caso del suelo desnudo, bien por vegetación con un contenido de agua tal, que el incendio deba emplear demasiada energía para deshidratarla. En ocasiones, como es el caso de vegetación de ribera, cultivos de regadío o combustibles herbáceos forestales no agostados, el incendio no posee la energía suficiente para deshidratar esa vegetación y, por tanto, se imposibilita la combustión. En otras ocasiones, como es el caso de roquedos o suelos con laboreo superficial, la ausencia de combustible continuo y suficiente convierte ese espacio en la oportunidad mencionada.

Por un lado, se hace uso del compuesto RGB simple, derivado de la reordenación de las bandas de acuerdo con el esquema RGB (SWIR, NIR, Red), que en el caso de emplear imágenes captadas con el sensor MSI a bordo de la constelación Sentinel 2, se corresponde con la composición RGB (12, 8A, 4). En esta imagen compuesta, el NIR se refleja en la vegetación y se muestra en el canal verde; mientras que la banda roja reflejada, que resalta el suelo descubierto y las áreas edificadas, se muestra en el canal azul. A mayor intensidad del verde, mayor es la carga de vegetación viva y sana. Por el contrario, tonos pardo-violáceos y blancos, son indicadores de suelo desnudo.

Por otro lado, se emplea el “Índice de Diferencia Normalizada de Humedad” NDMI (Cibula, Zetka & Rickman, 1992), con el fin de identificar zonas con contenido hídrico lo suficientemente elevado como para dificultar la propagación del fuego y así poder ser clasificadas como zonas de oportunidad. En determinadas circunstancias, si el contenido de humedad es suficientemente alto, pueden limitar de tal manera la propagación del fuego como para ser el límite de la superficie potencial, entendiendo ésta como el área sobre la que existe cierta probabilidad de propagación del incendio bajo las condiciones observadas y previstas. La integración de estas imágenes con modelos digitales del terreno, junto con el patrón de propagación del incendio y la previsión de la evolución meteorológica, nos permite establecer superficies potenciales de propagación de los incendios.

La disponibilidad de los combustibles, estrechamente ligada al estrés hídrico, nos permite pronosticar variaciones en el comportamiento del fuego. En el ejemplo del incendio de Nombela, la progresión cabeza y cabeza-flanco derecho, quedó limitada por la humedad que presentaba la vegetación de ribera.

En la figura 4 se muestra una secuencia de imágenes del incendio iniciado el día 2 de agosto de 2020 en el término municipal de Retuerta del Bullaque (Ciudad Real). Arriba a la izquierda: sombreado del terreno y localización aproximada de punto de inicio. Arriba a la derecha: base de composición de bandas (12, 8, 4) de Sentinel 2 del día 1 de agosto, donde se aprecia la diferencia entre las distintas coberturas del suelo; pardos muestran suelo desnudo, mientras los colores verdes muestran la existencia de vegetación, siendo su intensidad (verdor) proporcional al contenido de humedad. Así, los colores verdes pero con menor intensidad en la zona agrícola reflejan zonas de cultivos de cereal cosechadas (rastros), mientras los colores verdes de mayor intensidad muestran la existencia de vegetación forestal. Abajo a la izquierda: imagen de índice de humedad (NDMI) del día 1 de agosto, donde los colores cálidos indican vegetación o suelo con bajo contenido en agua, como es el caso de la zona agrícola o zonas forestales con menor cobertura de vegetación. Los colores fríos, como el azul, indican zonas con mayor contenido de humedad. Se aprecia cómo las orientaciones norte poseen mayor humedad (colores azules) que las exposiciones sur (colores más cálidos). Abajo a la derecha: índice de elaboración propia, en pruebas, basado en las bandas 12 y 8 de Sentinel 2, que marca en azul las zonas desprovistas de vegetación viva o cuando esta es lo suficientemente rala como para limitar la propagación del incendio. La principal utilidad de este índice último es su consideración en el proceso de elaboración de superficie potencial, así como valorar la gravedad potencial de incendios en zonas de mosaico agrícola-forestal. Se observa cómo la zona de mayor NDMI (marcada en línea discontinua) contuvo, junto con las operaciones implementadas, el avance del

incendio hacia la zona de mayor potencial del mismo localizada al norte, constituyendo una zona de oportunidad junto a la que podría ser la zona crítica que daría acceso a la región de mayor potencial.

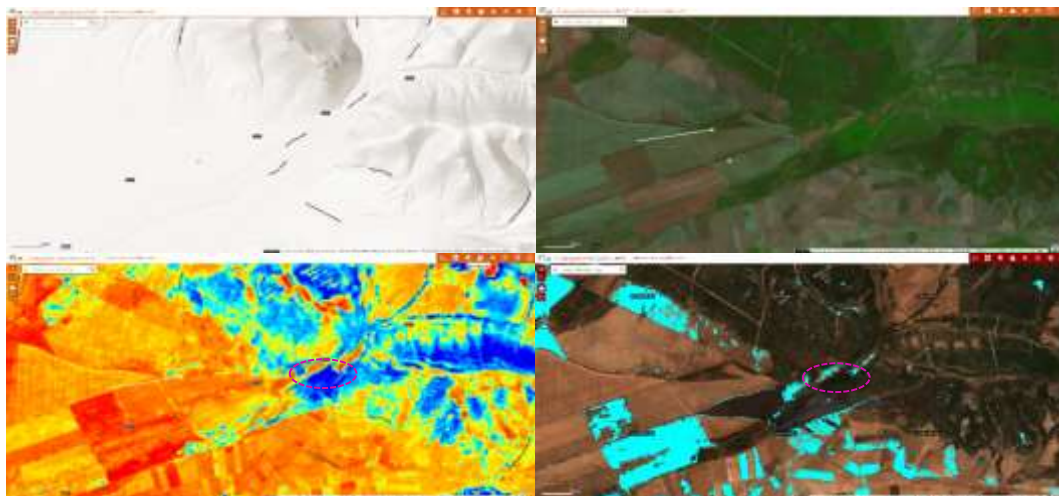


Figura 4. Imágenes de Sentinel 2 de la zona del incendio de 2 de agosto de 2020 en el término municipal de Retuerta del Bullaque (Ciudad Real). De izquierda a derecha y de arriba abajo: sombreado; composición de bandas (12, 8, 4) del día 1 de agosto; NDMI del 1 de agosto; e índice que marca en azul las zonas potenciales de propagación limitada, desprovistas de vegetación viva, en suelo mineral.

Las operaciones aéreas de helicópteros y aviones anfibios requieren un conocimiento exhaustivo de la localización de las posibles zonas de carga y el estado de las mismas. Si bien la búsqueda de puntos de agua para helicópteros es una tarea que deba ser realizada en la fase de preparación de la emergencia, no es hasta la fase de emergencia cuando se puede evaluar la viabilidad de los puntos de agua, especialmente en el caso de los embalses y balsas de agua. La sequía acumulada en zonas donde el caudal entrante es intermitente puede inhabilitar puntos de agua a lo largo del periodo de sequía. Con el uso del índice diferencial normalizado de agua o NDWI, es posible determinar la superficie de lámina de agua, la longitud de la misma e, incluso, evaluar la profundidad, para así evaluar la viabilidad del punto de agua para su uso por determinados medios aéreos.

Este es un índice adimensional que permite aislar e identificar perfectamente las masas de agua; utilizando la banda del verde y del infrarrojo cercano para diferenciar masas de agua. Valores altos del NDWI indican alto contenido de agua, valores próximos a 0 indican zonas edificadas o sin vegetación y valores inferiores a cero indican vegetación con mayor o menor contenido de agua. En las siguientes imágenes (figura 5) se aprecia un punto de agua y parte del embalse del Cenajo. Se aprecia además la marca del incendio ocurrido el día 30 de julio, así como la reducción de la lámina de agua resultado de la carga de medios aéreos de ala rotativa, fenómeno no distinguible mediante la observación de las imágenes correspondientes al color verdadero, pero sí a través de NDWI.



Figura 5. Izquierda: imagen NDWI del 29 de julio de 2020, 1 día antes del inicio de incendio en el término municipal de Férez (Albacete). Centro: imagen en verdadero color del día 1 de agosto de 2020. Se observa la marca del incendio. Derecha: imagen NDWI del día 1 de agosto. Se observa el descenso de la lámina de agua señalada con flecha.

#### Fase post-emergencia. Análisis reconstructivo

La recopilación de información y análisis de incendios durante la fase post-emergencia genera conocimiento útil sobre el cuál poder fundamentar la toma de decisiones, no operativas en este caso, sino estratégicas de gestión de un territorio o dispositivo. La caracterización de los incendios forestales permitirá, salvando la divergencia que el cambio global en el que estamos inmersos provoca sobre su régimen histórico, optimizar las acciones de reducción del riesgo planificadas, diseñadas y concebidas para incendios de una determinada tipología y patrón de propagación.

La información generada y disponible de los incendios actuales supera con creces el volumen de la generada por los incendios históricos de años anteriores. Sin embargo, la disponibilidad de imágenes satelitales de la década de 1980 y 1990 permite reconstruir la superficie recorrida por el fuego, determinar la severidad del mismo (figura 6), evaluar el estrés hídrico de los combustibles en el momento previo al incendio, e incluso, determinar patrones de propagación. Los satélites de la misión Landsat permiten obtener información de incendios ocurridos desde 1984 (Landsat 5) con resolución espacial de 30 m. Posteriormente, los satélites de la constelación MODIS (desde el año 2000 con el satélite Terra y desde 2002 con Aqua) redujeron la resolución temporal a 24 horas, lo cual es muy interesante, pero a costa de reducir la resolución espacial a 250 m. Sin embargo, la incorporación de la capacidad de detección de anomalías térmicas supuso un importante avance para la localización de incendios de grandes dimensiones e intensidad.



Figura 6. Imagen de la izquierda, composición (542) y derecha, falso color (4,3,2), del 8 de octubre de 1985, Landsat 5, en las proximidades de Solana del Pino (Ciudad Real). Se observan varias huellas de incendios de la campaña de 1985.

El sensor VIIRS, operativo desde 2015 en el satélite S-NPP y también desde abril de 2020 en NOAA-20, con resolución espacial de 250 m y resolución temporal dos veces al día, con



capacidad de detectar anomalías térmicas, se erige como sucesor de MODIS y como la principal herramienta para la monitorización de incendios remotos.

La constelación Sentinel-2, con una resolución temporal efectiva de 2-3 días y de 10-30 metros, según la banda espectral utilizada, aumenta y mejora extraordinariamente las posibilidades de las imágenes satelitales, permitiendo la monitorización en casi tiempo real de determinados incendios. Imágenes de Sentinel 2 han permitido reconstruir isócronas de propagación de incendios forestales que se mantuvieron activos durante varios días, como es el caso de Yeste 2017 (figura 7) o identificar características importantes del comportamiento, como puede ser la emisión de focos secundarios a larga distancia, caso del incendio de La Estrella (Toledo) en 2020 (figura 8), de los que no se tuvo constancia durante la emergencia y sólo gracias a la imagen satelital se pudo detectar y realizar una labor de documentación del incendio de mayor calidad que ayudó al enriquecimiento de la base de datos del histórico de incendios.



Figura 7. Imágenes de Sentinel 2, día 28 de julio de 2017 y 30 de julio de 2017 derecha. Composición denominada Wildfire (<https://pierre-markuse.net/2018/04/30/visualizing-wildfires-burn-scars-sentinel-hub-eo-browser/>), que resalta el frente activo del incendio, permitiendo identificar perfectamente el avance del fuego.



Figura 8. Izquierda: Imagen de la composición Wildfire (<https://pierre-markuse.net/2018/04/30/visualizing-wildfires-burn-scars-sentinel-hub-eo-browser/>). Derecha: Imagen del SWIR, las dos del día 30 de julio de 2020. Se puede observar un foco secundario a unos 445 metros del frente principal.

Desde otra perspectiva, la capacidad de disponer de imágenes del territorio, con una resolución similar, tanto espacial, como radiométrica y temporal, posibilita el análisis de la evolución del territorio y en ese sentido, observar los efectos del fuego sobre el mismo y más específicamente sobre la vegetación. Dentro del marco del análisis de severidad (Key & Benson, 2006; Lentile et al., 2006), los estudios realizados en la actualidad se centran en los efectos de primer orden (Kasischke et al., 2007; Lentile et al., 2006), mediante evaluaciones rápidas (Key,

2006) únicamente de aquellos incendios que, por su extensión, relevancia o impacto, lo requieran.

Del conjunto de índices derivados del índice NBR “Normalized Burn Ratio” (López & Caselles, 1991), con el fin de poder comparar diferentes incendios, se observa la mayor bondad de ajuste del índice RBR “Relativized Burn Ratio” (Parks et al., 2014) frente a RdNBR, sin no por ello descartar los demás (Viedma et al., 2020). No obstante, el índice derivado dNBR se mantiene como excelente herramienta para la reconstrucción del perímetro, tanto de incendios pretéritos, donde el paso del tiempo y la acción de la sucesión vegetal impide reconstruirlo sobre el terreno, como de incendios recientes en los que por su extensión o difícil accesibilidad dificultan enormemente la tarea de levantamiento de perímetro con GPS terrestre.

Para la correcta calibración de los diferentes índices se emplea de base unos umbrales genéricos publicados por diferentes autores (Botella, 2016; Parks et al., 2014) que posteriormente son ajustados mediante verificación en terreno, comparando el grado de severidad “in situ” con el valor del índice en el mismo punto. Así, se establecen los umbrales de severidad minimizando el error de clasificación.

#### 4. Discusión

Los valores promedio de entre mayo y septiembre de los índices RG y RfAPAR presentan una estrecha correlación con la superficie forestal afectada en la Época de Peligro Alto y Extremo, lo cual puede ser interpretado como una fuerte correlación, a su vez con la disponibilidad de combustible. Un mayor estrés hídrico de la vegetación y, por ende, de la disponibilidad de los combustibles vivos, tiene reflejo en una mayor superficie forestal afectada. El hecho que el valor promedio de los índices RG explique el 67 % de la varianza de la superficie forestal afectada entre mayo y septiembre corrobora esta afirmación. Si bien el comportamiento de RG y RfAPAR es similar, la mayor diferencia radica en el comportamiento invernal. Mientras RG, basado en NDVI, muestra valores elevados en zonas frías, con marcada parada vegetativa, RfAPAR es capaz de captar valores mínimos en tales localizaciones, en coherencia con el incremento de la disponibilidad de combustible debido a la pérdida de humedad provocada por las bajas temperaturas invernales.

En fase de emergencia, la identificación de lugares con elevada humedad, con capacidad para representar un obstáculo a la propagación del fuego y limitar su superficie potencial permite optimizar la asignación diferencial de recursos a los sectores del mismo. Aquí el producto NDMI se presenta como un robusto índice para realizar esta función.

Especialmente en zonas de mosaico agrícola-forestal, donde la existencia de parcela labradas limita igualmente la propagación del incendio, la identificación de tales a través de índices que tienen alta reflectancia en el SWIR y baja en NIR, ha mostrado ser de utilidad en el análisis de incendios el entorno mencionado.

#### 5. Conclusiones

La incorporación de las herramientas de teledetección al análisis de incendios forestales aporta información sobre el territorio útil en los tres enfoques de su misión: análisis de preparación, análisis operativo y análisis reconstructivo.

La Unidad de Análisis y Planificación del Servicio de Extinción de Incendios Forestales de Castilla-La Mancha ha encontrado en las imágenes satelitales una excelente fuente de información con la que cumplir el objetivo de reducción de incertidumbre sobre la que basar una ulterior toma de decisiones. La evaluación de la disponibilidad de combustible a través de su actividad vegetativa, junto con búsqueda de oportunidades para las operaciones de extinción y

control del incendio se erigen, entre la amplia gama de usos y aplicaciones de esta tecnología, como la que más beneficios aporta al servicio.

## 6. Agradecimientos

Los autores, como parte de la UNAP, agradecen las aportaciones recibidas para la evaluación y mejora de los productos utilizados, especialmente a los compañeros integrantes de la unidad.

Aunque no sea un agradecimiento en sentido estricto, los autores quieren aprovechar estas líneas para reconocer el recurso, la herramienta, de mayor valor de cuantas integran el sector de los incendios forestales; el capital humano, las personas. Esta es, sin lugar a dudas, la herramienta más compleja y con mayores capacidades de cuantas dispone cualquier organización de emergencias. Cuidémosla.

## 7. Bibliografía

BOTELLA, M. A., & FERNÁNDEZ-MANSO, A. 2016. Estudio de la severidad de los incendios forestales en la Comunidad Valenciana utilizando los índices NBR, RdNBR y RBR derivados de imágenes Landsat 8. León: TFM. MásterFUEGO. INCENDIOS FORESTALES, CIENCIA Y GESTIÓN INTEGRAL.

CHUVIECO, E. 2019. Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio. Digital Reasons.

CIBULA, W. G.; ZETKA, E. F.; RICKMAN, D. L. 1992. Response of thematic mapper bands to plant water stress. *International Journal of Remote Sensing* 10(13): 1869-1880

GOETZ, S., FISKE, G. Y BUNN, A. 2006. Using satellite time-series data sets to analyze fire disturbance and forest recovery across Canada, *Remote Sensing of Environment*, 92: 411-423.

KASISCHKE, E. S., HOY, E. E., FRENCH, N. F., & TURETSKY, M. R. 2007. post-fire evaluation of the effects of fire on the environment using remotely-sensed data. En I. Z. Gitas, & C. Carmona-Moreno (Ed.), *Proceedings of the 6th International Workshop of the EARSeL Special Interest Group in Forest Fires: Advances in Remote Sensing and GIS Applications in Forest Fire Management. Towards and operational Use of Remote Sensing in Forest Fire Management* (págs. 34-52). Thessaloniki (Greece): European Commission.

KENNEDY, P. J.; BELWARD, A. S. Y GRÉGORIE, J. M. 1994. An improved approach to fire monitoring in West Africa using AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 15: 2235-2255.

KERR, Y. H.; LAGOUARDE, J. P. Y IMBERNON, J. 1992. Accurate land Surface temperature retrieval from AVHRR data with use of an improved Split Window algorithm. *Remote Sensing of Environment*.

KEY, C. H. 2006. Ecological and sampling constraints on defining landscape fire severity. *Fire Ecology*, 2, 34-59.

KEY, C. H., & BENSON, N. C. 2006. Landscape Assessment. En D. C. Lutes, R. E. Keane, J. F. Caratti, C. H. Key, N. C. Benson, S. Sutherland, & L. J. Gangi, FIREMON: Fire effects monitoring and inventory system. USDA, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.

LENTILE, L. B., HOLDEN, Z. A., SMITH, A. S., FALKOWSKI, M. J., HUDAK, A. T., MORGAN, P., . BENSON, N. C. 2006. Remote sensing techniques to assess active fire characteristics and post-fire effects. *International Journal of Wildland Fire*, 15, 319-345.

MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, E. 2020. Copernicus Global Land Operations. Vegetation and Energy.CGLOPS-1. Framework Service Contract N° 199494 (JRC). SCIENTIFIC QUALITY EVALUATION. LAI, FAPAR, FCOVER, COLLECTION 300M. VERSION 1. Issue I1.00. COPERNICUS.

POTTER, C. S. Y BROOKS, V. 2000. Global analysis of empirical relations between annual climate and seasonality of NDVI. *International Journal of Remote Sensing*, 19: 2921-2948.

SWINNEN, E. 2020. Copernicus Global Land Operations. Vegetation and Energy.CGLOPS-1. Framework Service Contract N° 199494 (JRC). SCIENTIFIC QUALITY EVALUATION. NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX (NDVI). COLLECTION 1KM VERSION 2.2 VEGETATION CONDITIONINDEX (VCI). Issue I1.00. COPERNICUS.

VEGA-NIEVA, D.J., NAVA-MIRANDA, M.G., CALLEROS-FLORES, E. ET AL. 2019. Temporal patterns of active fire density and its relationship with a satellite fuel greenness index by vegetation type and region in Mexico during 2003–2014. *fire ecol* 15, 28.

VIEDMA, O.; CHICO, F., FERNÁNDEZ, J.J.; MADRIGAL, C.; SAFFORD, H.D.; MORENO, J.M. 2020. Disentangling the role of prefire vegetation vs. burning conditions on fire severity in a large forest fire in SE Spain, *Remote Sensing of Environment*. Volume 247.