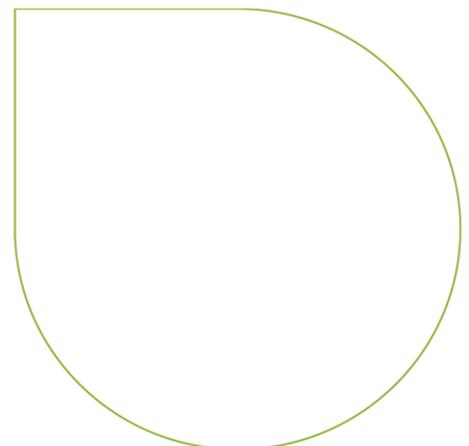




EIKOS
SISTEMA DE SEGUIMIENTO
TERRITORIAL DE LOS ECOSISTEMAS

Alertas mensuales y anuales sobre la superficie forestal

Subsistema de Información Territorial



Contenido

1.	Introducción.....	1
2.	Objetivo	1
3.	Información de referencia	2
4.	Método de cálculo	2
5.	Medios y programas utilizados	6
6.	Fortalezas y debilidades.....	6
7.	Unidad de medida	6
8.	Ámbito geográfico.....	7
9.	Periodicidad.....	7
10.	Desagregaciones	7
11.	Tipo de indicador (global, europeo, nacional)	7
12.	Organismo responsable.....	7
13.	Contacto	7
14.	Bibliografía	8

1. Introducción

El módulo de anomalías y alertas genera de manera automática una capa de alertas mensuales y anuales para la superficie forestal, proporcionando información sobre las teselas forestales del Inventario Español del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad (IEPNB), de 25x25 metros, susceptibles de haber sufrido una pérdida significativa en la cubierta vegetal (pérdida de actividad vegetativa) respecto a unas condiciones de referencia.

Las alertas mensuales se obtienen comparando la actividad vegetativa de las cubiertas del mes en curso, observadas en las imágenes del satélite Sentinel-2 del programa europeo COPERNICUS, con respecto a sus condiciones de referencia. Estas condiciones de referencia sintetizan la dinámica de la vegetación a lo largo de los últimos años y están definidas por el valor medio y su desviación estándar. Su cálculo se basa en la evolución del índice de vegetación de diferencia normalizado, NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*, Rouse et al., 1973), correlacionado con la actividad vegetativa y la productividad primaria en los ecosistemas terrestres (Cabello et al, 2012).

Las alertas anuales proceden de la consolidación anual de las alertas mensuales en función del tipo de cambio y la frecuencia de ocurrencia

2. Objetivo

El objetivo general del Subsistema de Información Territorial es la monitorización de los cambios en los ecosistemas naturales a partir de la evolución espacio-temporal de índices espectrales, derivados de las imágenes de satélite Sentinel y distintas fuentes de información de referencia.

Dentro de este marco, las alertas en la superficie forestal reflejan los cambios ocurridos en una masa forestal, ocasionados por actividades antrópicas o naturales, y que se ven reflejados en las imágenes

como una pérdida de actividad vegetativa (cortas, deforestaciones, incendios, etcétera). Este producto se genera de manera automática mensualmente (para las alertas mensuales) y anualmente (para las alertas anuales), a mes y año vencido, respectivamente, para todo el territorio nacional, representando la superficie forestal susceptible de haber sufrido un cambio significativo en su cubierta vegetal.

3. Información de referencia

- **Imágenes de satélite Sentinel-2.** Colección "Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level-2A". Imágenes en valores de reflectividad a nivel de superficie, BOA (de sus siglas en inglés *Bottom Of Atmosphere*), que incluye una corrección radiométrica y atmosférica.
- **Sistema Europeo de Información sobre Incendios Forestales** (EFFIS, *European Forest Fire Information System*) facilita información sobre superficies quemadas en áreas forestales.
- **Hot Spot de FIRMS** (*Fire Information for Resource Management System*), proporciona información sobre incendios activos.
- **Mapa Forestal de España** (MFE) y su actualización de **Foto Fija** más reciente (FF) empleada para definir el ámbito de estudio, la superficie forestal.

4. Método de cálculo

El flujo de procesos para el cálculo de las anomalías y las alertas se ilustra en la figura siguiente, y se describe a continuación:

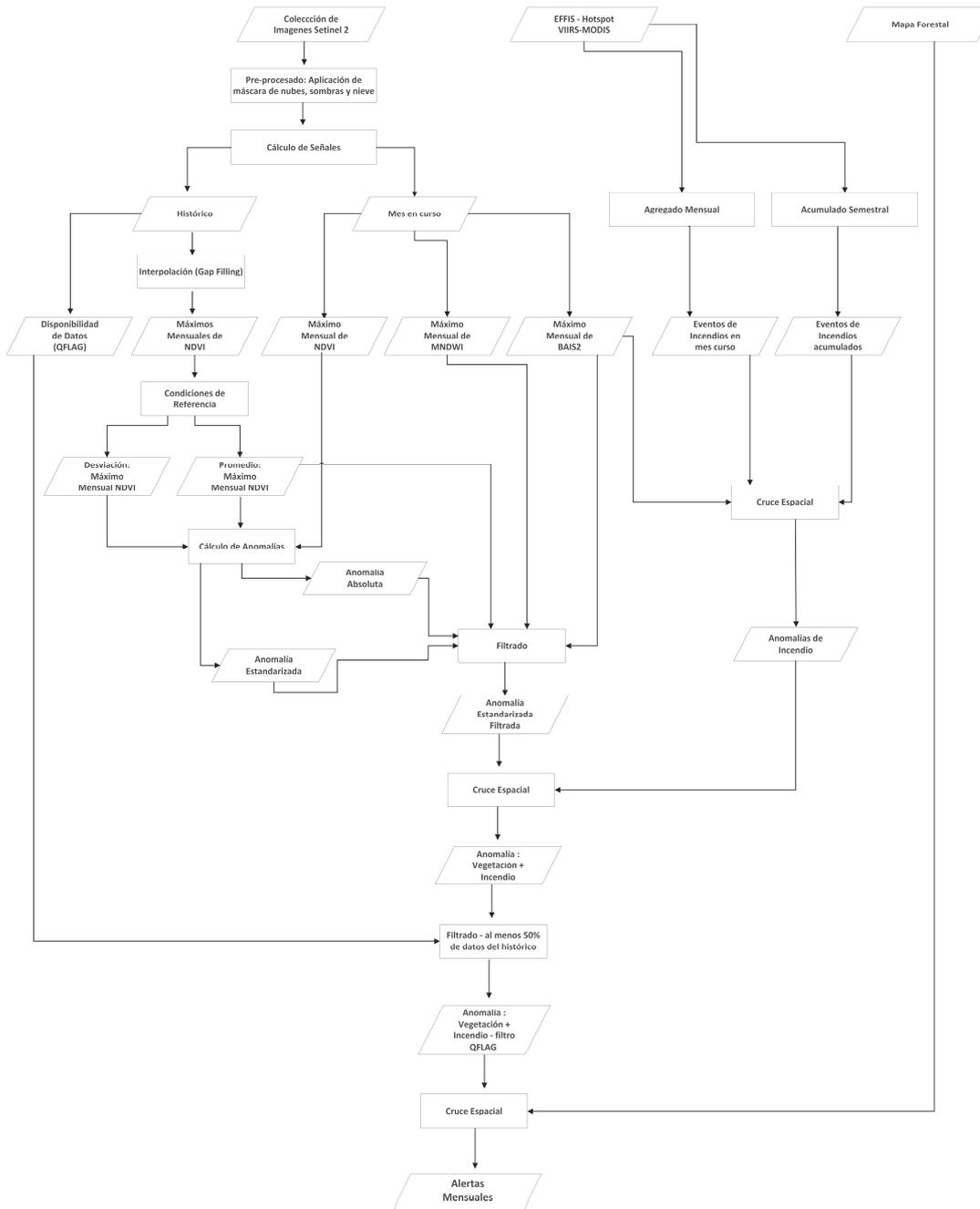


Figura 1: Flujo de procesos para el cálculo de las alertas mensuales en la superficie forestal.

- Selección, pre-procesado inicial de las imágenes Sentinel-2 y cálculo de índices espectrales.

Los datos de observación remota utilizados corresponden a la colección de imágenes Sentinel-2 MSI (Level-2A). Con el fin de eliminar la presencia de valores “no válidos” de las imágenes (producidos por la presencia de nieve, nubes y sombras), se enmascaran los píxeles correspondientes a las clases de nieve, hielo y sombras de la banda de calidad SCL y los píxeles con probabilidad de nube superior al 50% del producto “Cloud Probability” (Earth Engine, 2024), del conjunto de datos de probabilidad de nubes de Sentinel-2.

Adicionalmente, se genera una banda de calidad que informa sobre la “disponibilidad de datos”, que representa el porcentaje de imágenes de buena calidad en la serie temporal. Ésta es utilizada para filtrar aquellos píxeles con un número bajo de observaciones.

En la siguiente tabla están resumidos los índices espectrales calculados para la detección de las alertas.

Índice	Formulación	Descripción y uso
<i>Normalized Difference Vegetation Index</i> (Rouse et al., 1973)	$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$	Índice de vegetación correlacionado con la actividad vegetativa de las plantas. Utilizado en la identificación de las alertas por pérdidas de vigor vegetal.
<i>Modified Normalized Difference Water Index</i> (Xu, 2006)	$MNDWI = \frac{GREEN - SWIR}{GREEN + SWIR}$	Índice de agua. Utilizado en este caso para filtrar agua, nieve y brumas.
<i>Burn Area Index Sentinel-2</i> (Filippini, 2018)	$BAIS2 = \left(1 - \frac{\sqrt{RE2 * RE3 * NIR}}{RED}\right) * \left(\frac{SWIR2 - NIR}{\sqrt{SWIR2 + NIR}}\right)$	Índice de incendios adaptado a Sentinel-2. Permite identificar las superficies afectadas por el fuego.
<i>Bandas espectrales utilizadas en el cálculo de los índices: R, rojo; RE, borde del rojo; NIR, infrarrojo cercano; SWIR, infrarrojo medio</i>		

Con el fin de minimizar la influencia de los píxeles con valores anómalos (afectados por bruma, bordes de nube, etcétera) y no depurados con las máscaras previas, se optó por utilizar los compuestos máximos mensuales de estos índices.

Seguidamente, para dar consistencia a la serie de NDVI de máximos mensuales históricos, se realiza una interpolación lineal de más/menos un mes sobre los píxeles sin dato, debido a nubes, sombras, nieve o áreas saturadas.

- Cálculo de anomalías por pérdidas de actividad vegetativa

Abarca el análisis de los datos de NDVI máximos mensuales para generar las condiciones de referencia, y la obtención de anomalías mensuales. A continuación, se detalla la secuencia de pasos para la generación de las anomalías:

- Cálculo de condiciones de referencia: A partir de la serie histórica de los NDVI máximos mensuales interpolados se generan las capas ráster de media y desviación estándar.
- Cálculo de anomalías estandarizadas: Se obtienen a partir de la comparación del NDVI máximo mensual del mes en curso, frente a sus condiciones de referencia (media y desviación estándar). Sus valores oscilan entre -3 y 3, e indican la magnitud del cambio en la cobertura vegetal. Esta variación de la actividad vegetativa se mide por el número de desviaciones estándar que el dato en curso se desvía de su media histórica. Las anomalías estandarizadas categorizadas son la base para la generación de las alertas.
- Cálculo de anomalías absolutas: Se construye a partir de la comparación del NDVI máximo mensual del mes en curso, frente a su media mensual. Este ráster permite filtrar los píxeles de las anomalías estandarizadas que no poseen cambios significativos.
- Anomalías significativas y depuración de falsos positivos

Las anomalías estandarizadas indican, en primera instancia, una pérdida brusca de actividad vegetativa, al considerar los valores negativos que se desvían al menos 3 veces del promedio histórico (-3 desviaciones estándar).

Para que una anomalía sea significativa, se debe cumplir que su anomalía estandarizada sea mayor a -3 desviaciones estándar y su anomalía absoluta sea inferior a un umbral fijado entre -0.15 y -0.25, adaptado en función de los valores medios del NDVI en la serie histórica.

Las anomalías por pérdidas de actividad vegetativa son filtradas por el índice de agua, MNDWI, eliminando aquellos píxeles afectados por bruma o neblinas (disminuyen drásticamente los valores de NDVI), y por la capa de disponibilidad de datos, descartando aquellos píxeles con datos poco consistentes debido al bajo número de observaciones existentes en la serie histórica (valores inferiores al 50%).

Para minimizar los falsos positivos, anomalías asociadas a suelos oscuros, suelos volcánicos, así como sombras de nubes y laderas de umbría se utiliza el índice de incendio, BAIS₂.

- Cálculo de anomalías por incendios

Generado a partir del cruce espacial de los píxeles con respuesta de incendio según BAIS₂, con los agregados mensuales de los datos de EFFIS y FIRMS (Hotspots), del mes en curso. Asimismo, se ha generado el acumulado de eventos de incendios de los 6 meses anteriores, con respecto al mes de estudio. De esta manera se discriminan las cubiertas que siguen presentando una respuesta espectral de área quemada, producto de un evento de incendio ocurrido en los 6 meses anteriores, de los ocurridos en el mes en curso. Esto permite una mejor legibilidad del mapa de alertas, minimizando la confusión de estas superficies con anomalías significativas asociadas a pérdida de cobertura vegetal.

- Construcción de las alertas mensuales

La integración de las anomalías por pérdidas de actividad vegetativa ya depuradas, las anomalías de incendios y el Mapa Forestal de España (MFE), da lugar a las alertas mensuales. En consecuencia, las anomalías quedan categorizadas de la siguiente manera:

- Incendio mes en curso, superficie identificada como área quemada en el mes.
 - Incendio meses anteriores (hasta 6 meses), superficies que muestran pérdidas significativas de actividad vegetativa como consecuencia de un incendio ocurrido con anterioridad, hasta un máximo de 6 meses (posteriormente quedarían identificadas como alertas por pérdidas de vigor vegetal).
 - Pérdida de vigor vegetal en formaciones arboladas (según el MFE), superficies identificadas como anomalías significativas por pérdidas de vegetación en formaciones de arbolado o de arbolado ralo del MFE.
 - Pérdida de vigor vegetal en formaciones desarboladas (según el MFE), ídem al anterior para formaciones de desarbolado según el MFE.
 - Superficies estables, superficies sin anomalías significativas de NDVI o incendios.
 - Sin dato de calidad, superficies sin disponibilidad de datos fiables en el mes en curso o en las condiciones de referencia.
- Construcción de las alertas anuales

Las alertas anuales proceden de la consolidación de las alertas mensuales, teniendo en cuenta el tipo de alerta y su frecuencia de ocurrencia. Los criterios aplicados en la construcción de las alertas anuales son:

- Las alertas por incendios tienen prioridad sobre el resto de alertas y se consolidan directamente en la capa de alertas anuales.
- Las alertas por pérdidas de actividad vegetativa se consolidan en la capa de alertas anuales cuando su frecuencia es igual o mayor a tres meses consecutivos.

Las categorías de la capa de alertas anuales en la superficie forestal son:

- Alerta: Incendio, superficie afectada por el fuego en el transcurso del año.
- Alerta: Pérdida de vigor vegetal, superficies identificadas como alertas por pérdidas de actividad vegetativa en formaciones de arbolado, arbolado ralo y desarbolado del MFE.

Como información adicional, la capa de alertas anuales almacena para cada recinto el mes de inicio y fin de la alerta, así como el número de meses en los que ésta está activa.

5. Medios y programas utilizados

La rutina de las alertas, se ejecuta desde una máquina virtual en Google Cloud Platform. Todos los procesos concernientes al preprocesado de las escenas y generación de señales se ha realizado desde la plataforma de Google Earth Engine (Gorelick et al., 2017), con la API de Python, en el entorno de desarrollo Vertex AI. Por su parte, los procesos de cálculos de: condiciones de referencias, anomalías y alertas, se generan con el lenguaje R, desde el programa R Studio Server (Posit), el cual se despliega en un contenedor Docker. Finalmente, todas las señales y salidas asociadas a la rutina de las alertas, se almacenan en un bucket de Google Cloud Storage (alertas mensuales) y en una base de datos Postgre SQL (alertas anuales).

6. Fortalezas y debilidades

Las alertas mensuales en la superficie forestal proporcionan información actualizada y periódica (mensual) de los cambios más significativos ocurridos en la superficie forestal a escala nacional, a la resolución espacial de la malla del IEPNB de 25x25 metros.

Éstas, constituyen un producto de alerta temprana, generado de manera automática que informan sobre los incendios y las pérdidas significativas de la actividad vegetativa, sin que sea posible atribuirles su causalidad (factores antrópicos, bióticos o abióticos). No incluyen ninguna revisión por fotointerpretación o comprobación en campo, por lo que deben ser tomados como un dato auxiliar a verificar con otras fuentes de información de referencia.

El uso del NDVI máximo mensual, aunque muy útil para minimizar los datos contaminados por brumas o neblinas (que pueden dar lugar a falsas alertas por pérdidas de actividad vegetativa), tiene como contrapartida que las alertas no se ven reflejadas en esta capa hasta el mes siguiente a la pérdida.

En general, las alertas pueden mostrar infraestimaciones, especialmente en zonas con elevada cobertura nubosa (tercio norte peninsular, zonas de montaña o laurisilva en Canarias), debido a la menor disponibilidad de imágenes libres de nubes, o en zonas de montaña con persistencia de nieve.

Las alertas por pérdidas de actividad vegetativa pueden estar sobredimensionadas en zonas afectadas por sequías o cambios en la dinámica estacional, especialmente en zonas de pastizales (pastizales y dehesas con baja FCC) debido a su dinamismo y rápida respuesta a condiciones de ausencia o presencia de lluvias.

7. Unidad de medida

La unidad de medida es la superficie en hectáreas (ha).

La unidad mínima cartografiada es de:

- Alertas mensuales, pixel de 25x25 metros, resolución espacial de la malla del IEPNB.
- Alertas anuales, polígonos de 0,5 hectáreas (8 píxeles de 25x25 metros, paso de malla de las teselas forestales del Inventario Español del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, IEPNB).

8. **Ámbito geográfico**

El ámbito geográfico lo constituye todo el territorio nacional.

La información generada, es coherente con el resto de cartografía temática del IEPNB y está integrada en el módulo territorial (EIKOS) de la Plataforma de Gestión de la información de la DGBBD.

Su sistema de referencia, asociado a los códigos EPSG, es 25830 para Península y Baleares, y 32628 para Canarias.

9. **Periodicidad**

El producto de alertas mensuales se actualiza de manera mensual. Su acceso es restringido, aunque se puede suministrar bajo petición al MITECO.

El producto de alertas anuales se actualiza anualmente y es de acceso libre.

Las alertas se vienen generando desde 2019 y publicando desde 2024, año de implantación del Subsistema de información territorial, EIKOS.

10. **Desagregaciones**

Las alertas mensuales en la superficie forestal se desagregan en:

- Incendio mes en curso.
- Incendio meses anteriores (hasta 6 meses).
- Pérdida de vigor vegetal en formaciones arboladas (según el MFE).
- Pérdida de vigor vegetal en formaciones desarboladas (según el MFE).
- Superficies estables, superficies sin cambios significativos.
- Sin dato de calidad, superficies sin disponibilidad de datos de observación remota fiables.

Las alertas anuales en la superficie forestal se desagregan en:

- Alerta: Incendio.
- Alerta: Pérdida de vigor vegetal

11. **Tipo de indicador (global, europeo, nacional)**

Nacional.

12. **Organismo responsable**

Dirección General de Biodiversidad, Bosques y Desertificación del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

13. **Contacto**

Banco de Datos de la Naturaleza (buzon-bdatos@miteco.es).

14. Bibliografía

Cabello, Javier & Alcaraz-Segura, Domingo & Lourenço, Patricia. (2012). *Funcionamiento de los ecosistemas de la Red de Parques Nacionales de España: detección de impactos recientes y desarrollo de un sistema de seguimiento y alerta a partir de herramientas de teledetección.*

Earth Engine. (2024). Data Catalog Sentinel-2: Cloud Probability. https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/COPERNICUS_S2_CLOUD_PROBABILITY

Filipponi, F. (2018). "BAIS2: Burned Area Index for Sentinel-2" Proceedings 2, no. 7: 364. <https://www.mdpi.com/2504-3900/2/7/364>.

Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27.

Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., Deering, D., Deering, W. (1973). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, ERTS Third Symposium, NASA SP-351 I, pp. 309-317.

Xu, H. (2006). *Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery.* *International Journal of Remote Sensing*, 27: 3025-3033.