







Eraso Terán, O. H., Badia Perpinyà, A., Gisbert Traveria, M. (2022). Google Earth Engine aplicado al monitoreo de superficies quemadas y cambios de coberturas y usos del suelo, *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 29, 89–113. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.764>

GOOGLE EARTH ENGINE APLICADO AL MONITOREO DE SUPERFICIES QUEMADAS Y CAMBIOS DE COBERTURAS Y USOS DEL SUELO

^aOscar Hernando Eraso Terán  , ^bAnna Badia Perpinyà  , ^cMeritxell Gisbert Traveria  
Dep. de Geografía, Edifici B, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193 Bellaterra, Catalunya, España
^aoscarhernando.eraso@autonoma.cat, ^banna.badia@uab.cat, ^cmeritxell.gisbert@uab.cat

RESUMEN

Las imágenes satelitales procedentes de una gran variedad de sensores se han venido colectando desde hace décadas, conformando una base de datos especialmente útil para actividades de monitoreo a escala global. El uso eficiente de estas bases de datos (*Big data Earth*) es inviable con el método de trabajo tradicional, basado en la descarga de imágenes satelitales y en el procesamiento en equipos de escritorio. Debido a esto, desde el 2010, ha venido creciendo una oferta de plataformas que usan el entorno de nube para gestionar estos datos, dando una mayor capacidad de almacenamiento y velocidad en el procesamiento, lo que aporta una mayor flexibilidad al análisis de estos datos. En este artículo, se describen las características generales de las plataformas que permiten el procesamiento de *Big data* en un entorno de nube. Se listan las más importantes, enfocándose en *Google Earth Engine (GEE)* por ser de las más implementadas y con mayor potencial para el monitoreo de incendios forestales. Además, se presenta un ejemplo del método de uso de *GEE* para la evaluación de superficies quemadas, cambios de coberturas y usos del suelo, lo que permite facilitar el entendimiento de su uso.

Palabras clave: procesamiento en la nube; imágenes satelitales; incendios forestales.

GOOGLE EARTH ENGINE APPLIED TO THE MONITORING OF BURNED SURFACES AND LAND USE AND LAND COVER CHANGE (LULCC)

ABSTRACT

Satellite images from a wide variety of sensors have been collected for decades, forming an especially useful database for large-scale monitoring activities. The efficient use of these databases (*Big data Earth*) is not feasible with the traditional work method, based on the downloading of satellite images

Eraso Terán, O. H., Badia Perpinyà, A., Gisbert Traveria, M. (2022). Google Earth Engine aplicado al monitoreo de superficies quemadas y cambios de coberturas y usos del suelo, *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 29, 89–113. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.764>

and processing on desktop computers. Due to this, since 2010, an offer of platforms that use the cloud environment to manage this data has been growing, giving greater storage capacity and processing speed, which provides greater flexibility in the analysis of this data. In this article, the general characteristics of the platforms that allow the processing of *Big data* in a cloud environment are described, the most important ones are listed, focusing on *Google Earth Engine* (GEE) as it is one of the most implemented and with the greatest potential for forest fire monitoring. In addition, an example of the method of use of GEE is presented for the evaluation of burned surfaces, changes in coverage and land uses, which allows to facilitate the understanding of its use.

Keywords: cloud processing; satellite images; forest fires.

1. Introducción

Google Earth Engine (GEE) se está posicionando a nivel global como una opción importante para el monitoreo de grandes superficies, debido a que permite acceder de forma gratuita a las grandes bases de datos de imágenes satelitales y ofrece una gran capacidad de procesamiento para el análisis de datos masivos de observación terrestre (Moore & Hansen, 2011; Kumar & Mutanga, 2018; Campos, *et al.*, 2018; Crespi, *et al.*, 2020; Gomes, *et al.*, 2020; Losada, 2020; Mugiraneza, *et al.*, 2020). Este artículo, es una revisión de tema sobre el contexto actual de GEE y sus aplicaciones a nivel internacional y, sobre todo, latinoamericano, describiendo su uso en el monitoreo y puntualizando en las áreas quemadas. A nivel introductorio, se hace una descripción de las plataformas con procesamiento de productos satelitales en la nube, enumerando las más importantes, describiendo las tecnologías que implementan y una comparación de estas con las tradicionales. A continuación, se entra a explicar la arquitectura de GEE, las tecnologías que usa, los productos satelitales a los que da acceso y las utilidades que ofrece. Una vez enmarcado el contexto, se relatan diferentes aplicaciones que se le puede dar a GEE para el monitoreo de la vegetación y se amplía la descripción en lo referente al monitoreo de superficies quemadas. Por último, se ofrece un ejemplo práctico de uso de GEE para la obtención, y análisis, de índices espectrales a partir del procesamiento de imágenes satelitales.

Las aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y de las imágenes satelitales han sobrepasado dimensiones impensables hace unos años. A pesar de ello, hasta la década de 2020 aún existía un rezago tecnológico que ha impedido poder analizar la extensa cantidad de información satelital disponible. Hasta fechas recientes, el enfoque de los estudios de monitoreo centraba su interés a una escala regional y en periodos cortos de tiempo. No obstante, actualmente, las tecnologías existentes brindan la posibilidad de realizar análisis a nivel continental y de periodos largos de tiempo. Los datos de observación terrestre (OT) son cada vez más complejos para descargar y la tendencia es realizar el procesamiento de las mismas en el entorno donde se encuentran alojadas. Se está viviendo un momento disruptivo, debido a que los analistas y los usuarios finales confían cada vez más en los flujos de trabajo web (Sudmanns *et al.*, 2020).

Actualmente, las infraestructuras en la nube pueden proporcionar flexibilidad para gestionar el almacenamiento y una mayor velocidad en el procesamiento de grandes cantidades de datos, haciendo posible análisis que antes se consideraban inviables debido al volumen de datos y las restricciones computacionales. En este sentido, GEE es una plataforma basada en la nube que facilita el acceso

Eraso Terán, O. H., Badia Perpinyà, A., Gisbert Traveria, M. (2022). Google Earth Engine aplicado al monitoreo de superficies quemadas y cambios de coberturas y usos del suelo, *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 29, 89–113. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.764>

tanto a *Big data* de detección remota multitemporal como a recursos informáticos de alto rendimiento (Crespi, *et al.*, 2020; Perilla & Mas, 2020). GEE destaca respecto a otras plataformas, porque ofrece la máxima escalabilidad, es decir, cuenta con la capacidad de aumentar el rendimiento del procesamiento, agregando más recursos (hardware / software) en paralelo, con lo que no hay un impacto directo en la forma en que los científicos realizan su análisis. Además, los usuarios no tienen ninguna limitación en el acceso a los datos y se pueden desentender de los aspectos relacionados con los servidores, recursos de hardware y software (Gomes, *et al.*, 2020).

Un ejemplo para ver el potencial de la herramienta en todos los sentidos (velocidad, capacidad, etc.) es el trabajo de Hansen, *et al.* (2013), donde los autores identificaron el cambio de cobertura forestal a escala global entre los años 2000 y 2012 utilizando 654 178 imágenes de Landsat 7 (resolución espacial de 30 m), con un total de 707 terabytes de datos. El procesamiento tomó 100 h en GEE, en comparación con aproximadamente 1 000 000 h que habría tomado una computadora de escritorio estándar (Xiong, 2018).

2. Antecedentes de las plataformas con procesamiento en la nube

Los avances tecnológicos han permitido generar una gran cantidad de datos geográficos difíciles de gestionar por su volumen, su naturaleza y la velocidad con la que tienen que ser procesados, que sobrepasa la capacidad de los sistemas informáticos habituales. La captura y análisis de datos procedentes de una gran variedad de sensores y metodologías geomáticas como la topografía terrestre, la fotogrametría y la detección remota, el escaneo láser, el mapeo móvil, la Información Geográfica Voluntaria (VGI), entre otros, requieren de herramientas específicas que agilicen su tratamiento. Esta información se ha venido colectando desde hace décadas, y es especialmente útil para actividades de monitoreo. Un ejemplo de estas colecciones de datos son los productos de teledetección, los cuales actualmente están disponibles gratuitamente en el Programa Copernicus de la Unión Europea (Copernicus, 2020) y en varias agencias gubernamentales de los Estados Unidos (NASA, USGS y NOAA). Esta información ya permite análisis a niveles globales, pero requiere el uso de tecnologías con capacidad de manejo a escala de petabyte (Crespi, *et al.*, 2020).

En la Figura 1, se ilustra la cronología de las soluciones técnicas y su grado de interactividad (procesamiento en línea, carga y descarga de datos) y muestra el incremento de las soluciones y plataformas disponibles a lo largo del tiempo. El número de plataformas con mayor interactividad, es decir, la posibilidad para que el usuario interactúe con el servicio (por ejemplo, procesamiento en línea, carga y descarga de datos), ha aumentado claramente en los últimos años. El grado de interactividad determina la experiencia de los usuarios de una plataforma, porque facilita la integración del servicio en la nube y el flujo de trabajo (Sudmanns, *et al.*, 2020).

Eraso Terán, O. H., Badia Perpinyà, A., Gisbert Traveria, M. (2022). Google Earth Engine aplicado al monitoreo de superficies quemadas y cambios de coberturas y usos del suelo, *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 29, 89–113. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.764>

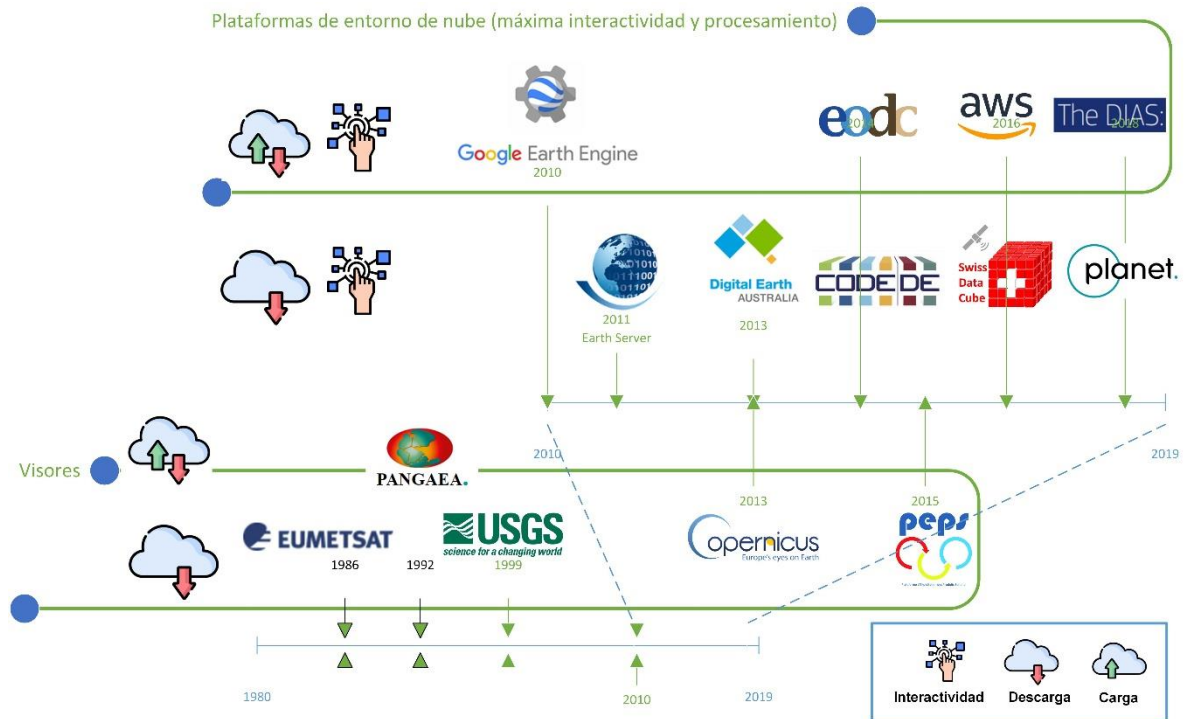


Figura 1. Línea de tiempo de la aparición de diferentes portales de OT

Fte. Adaptado de Sudmanns, *et al.*, 2020.

Fuente iconos: (Flaticon, 2021)

En la Tabla 1 se reseña la descripción de estas plataformas, respecto al método de almacenamiento de los datos y la disponibilidad de información que ofrecen.

Muchas agencias espaciales y entidades de investigación proporcionan sus conjuntos de datos recopilados directamente a los usuarios finales. Algunos ejemplos son Data Center EUMETSAT de la Organización Europea para la Explotación de Satélites Meteorológicos y Copernicus Open Access Hub de la European Space Agency (ESA), EarthExplorer, GloVis y LandsatLook Viewer de la United States Geological Survey (USGS), que permiten el acceso y/o visualización de productos Landsat, Sentinel, entre otros. En 2017, la Comisión Europea comenzó a desarrollar Copernicus Data and Information Access Services (DIAS), lanzado públicamente en junio de 2018, que también agrupa diferentes fuentes de información de satélites medioambientales y bases terrestres. La NASA, tiene EarthData y WorldView (Bereta, *et al.*, 2018; Sudmanns, *et al.*, 2020; Nasa, 2020; USGS, 2020; Yukhnovskiy & Zibtseva, 2020).

Eraso Terán, O. H., Badia Perpinyà, A., Gisbert Traveria, M. (2022). Google Earth Engine aplicado al monitoreo de superficies quemadas y cambios de coberturas y usos del suelo, *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 29, 89–113. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.764>

Tabla 1. Descripción de plataformas de gestión de grandes bases de OT

NOMBRE Y AÑO DE LANZAMIENTO	TIPO	ESTRUCTURA DE LOS DATOS	DATOS DISPONIBLES
Google Earth Engine (2010)	Privado	Contenedor de 2D, trama cuadrículada (<i>gridded raster</i>)	Imágenes de satélite; Productos derivados de datos satélites
Amazon Web Services -AWS (2016)	Privado	Archivos de imagen	Imágenes de satélite; Productos derivados de datos satélites
Earth Server (2011)	Público-privado	Cubo de datos	Imágenes de satélite; Productos derivados de datos satélites, modelos de salida
EODC (2014)			
Centro de datos de observación de la Tierra para el monitoreo de los recursos hídricos	Público-privado	Archivos de imagen	Imágenes de satélite; Productos derivados de datos satélites
Swiss Data Cube (2016)	Público	Cubo de datos	Imágenes de satélite; Productos derivados de datos satélites
Digital Earth Australia (2013)	Público	Cubo de datos	Imágenes de satélite
CODE-DE (2015)	Público	Archivos de imagen	Imágenes de satélite
Copernicus Data and Exploitation PEPS (2015)			
Plateforme d'Exploitation des Produits Sentinel	Público	Archivos de imagen	Imágenes de satélite
DIAS (2018): cinco plataformas de servicios de acceso a los datos y la información	Público	Archivos de imagen	Imágenes de satélite; imágenes UAS; productos data; mapas digitales
PLANET (2018)	Público-privado	Archivos de imagen	Imágenes de satélite
Earth Explorer (USGS) (2000)	Público	Archivos de imagen	Imágenes de satélite; imágenes UAS; productos data; mapas digitales
Copernicus Open Access Hub (2013)	Público	Archivos de imagen	Imágenes de satélite
EUMETSAT			
Data Centre (1987)	Público	Archivos de imagen	Imágenes de satélite, productos derivados de datos satelitales
PANGEA (1993)	Público	Datos ráster, tipo punto y vector	Productos derivados de datos satelitales y modelos de salida

Fte. Lewis, *et al.*, 2017; Sudmanns, *et al.*, 2020

Aunque las plataformas anteriores proporcionan las bases de datos, además de posibilidades de visualización, descarga y procesamiento, son las iniciativas privadas como GEE y Amazon Web Services (AWS) las que destacan en la oferta de soluciones para el análisis a nivel de petabyte. (Lehmann, *et al.*, 2020; Sudmanns, *et al.*, 2020; Tsiakos, *et al.*, 2020). AWS ofrece a los usuarios acceso a una variedad de conjuntos de datos, por ejemplo, Landsat, Copernicus, MODIS, modelos digitales de elevación (DEM), en un entorno basado en la nube. Servicios como el *EO Browser* proporcionado por la empresa Sinergise son basados en AWS (Palankar, *et al.*, 2008).

Esta capacidad informática de las plataformas para la gestión, el almacenamiento y el acceso de grandes bases de *OT*, se debe a que el procesamiento se lleva a cabo directamente en el servidor,

Eraso Terán, O. H., Badia Perpinyà, A., Gisbert Traveria, M. (2022). Google Earth Engine aplicado al monitoreo de superficies quemadas y cambios de coberturas y usos del suelo, *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 29, 89–113. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.764>

sin tener que descargar grandes cantidades de conjuntos de datos. Además, integran diferentes tipos de tecnologías, como las interfaces de programación de aplicaciones (*API*) y servicios web, que fueron creados específicamente para la gestión y el análisis de datos de grandes dimensiones (Gomes, *et al.*, 2020; de Andrés, 2020). En el caso de la *API* de GEE, permite combinar datos de diferentes sensores, aumentando de esta forma la cantidad de información mejorando la precisión al ejecutar una clasificación de imágenes más avanzada, GEE hace uso de los enfoques basados en el aprendizaje profundo, que es lo más avanzado en este tipo de análisis (Ghaffarian, *et al.*, 2020).

En términos generales, los servicios en la nube toman la ventaja de Internet como recurso para un análisis simultáneo y masivo. Esto permite mejorar el rendimiento de las siguientes maneras:

1. *Big data*: aprovechando grandes bases de datos.
2. Procesado en la nube: aprovechando el poder de procesamiento de la infraestructura de la nube para cálculos en línea, ya que permite la computación en el corto plazo.
3. Aprendizaje colectivo: reutilizar y compartir una base de conocimientos, que incluye procedimientos, entornos, resultados, rendimientos.
4. Código abierto y acceso abierto: intercambio humano de código de fuente abierta, datos y diseños para programación. Conduce al avance de las tecnologías.
5. *Crowd-sourcing*: orientación humana (centros de llamadas) para el manejo de excepciones y recuperación de errores (Chowdhury, 2017).

La columna vertebral del análisis de datos de *Big data Earth* es el uso de una plataforma informática distribuida (nubes). Los servicios de computación en la nube se clasifican en cuatro tipos: Infraestructura como servicio (IaaS), plataforma como servicio (PaaS), *software* como servicio (SaaS) y datos como servicio (DaaS). IaaS proporciona recursos informáticos virtualizados a través de Internet que se pueden utilizar para almacenamiento, copia de seguridad o análisis de *Big data*, con una estructura de pago por uso. PaaS proporciona el hardware y herramientas de *software* a través de Internet necesarias para el desarrollo, la prueba y la entrega de aplicaciones. SaaS a menudo se denomina "*software* bajo demanda", donde los proveedores de la nube entregan aplicaciones de *software* a través de Internet, generalmente en una base de suscripción (Yang, *et al.*, 2011). Un ejemplo muy común de SaaS es la plataforma de ArcGIS Online (ESRI), que permite implementar aplicaciones en la nube. Finalmente, DaaS aporta acceso y utilización, incluido el software necesario para interpretar los datos (Olson, 2009; Yang *et al.*, 2011).

La implementación de estas nuevas tecnologías significa un cambio en el método de trabajo de los analistas de *OT*, que se puede evidenciar en la Figura 2 **Error! No s'ha trobat l'origen de la referència.** La parte izquierda de la imagen muestra la forma "tradicional" y unidireccional, de producción de información, donde los datos se descargan, se analizan localmente y se transforman en un mapa para el usuario final. El lado derecho, en cambio, muestra un flujo de trabajo en la nube, donde el proveedor de datos genera los análisis y almacena los resultados en un entorno de nube. El producto final también residirá en la nube, de fácil acceso para el usuario final (Sudmanns, *et al.*, 2020).

Eraso Terán, O. H., Badia Perpinyà, A., Gisbert Traveria, M. (2022). Google Earth Engine aplicado al monitoreo de superficies quemadas y cambios de coberturas y usos del suelo, *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 29, 89–113. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.764>

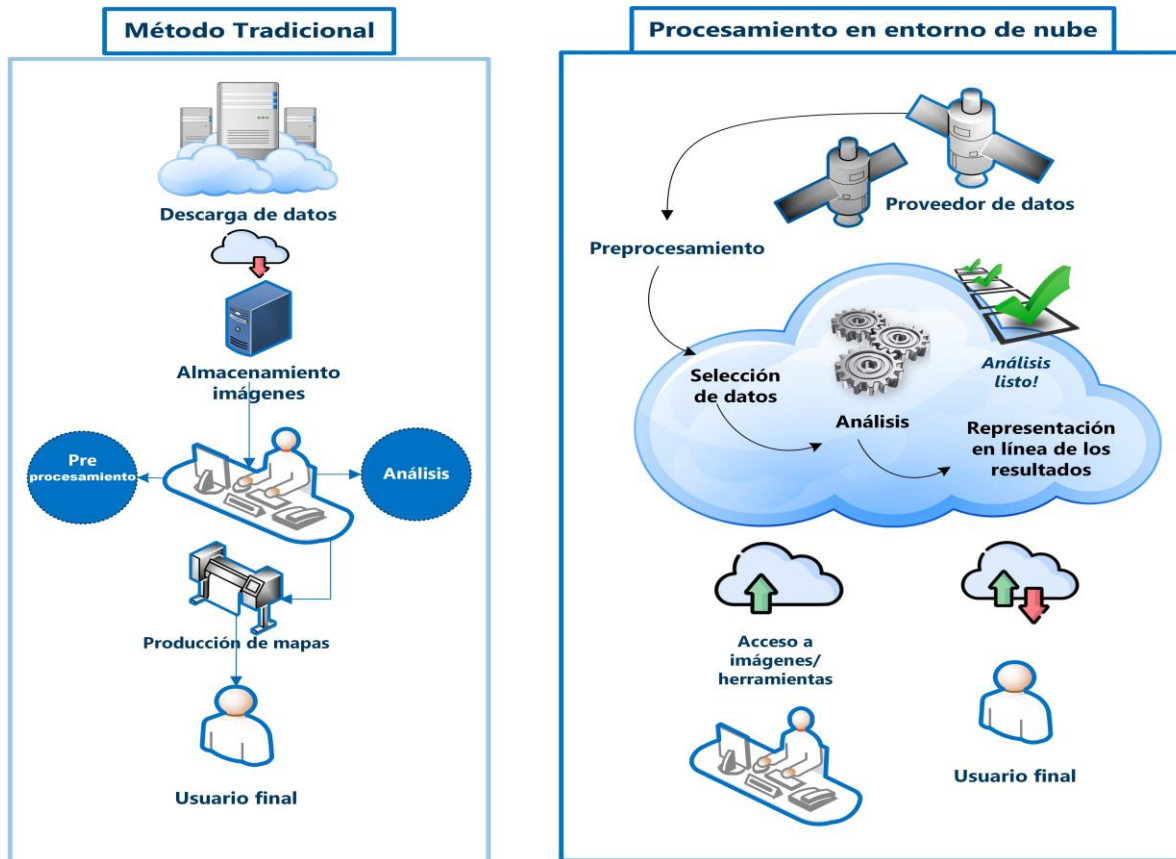


Figura 2. Fte. Adaptado de Sudmanns, *et al.*, 2020. Software: Visio, 2019
Fte. Imagen servidores nube: (Freepng, 2021)

3. ¿Qué es GEE?

GEE es una herramienta que forma parte de una nueva generación de plataformas con procesamiento en la nube, que dan acceso a un gran catálogo de imágenes satelitales, con capacidad de realizar análisis globales de manera eficiente y de procesar a escala petabyte (PB) (Long, *et al.*, 2019). Permite utilizar y mezclar diferentes tipos de *datasets*, como imágenes de satélites geofísicos, de clima y de tiempo, y datos demográficos. Además, puede cargar tanto datos ráster como vectoriales (Ramos, 2018). GEE fue lanzado por Google en el año 2010, como una evolución de *Google Earth*, y en 2011 ya se publicaron los primeros artículos que mencionaban el uso de GEE. La implementación de esta herramienta ha dado lugar a un incremento exponencial de artículos sobre su uso, prueba de ello es el número de la revista *Remote Sensing* dedicado exclusivamente a las aplicaciones de GEE (Kumar & Mutanga, *Google Earth Engine Applications*, 2019).

Actualmente, está disponible como un servicio gratuito para proyectos sin fines de lucro, no comerciales y de investigación utilizando un modelo similar al resto de servicios basados en la nube

Eraso Terán, O. H., Badia Perpinyà, A., Gisbert Traveria, M. (2022). Google Earth Engine aplicado al monitoreo de superficies quemadas y cambios de coberturas y usos del suelo, *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 29, 89–113. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.764>

de la empresa. Esta plataforma cuenta con un entorno de programación integrado (infraestructura de datos espaciales -IDE) basado en la web, llamado Editor de Código de Earth Engine (Code Editor EE) que facilita el uso de la interfaz de aplicaciones de programación -*Application Programming Interface* o API-, las aplicaciones de terceros o las librerías de cliente (Sudmanns, *et al.*, 2020). Las solicitudes son creadas en la IDE y canalizadas a los servidores a través de la API (Morales, 2020). Por lo tanto, es en el Editor de Código donde los usuarios pueden escribir y ejecutar *scripts*, es decir, formular sus peticiones.

El editor de código ofrece acceso a toda la potencia de la plataforma. No obstante, para aquellos que no tienen una formación técnica, y se les dificulta el uso de la API debido a que se debe saber JavaScript o Python, existe la opción de usar las librerías de cliente (*client libraries*), que evitan la necesidad de configurar manualmente las solicitudes HTTP y de analizar las respuestas (Zhang, *et al.*, 2020). En la Figura 3, se muestra un esquema de la arquitectura de GEE.

La plataforma de GEE está construida a partir de una colección de tecnologías disponibles en la infraestructura de Google, como el sistema de gestión de clústeres informáticos a gran escala (Borg), las bases de datos distribuidas (Bigtable y Spanner), el sistema de archivos distribuido (Colossus) y el marco de ejecución de canalización paralela FlumeJava (Gorelick, *et al.*, 2017). Además, ofrece acceso computacional intrínsecamente paralela a miles de computadoras de los centros de datos de Google (Google, 2020).

De los *datasets* que pueden ser usados en GEE, destacan: el catálogo Landsat de EROS (Earth Resources Observation and Science) (USGS / NASA), numerosos conjuntos de datos del Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer MODIS), datos de: (1) Sentinel 1 y 2, (2) NAIP (National Agriculture Imagery Program), (3) precipitación, (4) temperatura de la superficie del mar, (5) climáticos de CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data) y (6) de elevación (Morales, 2020). Con todo este conjunto de datos, GEE es uno de los recursos que más productos puede ofrecer a la hora de descargar imágenes de satélite gratuitas sin tener que buscar estrategias de captura de imágenes. Además, para una gestión más ágil, éstas se pueden obtener desglosadas por bandas (GIS, 2017). En la Figura 4 **Error! No s'ha trobat l'origen de la referència.** se relacionan los datos y productos satelitales que se pueden usar en GEE y las principales características de la plataforma.

GEE a través del gestor de imágenes permite escoger momentos temporales específicos, realizar combinaciones de bandas como hacen otras plataformas de satélite, descargar mosaicos, seleccionar las bandas de trabajo y escoger el formato de salida (JPG, PNG o GeoTIFF), la proyección y la resolución. Además, es posible acceder a múltiples fuentes de descarga de DEM en formato ráster (SRTM, GTOPO30, ETOPO1, USGS) con resoluciones de píxel variables, según el recurso cartográfico seleccionado.

Eraso Terán, O. H., Badia Perpinyà, A., Gisbert Traveria, M. (2022). Google Earth Engine aplicado al monitoreo de superficies quemadas y cambios de coberturas y usos del suelo, *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 29, 89–113. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.764>

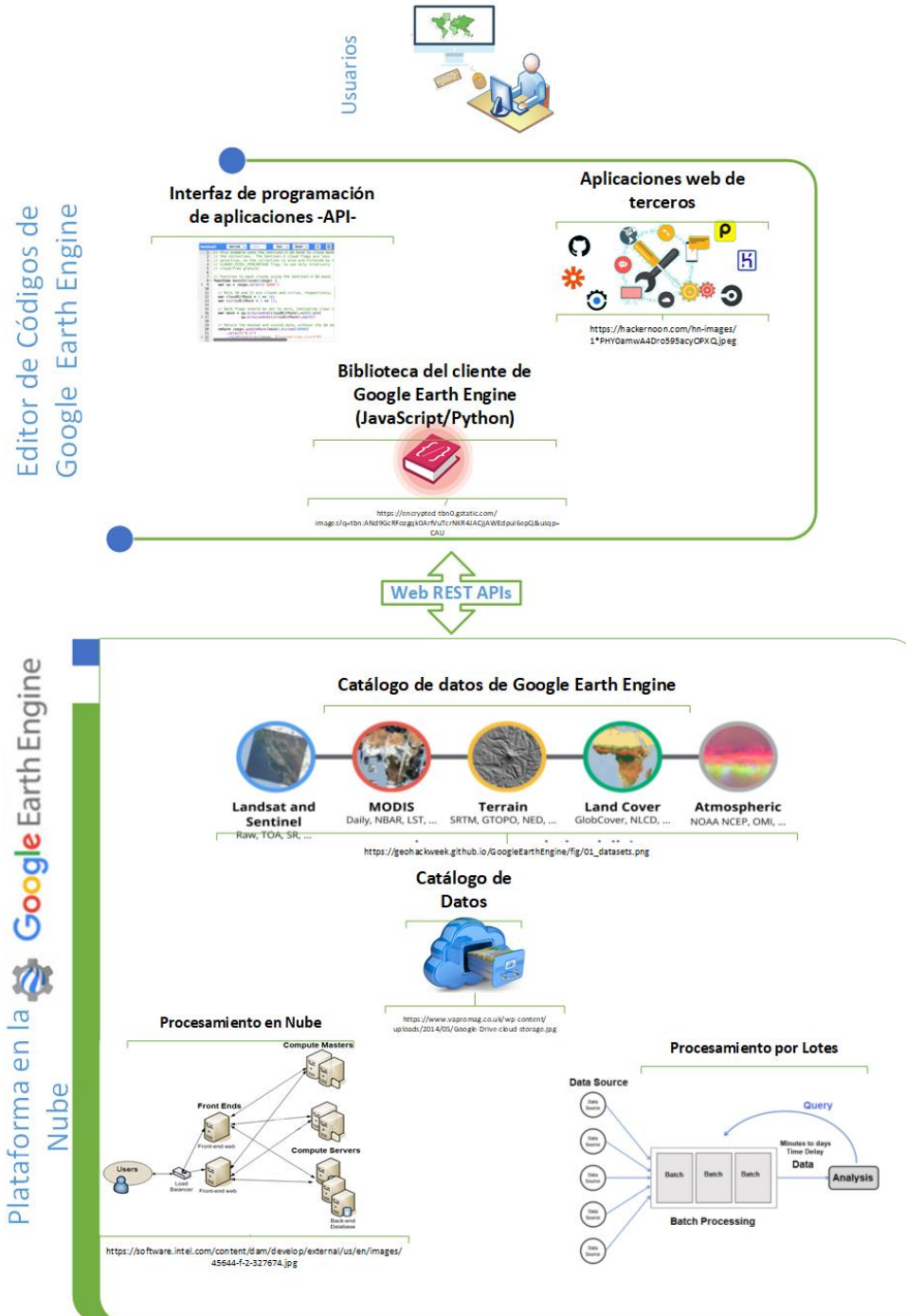


Figura 3. Un diagrama de arquitectura del sistema simplificado de GEE
Fte. Adaptado de Gorelick, *et al.*, 2017; Zhang, *et al.*, 2020.

Eraso Terán, O. H., Badia Perpinyà, A., Gisbert Traveria, M. (2022). Google Earth Engine aplicado al monitoreo de superficies quemadas y cambios de coberturas y usos del suelo, *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 29, 89–113. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.764>

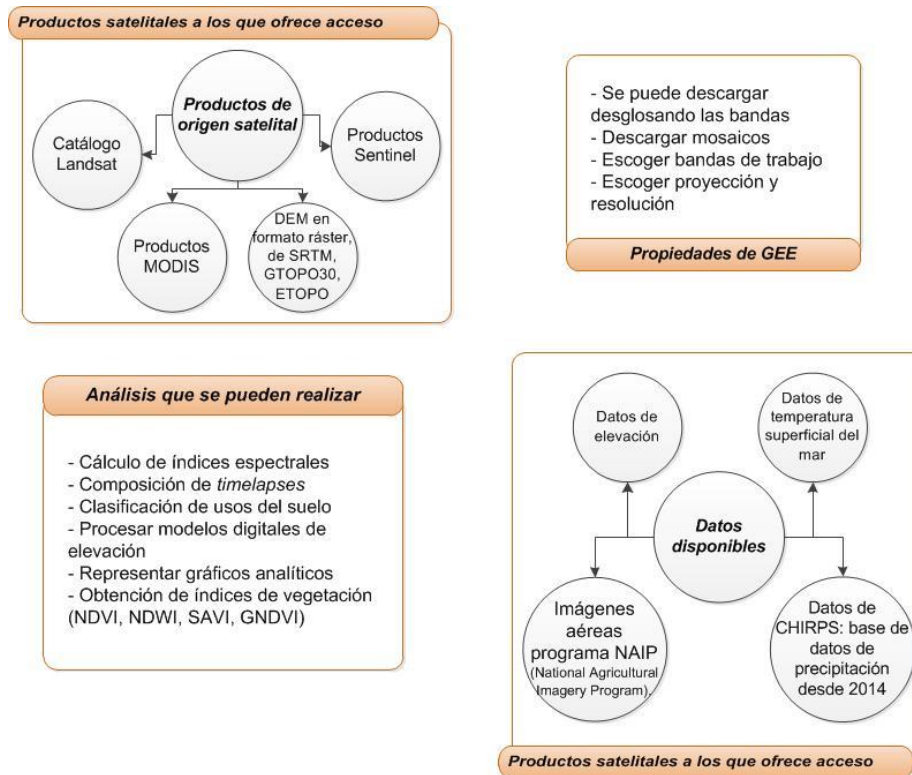


Figura 4. Datos que se pueden usar en GEE, características, análisis, formatos de salida

Fte. Los autores, 2022

4. El uso de GEE en el monitoreo de la vegetación

Los esfuerzos iniciales de GEE se centraron principalmente en el monitoreo y la medición de los bosques mundiales, en apoyo de las actividades de REDD + (Moore & Hansen, 2011). Actualmente, los tópicos principales en los que se ha implementado GEE son: 1) mapeo y monitoreo de la vegetación y de la cobertura del suelo; 2) aplicación en la agricultura; 3) gestión del riesgo y ciencias de la tierra. La mayoría de los trabajos se han dado en el campo del monitoreo de vegetación y bosques, así como mapeo de cambio de uso/cobertura del suelo. En cambio, a día de hoy existen pocos estudios que utilicen el GEE para el monitoreo de desastres, enfermedades y suelos (Kumar & Mutanga, 2018, 2019).

En cuanto al monitoreo de vegetación, en la mayoría de los casos se utilizan imágenes Landsat (Operational Land Imager -OLI o Thematic Mapper -TM), Terra/Aqua-MODIS y Sentinel, al poder clasificarse usando la interfaz de programación de aplicaciones (API) y empleando algoritmos como Random Forest (clasificador de bosque aleatorio, *RF*) en agrupaciones densas de Landsat o Sentinel 2. Con el uso del algoritmo aleatorio, se realiza la clasificación de la cobertura de la tierra, y, además

Eraso Terán, O. H., Badia Perpinyà, A., Gisbert Traveria, M. (2022). Google Earth Engine aplicado al monitoreo de superficies quemadas y cambios de coberturas y usos del suelo, *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 29, 89–113. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.764>

se puede obtener los conjuntos de datos anuales de cambio de cobertura (Hu & Hu, 2019). Dentro de los objetivos de los estudios, predomina el determinar los cambios espacio-temporales de uso de la tierra/cobertura, así como los principales factores que impulsan los cambios en las diferentes categorías de cobertura de la tierra (Zhang & Zhang, 2020). También ha mostrado efectividad en el mapeo de paisajes fragmentados (Myroniuk, *et al.*, 2020).

Haciendo uso de la aplicación Climate Engine en la base de datos de GEE, se pueden obtener los índices de vegetación (tales como índice de vegetación de diferencia normalizada -*NDVI*, índice diferencial de agua normalizado -*NDWI*, índice de vegetación mejorado -*SAVI*, índice de vegetación verde de diferencia normalizada -*GNDVI*, entre otros) usando imágenes satelitales *Landsat* en la parte inferior de la atmosfera (*BOA*) o *Sentinel 2* (Alvarado, *et al.*, 2019). Esta funcionalidad de obtener índices de vegetación, permite analizar la evolución temporal de la cobertura vegetal y los diferentes usos de suelo, al comparar series temporales de *NDVI* (Aldás, 2019). GEE, como la teledetección tradicional, también permite el cálculo a escala global de variables claves para medir la biodiversidad, como son el índice de área foliar (*IAF*), la fracción de radiación fotosintéticamente activa absorbida (*FAPAR* por sus siglas en inglés) y el contenido de agua del dosel (*CWC* por sus siglas en inglés) (Campos, *et al.*, 2018). Otros usos son pronosticar flujos de arroyos en áreas nevadas (Sproles, *et al.*, 2018) y la ocurrencia de sequías, utilizando la humedad del suelo como un indicador y pronosticando tanto la duración como la intensidad (Sazib, *et al.*, 2018).

También se pueden usar los datos de la temperatura de la superficie terrestre (*LST*) para evaluar las condiciones de la superficie terrestre, por ejemplo, estudios de clima urbano, evapotranspiración y estrés de la vegetación. La serie de satélites *Landsat* tiene el potencial de proporcionar estimaciones de *LST* a una resolución espacial alta, lo cual es particularmente apropiado para estudios locales o de pequeña escala. Sin embargo, para aplicarse en grandes extensiones de territorio, es necesario que los usuarios puedan manejar grandes volúmenes de datos, y es acá, donde GEE marca la diferencia, ya que recoge todo el conocimiento adquirido en la *OT* y permite a los usuarios de teledetección realizar fácilmente análisis de *Big data*, sin aumentar la demanda de recursos informáticos locales (Ermida, *et al.*, 2020).

Respecto a los usos en la agricultura, GEE facilita la estimación de rendimientos, el mapeo de áreas de cultivo y la evaluación de la vulnerabilidad a plagas y enfermedades (He, *et al.*, 2018; Aguilar, *et al.*, 2018; Carpio, 2018). Esta tecnología también se ha usado para investigar sobre el alcance y la respuesta a los desastres, por ejemplo, desarrollar un sistema de prevención y respuesta a inundaciones, al poder integrar datos de cada etapa de los eventos de inundación antes, durante y después (Cheng, *et al.*, 2018).

5. GEE aplicado al monitoreo de superficies quemadas

Respecto a la aplicación específica de monitoreo de áreas quemadas, en GEE se pueden crear mapas de áreas quemadas o *burning areas* (*BA*) de forma automática a partir de series temporales de imágenes *Landsat* o *Sentinel 2* de las que se calculan varios índices espectrales (Long, *et al.*, 2019). Respecto a las imágenes, Anaya, *et al.*, (2018) indican la importancia del uso de los datos *Sentinel 2*, que cuentan con una resolución temporal (5 vs 16 días) y espacial (10-20 m vs 30 ms) superior a la

Eraso Terán, O. H., Badia Perpinyà, A., Gisbert Traveria, M. (2022). Google Earth Engine aplicado al monitoreo de superficies quemadas y cambios de coberturas y usos del suelo, *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 29, 89–113. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.764>

del programa Landsat. No obstante, *Landsat 8* y *9* poseen bandas térmicas (Barboza, *et al.*, 2020). De allí, la importancia de usarlos de forma conjunta (Bar, Ranjan, & Chandra, 2020)

Al generar mapas de área quemada se necesita identificar solo dos categorías: sin cambio (no quemado) y con cambio (quemado). La detección multitemporal se usa para identificar si la vegetación ha sido quemada, para ello se utilizan dos imágenes de satélite y se determina si hubo un cambio de vegetación no quemada (prefuego) a vegetación quemada (postfuego) (Anaya, *et al.*, 2018). Para esto, GEE tiene disponibles distintos niveles de procesamiento de imágenes Landsat y Sentinel 2 que van desde los simples niveles digitales hasta productos más elaborados como el índice de área quemada (*NBRI*) (Chuvieco, *et al.*, 2002).

Estos índices, identifican las áreas quemadas, basándose en el contraste de reflectancia bitemporal (pre y post incendio) de bandas espectrales sensibles a la combustión. Es decir, que se puede utilizar GEE para calcular índices espectrales diferenciales, a saber, índice de área quemada de diferencia normalizada (*NBRI*), índice de vegetación de diferencia normalizada (*NDVI*), o índice de agua de diferencia normalizada (*NDWI*). En la Tabla 2 se describe las combinaciones de bandas en Sentinel 2 de los índices de diferencia normalizada mencionados. El compuesto de índices espectrales diferenciales se utiliza, además, como una entrada para los algoritmos de agrupamiento no supervisados y para capturar la forma y el patrón de las superficies de los incendios (Bar, Ranjan, & Chandra, 2020). Otros índices para analizar los incendios forestales son el índice de combustión normalizado 2 (*NBR2*) y el índice de combustión en el infrarrojo medio (*MIRBI*) (Barboza, *et al.*, 2020).

Tabla 2. Índices espectrales diferenciales para la identificación de áreas quemadas

Índices	Formula	Bandas Sentinel 2
Índice de vegetación de diferencia normalizada	$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$	$NDVI = (B8 - B4) / (B8 + B4)$
Índice de agua de diferencia normalizada	$NDWI = (GREEN - NIR) / (GREEN + NIR)$	$NDWI = (B3 - B8) / (B3 + B8)$
Índice de área quemada de diferencia normalizada	$NBRI = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$	$NBRI = (B8 - B12) / (B8 + B12)$

Fte. Adaptado de Barboza, *et al.*, 2020

Es con este análisis que se pueden extraer las superficies quemadas a partir de valores *NBR*, que pueden ser clasificados en píxeles quemados y no quemados. Este proceso mejora la detección de cambios en la cubierta vegetal, por ende, la identificación de *BA* (Anaya, *et al.*, 2018). En GEE, mediante los algoritmos de aprendizaje automático, se puede hacer el mapeo de áreas quemadas o calcular la probabilidad de quemado de cada píxel (Long, *et al.*, 2019). Dentro de estos algoritmos, se reporta el uso de Random Forest (RF), Classification Regression Tree (CART) y Support Vector Machine (SVM), que han sido usados para ubicar parches de incendio en coberturas forestales (Bar, *et al.*, 2020). Esto permite analizar la ocurrencia de incendios forestales, al procesar de forma conjunta la detección de áreas quemadas, sus métricas de paisaje y el uso de la tierra y las cubiertas vegetales pre-incendios forestales (Sarricolea, *et al.*, 2020).

Eraso Terán, O. H., Badia Perpinyà, A., Gisbert Traveria, M. (2022). Google Earth Engine aplicado al monitoreo de superficies quemadas y cambios de coberturas y usos del suelo, *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 29, 89–113. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.764>

6. Ejemplo de uso de GEE para la captura de datos en el marco de la identificación de áreas quemadas en Colombia

A continuación, se presenta una demostración sencilla de los valores añadidos que tiene GEE en un caso aplicado, que consiste en la identificación de áreas quemadas sin necesidad de descargar imágenes satelitales. El ejemplo, que puede ser fácilmente replicable a nivel global, muestra el uso de las herramientas proporcionadas por la tecnología de GEE para identificar áreas en donde han ocurrido incendios forestales y se enfoca en el uso de las herramientas proporcionadas por la tecnología de GEE, para identificar superficies quemadas.

El incremento de incendios en América Latina, los ha convertido en un tema de álgido interés. El ejemplo que se presenta, se ubica en el Parque Nacional Natural El Tuparro, Departamento de Vichada, Colombia, donde se reportó un incendio que afectó a más de 3 000 ha entre los meses de enero y febrero de 2021. En la Figura 5 se muestra la localización del área de estudio.

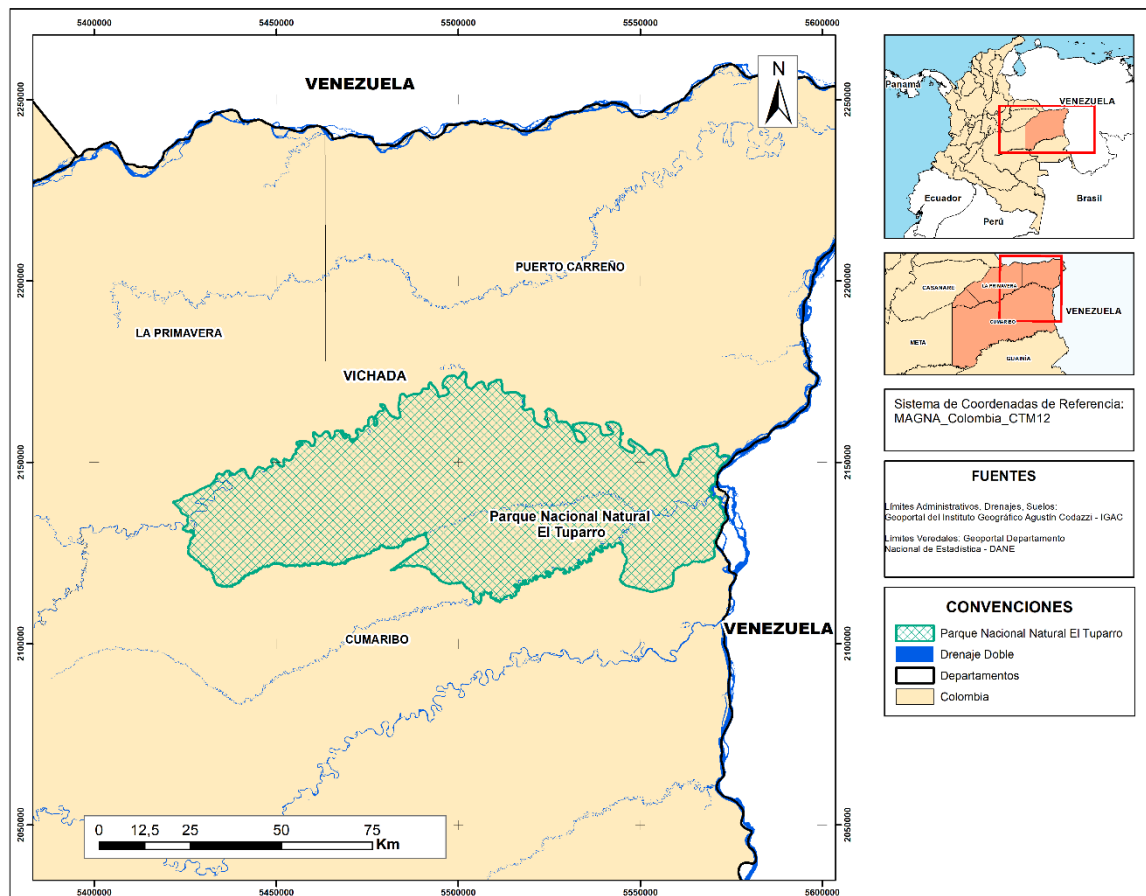


Figura 5 Localización del área de estudio

Fuente: Los autores, 2022

Eraso Terán, O. H., Badia Perpinyà, A., Gisbert Traveria, M. (2022). Google Earth Engine aplicado al monitoreo de superficies quemadas y cambios de coberturas y usos del suelo, *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 29, 89–113. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.764>

Este territorio se caracteriza por el aislamiento de centros poblados, y una topografía plana, cubierta de vegetación natural de tipo herbáceo y arbustivo. Estas características, favorecen que los incendios se esparzan por grandes áreas del territorio, y se aúna, la débil presencia institucional que pueda controlar a tiempo los focos de calor. La identificación de estos sectores con alto riesgo de incendio permite priorizar los equipamientos de control, y la ventaja que proporciona GEE es que se puede elegir la imagen idónea, procesarla, sin necesidad de descargar los datos y realizar el procesamiento a altas velocidades, con facilidad de ser replicado en otros periodos y ubicaciones. También se puede complementar su análisis con otros insumos disponibles en la plataforma, por ejemplo, mapas de vientos, niveles freáticos, índice de humedad del suelo, etc., todos estos factores que inciden en la propagación del fuego, mejorando la prospección de eventos similares.

A continuación, se describe la fase inicial del análisis y procesamiento de imágenes satelitales (Sentinel 2), para identificar la distribución espacial y temporal de las superficies quemadas. Se inicia con los *scripts* usados en GEE para el procesamiento inicial, como son: a) seleccionar el área de estudio, b) seleccionar las imágenes satelitales con base en la ubicación y fecha a partir de la información de los reportes del incendio y generar un mosaico en RGB (B4, B3, B2) y c) calcular el índice normalizado de áreas quemadas (NBRI). La selección del área de estudio (Tabla), se realiza con un *script* específico, posteriormente, lo seleccionado se convierte en una capa independiente. En la **Error! No s'ha trobat l'origen de la referència.** se muestra una captura de pantalla de la IDE, en donde se usa el Code Editor, para ingresar el *script*, que permite filtrar el área de estudio, en este caso Parque Nacional Natural El Tuparro - Colombia.

Tabla 3. Selección del área de estudio

```
/ INCENDIO PARQUE NACIONAL NATURAL EL TUPARRO FEBRERO 2021  
  
// SELECCIÓN DEL VECTOR COLOMBIA  
var country = ee.FeatureCollection('USDOS/LSIB_SIMPLE/2017')  
    .filterMetadata('country_na', 'equals', 'Colombia');  
  
// MOSTRAR CARACTERISTICAS DEL VECTOR COLOMBIA  
print(country);  
  
// MOSTRAR EL VECTOR COLOMBIA  
Map.addLayer(country, {}, 'country', true);  
  
//CENTRAR LA VISUALIZACIÓN DEL VECTOR COLOMBIA  
Map.centerObject(country, 5);  
  
//SELECCIÓN DE LA ÁREA PROTEGIDA PARQUE NACIONAL NATURAL EL TUPARRO  
var protectedareas=ee.FeatureCollection('WCMC/WDPA/current/polygons')  
    .filter(ee.Filter.and(  
    ee.Filter.bounds(country.geometry()),  
    ee.Filter.neq('IUCN_CAT','VI'),  
    ee.Filter.neq('STATUS','proposed'),  
    ee.Filter.lt('STATUS_YR',2010),  
    ee.Filter.eq('NAME', 'El Tuparro')  
    ))
```

Eraso Terán, O. H., Badia Perpinyà, A., Gisbert Traveria, M. (2022). Google Earth Engine aplicado al monitoreo de superficies quemadas y cambios de coberturas y usos del suelo, *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 29, 89–113. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.764>

```
// MOSTRAR CARACTERISTICAS DEL ÁREA PROTEGIDA PARQUE NACIONAL NATURAL EL TUPARRO
```

```
print(protectedareas);
```

```
//MOSTRAR EL ÁREA PROTEGIDA PARQUE NACIONAL NATURAL EL TUPARRO
```

```
Map.addLayer(  
  protectedareas,  
  {color:'BLUE'}, 'Colombia protected areas');
```

Fte. Los autores, 2022

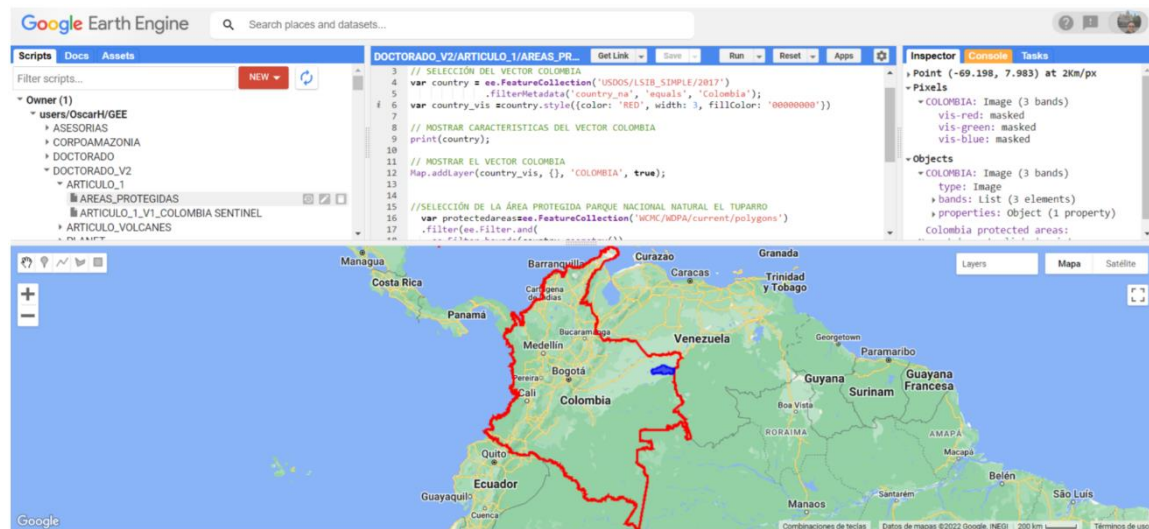


Figura 4 Detalle de la interfaz gráfica de GEE, mostrando el resultado de identificar el área de estudio

Fuente: los autores, 2022

Identificada el área de estudio, se cargan las imágenes satelitales que se traslapan del sensor disponible para el año de estudio, en este caso, la colección de Sentinel 2. En lo que respecta al periodo de estudio se selecciona con base en los reportes de incendios definidos para este ejemplo. El procedimiento (Tabla 4) incluyó determinar un rango temporal pre-incendio (20 al 28 de febrero de 2021) y post-incendio (07 al 12 de febrero de 2021), aplicar un filtro para escoger las imágenes con la menor cobertura de nubes, por último, solicitar una combinación de bandas *RGB* (B4, B3 y B2).

Eraso Terán, O. H., Badia Perpinyà, A., Gisbert Traveria, M. (2022). Google Earth Engine aplicado al monitoreo de superficies quemadas y cambios de coberturas y usos del suelo, *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 29, 89–113. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.764>

Tabla 4. Procesamiento de imágenes

```
// LLAMAR LA COLECCIÓN DE SENTINEL 2 POST INCENDIO

var SENTINEL_2_POST = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2_SR')
    .filterBounds(protectedareas)
    .filterDate('2021-02-07', '2021-02-12')
    .filterMetadata('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 'less_than', 25)

var SENTINEL_2_POST_MOSAIC = SENTINEL_2_POST
    .median()
    .clip(protectedareas);

// MOSTRAR CARACTERISTICAS DE LA COLECCIÓN DE IMAGENES SENTINEL 2 POST INCENDIO
print(SENTINEL_2_POST, 'SENTINEL_2_POST');

// MOSTRAR LA COLECCIÓN DE IMAGENES SENTINEL 2 POST INCENDIO
Map.addLayer(SENTINEL_2_POST_MOSAIC, {max:1500, min:250, bands:['B4', 'B3', 'B2']},
'SENTINEL_2_POST_MOSAIC COMBINACION RGB (B4,B3,B2)');

// LLAMAR LA COLECCIÓN DE SENTINEL 2 PRE INCENDIO

var SENTINEL_2_PRE = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2_SR')
    .filterBounds(protectedareas)
    .filterDate('2021-01-20', '2021-01-28')
    .filterMetadata('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 'less_than', 25)

var SENTINEL_2_PRE_MOSAIC = SENTINEL_2_PRE
    .median()
    .clip(protectedareas);

// MOSTRAR CARACTERISTICAS DE LA COLECCIÓN DE IMAGENES SENTINEL 2 PRE INCENDIO
print(SENTINEL_2_PRE, 'SENTINEL_2_PRE');

// MOSTRAR LA COLECCIÓN DE IMAGENES SENTINEL 2 PRE INCENDIO
Map.addLayer(SENTINEL_2_PRE_MOSAIC, {max:1500, min:250, bands:['B4', 'B3', 'B2']},
'SENTINEL_2_PRE_MOSAIC COMBINACION RGB (B4,B3,B2)');
```

Fte. Los autores, 2022

Como se puede ver en la Tabla 5 en el *script*, se realiza el cálculo del NBRI pre-incendio y post-incendio, usando los datos del espectro electromagnético en el infrarrojo cercano (Near Infrared Reflectance o NIR) y en la onda corta (Short Wave Infrared o SWIR), que en este caso corresponde a las bandas 8 y 12 de Sentinel 2. Las mayores aplicaciones del infrarrojo corresponden al estudio de incendios y fenómenos geológicos.

En el *script* (<https://code.earthengine.google.com/9310c63ccd0bbdcd6ccc586f5dce739e>), también se especifican (1) las fechas de las imágenes que se necesitan, que, en este caso, son las del incendio previamente identificado; (2) los límites del análisis que corresponden al país, (3) se priorizan las imágenes satelitales con baja cobertura de nubes.

Eraso Terán, O. H., Badia Perpinyà, A., Gisbert Traveria, M. (2022). Google Earth Engine aplicado al monitoreo de superficies quemadas y cambios de coberturas y usos del suelo, *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 29, 89–113. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.764>

Tabla 5. Creación de la función para el cálculo del índice normalizado de áreas quemadas

```
//CREACIÓN DE LA FUNCIÓN PARA EL CALCULO DEL ÍNDICE NORMALIZADO DE
ÁREAS QUEMADAS - NBRI (SENTINEL 2)
function Calc_NBRI(image) {
  var nbri = image.expression('(nir-swir2)/(nir+swir2)', {
    'nir':image.select('B8'),
    'swir2':image.select('B12'),
  }).rename('nbri')

  return nbri
}

// CALCULO DEL ÍNDICE NORMALIZADO DE ÁREAS QUEMADAS - NBRI (SENTINEL 2)
POST INCENDIO
var NBRI_POST_S2 = SENTINEL_2_POST.map(Calc_NBRI);
print(NBRI_POST_S2,'NBRI_POST_S2')

var NBRI_POST_S2_OK = NBRI_POST_S2
  .median()
  .clip(protectedareas);
print(NBRI_POST_S2_OK,'NBRI_POST_S2_OK');

Map.addLayer(NBRI_POST_S2_OK, {max:1, min:-1,
'palette':'d7191c,d7191c,d7191c,febe74,ffdf9a,ffffbf,def2b4,bce4aa,91cba9,5ea7b1,2b83ba'},
'NBRI_POST_S2_OK');

// CALCULO DEL ÍNDICE NORMALIZADO DE ÁREAS QUEMADAS - NBRI (SENTINEL 2)
PRE INCENDIO
var NBRI_PRE_S2 = SENTINEL_2_PRE.map(Calc_NBRI);
print(NBRI_PRE_S2,'NBRI_PRE_S2')

var NBRI_PRE_S2_OK = NBRI_PRE_S2
  .median()
  .clip(protectedareas);
print(NBRI_PRE_S2_OK,'NBRI_PRE_S2_OK');

Map.addLayer(NBRI_PRE_S2_OK, {max:1, min:-1,
'palette':'d7191c,d7191c,d7191c,febe74,ffdf9a,ffffbf,def2b4,bce4aa,91cba9,5ea7b1,2b83ba'},
'NBRI_PRE_S2_OK');
```

Fte. Los autores, 2022

El resultado consiste en imágenes del NBRI pre y post incendio. El último paso permite visualizar el incendio. En la Tabla 6 se muestran dos *scripts*: el primero centra la imagen NBRI ubicando el incendio de interés y el segundo para descargar las imágenes. En la Figura 7 se representa las imágenes de NBRI descargadas del Pre-Incendio y del Post-Incendio.

Eraso Terán, O. H., Badia Perpinyà, A., Gisbert Traveria, M. (2022). Google Earth Engine aplicado al monitoreo de superficies quemadas y cambios de coberturas y usos del suelo, *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 29, 89–113. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.764>

Tabla 6. Centrar el incendio en el mapa

```
// CENTRAR LA VISUALIZACIÓN AL INCENDIO Parque Nacional Natural El Tuparro
var INCENDIO_PNN_TUPARRO = ee.Geometry.Point([-68.812, 5.3293])
Map.centerObject(INCENDIO_PNN_TUPARRO, 12);

// MOSTRAR EL VECTOR COLOMBIA
Map.addLayer(country_vis, {}, 'COLOMBIA', true);

// EXPORTAR RESULTADOS
Export.image.toDrive({
  image: SENTINEL_2_POST_MOSAIC.select("B4","B3","B2"),
  description: 'INCENDIO_PNN_EL_TUPARRO_RGB_POST',
  folder: 'DOCTORADO_V3_ARTICULO_1',
  region: geometry, scale: 10, crs: 'EPSG:4326',
  fileFormat: 'GeoTIFF',
  maxPixels: 1e13,
});

Export.image.toDrive({
  image: SENTINEL_2_PRE_MOSAIC.select("B4","B3","B2"),
  description: 'INCENDIO_PNN_EL_TUPARRO_RGB_PRE',
  folder: 'DOCTORADO_V3_ARTICULO_1',
  region: geometry, scale: 10, crs: 'EPSG:4326',
  fileFormat: 'GeoTIFF',
  maxPixels: 1e13,
});

Export.image.toDrive({
  image: NBRI_POST_S2_OK,
  description: 'INCENDIO_PNN_EL_TUPARRO_NBRI_POST',
  folder: 'DOCTORADO_V3_ARTICULO_1',
  region: geometry, scale: 10, crs: 'EPSG:4326',
  fileFormat: 'GeoTIFF',
  maxPixels: 1e13,
});

Export.image.toDrive({
  image: NBRI_PRE_S2_OK,
  description: 'INCENDIO_PNN_EL_TUPARRO_NBRI_PRE',
  folder: 'DOCTORADO_V3_ARTICULO_1',
  region: geometry, scale: 10, crs: 'EPSG:4326',
  fileFormat: 'GeoTIFF',
  maxPixels: 1e13,
});
```

Fte. Los autores, 2022

Eraso Terán, O. H., Badia Perpinyà, A., Gisbert Traveria, M. (2022). Google Earth Engine aplicado al monitoreo de superficies quemadas y cambios de coberturas y usos del suelo, *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 29, 89–113. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.764>

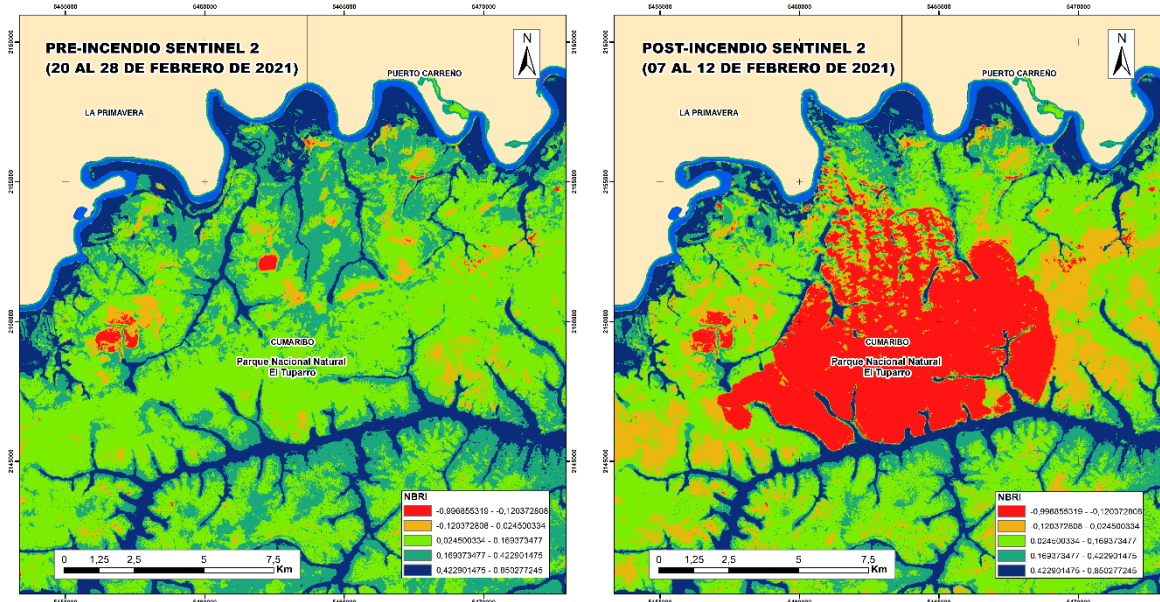


Figura 7. Pre y Post Incendio
Fte. Los autores, 2022

7. Valoración de la herramienta

Una de las debilidades de GEE es la dificultad de editar mapas profesionales, con su escala gráfica, malla de coordenadas, flecha norte, etc. La figura 8 se muestra el incendio forestal en combinación RGB, editado con un SIG de escritorio.

Las plataformas basadas en la web, aún no son de fácil acceso para los investigadores. Los principales obstáculos incluyen habilidades de programación bajas, limitaciones con respecto a la seguridad o vinculación a un proveedor en específico debido al formato de los datos que necesita el investigador (Sudmanns, *et al.*, 2020). GEE presenta una oportunidad para que los scripts se puedan convertir en aplicaciones de edición rápida y sencilla para los usuarios, aumentando así, la usabilidad y la transferibilidad.

La programación hace que GEE no sea muy llamativo dependiendo del usuario que vaya a utilizarlo. Para ello, existe un repositorio completo de *scripts* donde es posible adaptar el código ya establecido a las necesidades de cada usuario. Además, GEE presenta una plataforma paralela mucho más intuitiva llamada Google Earth Engine Explorer en la cual se explica los pasos que se necesita para realizar la descarga de imágenes de la zona deseada. Aunque la plataforma de Engine tiene el máximo potencial en su editor de *scripts*, es posible acceder a la versión de Engine Explorer para descargar información sin necesidad de programar *scripts* (Losada, 2020).

Eraso Terán, O. H., Badia Perpinyà, A., Gisbert Traveria, M. (2022). Google Earth Engine aplicado al monitoreo de superficies quemadas y cambios de coberturas y usos del suelo, *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 29, 89–113. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.764>

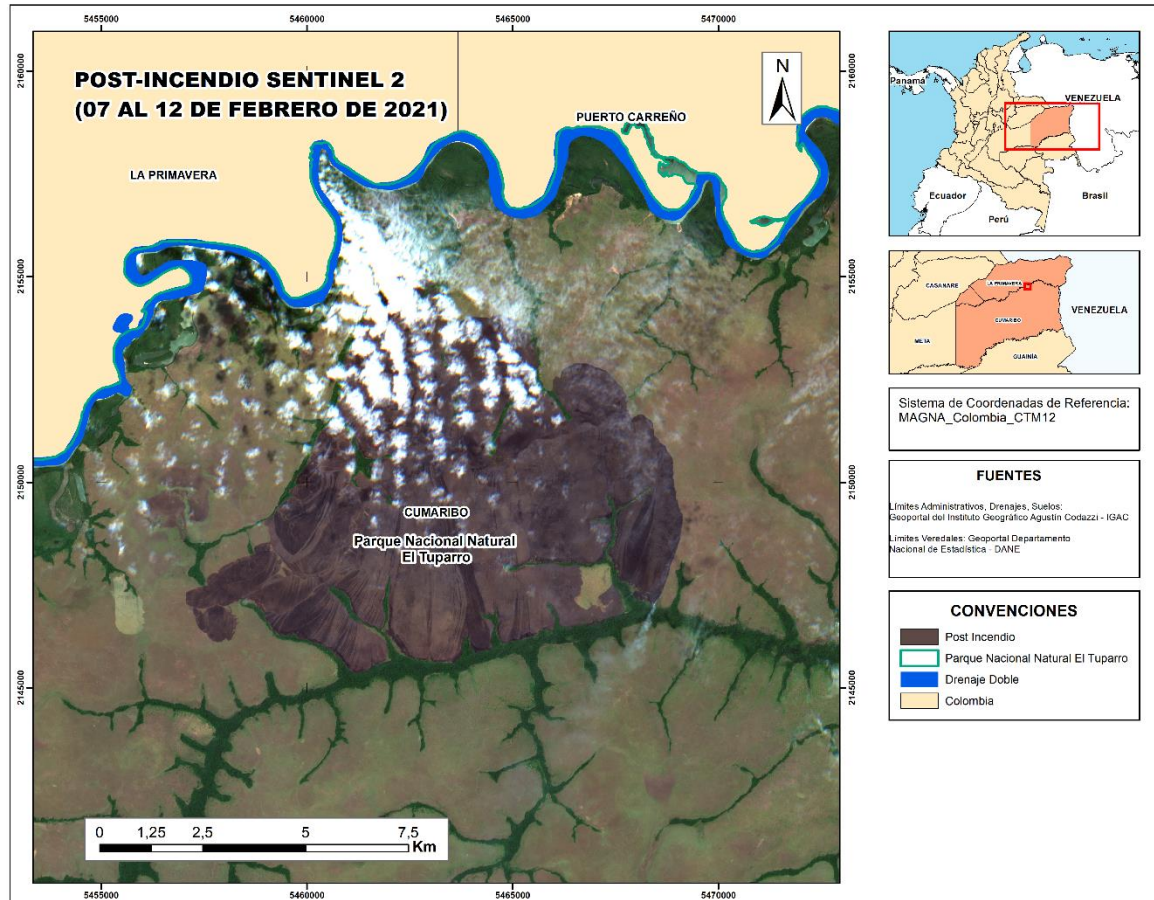


Figura 8. Identificación del incendio forestal

Fte. Los autores, 2022

Si bien el procesamiento en un entorno de nube se está convirtiendo en una solución bien adoptada para el procesamiento de grandes volúmenes de datos de OT, viene con desafíos. Uno de estos, es la falta de estandarización en lenguaje, métodos, almacenamiento, etc., lo que genera problemas de interoperabilidad. Es decir, si se desea cambiar de plataforma, como por ejemplo pasar de Sentinel Hub a GEE, es necesario mover la información fruto del trabajo del usuario, pero precisaría de transformación, conllevando trabajo adicional. Esto tiene el riesgo de que un usuario quede vinculado a un proveedor de nube en específico (Sudmanns, *et al.*, 2020).

El principal cuello de botella en el uso del marco GEE sigue siendo la falta de imágenes de alta calidad en algunas áreas de interés específico, dada la persistencia de la nubosidad y la neblina que afectan el óptimo de las imágenes *Landsat* o *Sentinel 2*. Los índices obtenidos a partir de este procesamiento pueden reflejar valores sobreestimados o subestimados. Además, la reconstrucción de la cobertura podría verse afectada por valores atípicos en índices apilados, y esto podría afectar la interpolación espacio-temporal. Por tanto, la calibración y la verificación son necesarias (Mugiraneza,

Eraso Terán, O. H., Badia Perpinyà, A., Gisbert Traveria, M. (2022). Google Earth Engine aplicado al monitoreo de superficies quemadas y cambios de coberturas y usos del suelo, *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 29, 89–113. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.764>

Nascetti, & Ban , 2020). Si bien lo ideal sería utilizar imágenes con reflectividad en superficie, actualmente la disponibilidad de ellas en GEE es limitada y, por tanto, restringe considerablemente la cantidad de datos disponibles para la generación de las series de tiempo (Anaya, Sione, & Rodríguez, 2018). Por ende, la importancia de que GEE incluya conjuntos de datos de mayor resolución (Kumar & Mutanga, 2018).

El mapeo de desastres naturales debe procesarse de manera más oportuna, que permita tomar acciones en el corto plazo (ejemplo deslizamientos de tierras, represamientos de agua o lodo, recorrido de los incendios, etc.) y hay autores que plantean que la demora en la disponibilidad de imágenes en GEE significa que no es una plataforma ideal para tal aplicación (Kumar & Mutanga, 2018). En el caso de los incendios, aunque facilita monitorear el proceso de recuperación en regiones extensas, su limitación más importante es la falta de imágenes satelitales de muy alta resolución que son críticas para evaluar el proceso en detalle. Es decir que, aunque permite generar mapas globales de área quemada, son realizados de forma sistemática con sensores de alta resolución temporal y baja resolución espacial, conllevando a la omisión de grandes cantidades de área quemada (Anaya, *et al.*, 2018; Ghaffarian, *et al.*, 2020).

Además, en el caso de los incendios, el tiempo que transcurre entre la ocurrencia del incendio y la toma de la imagen post-fuego afecta, porque se pierde la señal del carbón, caracterizada por un amplio rango de reflectividad, Esta pérdida de la señal se asocia más que todo a la resiliencia de la vegetación, que en poco tiempo puede generar una nueva cobertura ocultando la superficie quemada (Anaya, *et al.*, 2018). No obstante, los usuarios pueden cargar sus propias imágenes en la plataforma y usar la capacidad de procesamiento masivo de GEE para entregar productos oportunos.

La capacidad de procesamiento, y que ya no sea necesario descargar los datos, es una diferencia respecto al método tradicional de trabajo. Con anterioridad al uso de este tipo de aplicaciones, se presentaba el riesgo de que en áreas muy extensas no se pudiera completar el análisis y se perdiera el trabajo realizado, con lo cual se tenía que limitar la escala de las investigaciones. Actualmente, la oferta de plataformas de gestión de *Big data Earth* amplía las posibilidades de investigación para países con grandes extensiones de coberturas con difícil acceso.

Si bien el ejemplo explicado en este artículo puede ser replicado usando herramientas tradicionales, GEE se destaca por no descargar las imágenes satelitales usadas, tener una mayor velocidad de procesamiento y mayor facilidad de replicar este análisis al cambiar las variables de ubicación y periodos de fechas.

8. Conclusiones

La optimización en tiempo que proporciona una plataforma como GEE, la cual, permite el análisis complejo de grandes conjuntos de datos espaciales, es de especial relevancia en el monitoreo de recursos naturales. Esta actividad, generalmente se lleva a cabo por entidades estatales, con extensas áreas por administrar con recursos limitados. Aunque el nivel de detalle puede ser mayor en general se facilita la planeación, por la posibilidad de generar mapas de riesgo, en lapsos más cortos y con datos antes de difícil acceso, debido al costo o las dificultades de descarga y almacenamiento.

En Latinoamérica, el uso dado a GEE es reciente y a escala global. Se ha enfocado básicamente a usar la capacidad de análisis que ofrece la plataforma. Los ámbitos que más reportan

Eraso Terán, O. H., Badia Perpinyà, A., Gisbert Traveria, M. (2022). Google Earth Engine aplicado al monitoreo de superficies quemadas y cambios de coberturas y usos del suelo, *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 29, 89–113. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.764>

estudios son el monitoreo de la vegetación, para evaluar el cambio de la cobertura y el desarrollo de la vegetación, y detectar áreas quemadas. Estos estudios han abarcado amplias escalas temporales (promedio de veinte años) y espaciales, con regiones con áreas superiores a las 10 000 hectáreas.

El caso de estudio analizado consiste en la identificación de áreas quemadas sin necesidad de descargar imágenes satelitales. Ejemplo, que puede ser fácilmente replicable a nivel global, modificando variables de ubicación y fechas de registros de incendios, no presenta excesiva complejidad, pero permite demostrar que GEE es de gran utilidad para resolver la mayoría de funciones de geoprocetamiento de un SIG de escritorio, aunque potencialmente se pueden ejecutar muchas más funciones de forma más eficiente, a mayor velocidad y sin necesidad de descargar gran cantidad de imágenes de satélite que requieren gran cantidad de espacio de almacenamiento y tiempo de proceso.

GEE facilita la toma de decisiones en lo referente a la planificación y prevención de los incendios forestales, porque se puede hacer el monitoreo de terrenos poco accesibles. El ejemplo de uso mostrado permite identificar el potencial de la plataforma porque proporciona herramientas de análisis para casos específicos, como en este caso, la identificación de áreas quemadas por medio del procesamiento de los índices espectrales.

Aunque la programación se presenta como un desafío, también es una oportunidad que, al ser asumida abre un campo de posibilidades, porque permite acceder a recursos globales que actualmente existen, como son los proporcionados por GitHub o la Open Geospatial Consortium (OGC). El análisis geoespacial que usa los servicios que ofrece la nube, es una tendencia que llegó para quedarse, y es necesaria la adaptación, porque seguirá en constante evolución, por lo que es recomendable incorporarse a sus procedimientos lo antes posible.

Referencias bibliográficas

Aldás, A. (29 de abr de 2019). Análisis de la dinámica temporal del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) para los años 1986, 2001 y 2017 en la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas, Imbabura, mediante el uso de google Earth Engine. *Tesis para optar al título de Ingeniero Geógrafo en Gestión Ambiental*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Recuperado el 11 de may de 2020, de URI: <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/16619>

Alvarado, C., Leandro, A., & Sarango, D. (2019). Comparación de Índices de Vegetación con imágenes Landsat usando la computación en la nube: zona Pampa de Majes-Siguas, Arequipa Perú (Periodo: Jun 1984 a Nov 2018). *Revista de Investigación de Física*, 22(1), 27-33. Obtenido de https://fisica.unmsm.edu.pe/rif/previo_files/2019-1/alvarado2019.pdf

Anaya, J., Sione, W., & Rodríguez, A. (2018). Identificación de áreas quemadas mediante el análisis de series de tiempo en el ámbito de computación en la nube. *Revista de Teledetección*, 51, 61-73. doi:<https://doi.org/10.4995/raet.2018.8618>

Bar, S., Ranjan, B., & Chandra, A. (2020). Landsat-8 and Sentinel-2 based Forest fire burn area mapping using machine learning algorithms on GEE cloud platform over Uttarakhand, Western Himalaya. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 18.

Eraso Terán, O. H., Badia Perpinyà, A., Gisbert Traveria, M. (2022). Google Earth Engine aplicado al monitoreo de superficies quemadas y cambios de coberturas y usos del suelo, *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 29, 89–113. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.764>

doi:<https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100324>

Barboza, E., Turpo, E., de Almeida, C., Salas, R., Rojas, N., Silva, J., . . . Espinoza, R. (2020). Monitoring Wildfires in the Northeastern Peruvian Amazon Using Landsat-8 and Sentinel-2 Imagery in the GEE Platform. *ISPRS Int. J. Geo-Inf*, 9(10), 564. doi:<https://doi.org/10.3390/ijgi9100564>

Campos, M., Moreno, Á., García, F., Camps, G., Robinson, N., Kattge, J., & Running, S. (2018). Global Estimation of Biophysical Variables from Google Earth Engine Platform. *Remote Sens*, 10(8), 1167. doi:<https://doi.org/10.3390/rs10081167>

Chuvieco, E., Martín, M., & Palacios, A. (2002). Assessment of different spectral indices in the red-near-infrared spectral domain for burned land discrimination. *International Journal of Remote Sensing*, 23(23), 5103-5110. doi:<https://doi.org/10.1080/01431160210153129>

Copernicus, P. d. (05 de 10 de 2020). Programa de Observación de la Tierra de la Unión Europea - Copernicus. Obtenido de <https://www.copernicus.eu/es/sobre-copernicus>

Crespi, M., Nascetti, A., & Ravanelli, R. (2020). Special Issue Information "Google Earth Engine and Cloud Computing Platforms: Methods and Applications in Big Geo Data Science". *Remote Sensing*. Recuperado el 22 de oct de 2020, de https://www.mdpi.com/journal/remotesensing/special_issues/GEE_Methods_Applications

Ermida, S., Soares, P., Mantas, V., Gottsche, F., & Trigo, I. (2020). Surface Temperature Estimation from the Landsat Series. *Remote Sens*, 12(9), 1471. doi:<https://doi.org/10.3390/rs12091471>

Flaticon. (2021). Obtenido de Flaticon: https://www.flaticon.es/icono-gratis/archivos_3176066?related_id=3176066

Flaticon. (2021). *Logo interactividad*. Obtenido de Flaticon: https://www.flaticon.com/free-icon/interactive_2548893

Freepng. (2021). *Centro de datos de Cloud computing*. Obtenido de [freepng.es: https://www.freepng.es/png-s3d2gg/](https://www.freepng.es/png-s3d2gg/)

Ghaffarian, S., Rezaie, A., & Kerle, N. (2020). Post-Disaster Recovery Monitoring with Google. *Applied science*, 10, 4574. doi:[doi:10.3390/app10134574](https://doi.org/10.3390/app10134574)

Gomes, V., Queiroz, G., & Ferreira, K. (2020). An Overview of Platforms for Big Earth Observation Data Management and Analysis. *Remote Sensing*, 12(1253). doi:[doi:10.3390/rs12081253](https://doi.org/10.3390/rs12081253)

Google. (2020). *Google Earth Educación*. Obtenido de https://www.google.com/intl/es_in/earth/education/

Hu, Y., & Hu, Y. (2019). Land Cover Changes and Their Driving Mechanisms in Central Asia from 2001 to 2017 Supported by Google Earth Engine. *Remote Sens*, 11(5), 554. doi:<https://doi.org/10.3390/rs11050554>

Kumar, L., & Mutanga, O. (2019). Google Earth Engine Applications Since Inception. *Remote Sensing*, 10, 1509. doi:[doi:10.3390/rs10101509](https://doi.org/10.3390/rs10101509)

Kumar, L., & Mutanga, O. (2019). Google Earth Engine Applications. *Remote Sensing, Teledetección* (ISSN 2072-4292) de 2016 a 2019.

Eraso Terán, O. H., Badia Perpinyà, A., Gisbert Traveria, M. (2022). Google Earth Engine aplicado al monitoreo de superficies quemadas y cambios de coberturas y usos del suelo, *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 29, 89–113. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.764>

doi:https://www.mdpi.com/journal/remotesensing/special_issues/GEE

Long, T., Zhang, Z., He, G., Jiao, W., Tang, C., Wu, B., . . . Yin, R. (2019). 30 m Resolution Global Annual Burned Area Mapping Based on Landsat Images and Google Earth Engine. *Remote Sens*, 11(5), 489. doi:<https://doi.org/10.3390/rs11050489>

Losada, N. (2020). *Google Earth Engine, una herramienta más de descarga de imágenes satélites*. Obtenido de Geoinnova: <https://geoinnova.org/blog-territorio/google-earth-engine-una-herramienta-mas-de-descarga-de-imagenes-satelites/>

Moore, R., & Hansen, M. (2011). Google Earth Engine: a new cloud-computing platform for global-scale earth observation data and analysis. *American Geophysical Union*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/258471396_Google_Earth_Engine_a_new_cloud-computing_platform_for_global-scale_earth_observation_data_and_analysis

Morales, A. (2020). *Google Earth Engine y cómo acceder a sus algoritmos desde QGIS*. Obtenido de MappingGIS: <https://mappinggis.com/2020/01/google-earth-engine-y-como-acceder-a-sus-algoritmos-desde-qgis/>

Mugiraneza, T., Nascetti, A., & Ban, Y. (2020). Continuous Monitoring of Urban Land Cover Change Trajectories with Landsat Time Series and LandTrendr-Google Earth Engine Cloud Computing. *Remote Sensing*, 12, 2883. doi:[doi:10.3390/rs12182883](https://doi.org/10.3390/rs12182883)

Myroniuk, V., Kutia, M., Sarkissian, A., Bilous, A., & Liu, S. (2020). Regional-Scale Forest Mapping over Fragmented Landscapes Using Global Forest Products and Landsat Time Series Classification. *Remote Sens*, 12(1), 187. doi:<https://doi.org/10.3390/rs12010187>

Palankar, M., Lamnitchi, A., Ripeanu, M., & Garfinkel, S. (2008). Amazon S3 for Science Grids: a Viable Solution? *Calhoun: The NPS Institutional Archive*. Recuperado el 02 de dic de 2020, de <http://hdl.handle.net/10945/44247>

Ramos, B. (2018). *Que es Google Earth Engine*. Obtenido de TYCGIS Formación: <https://www.cursosgis.com/que-es-google-earth-engine/>

Sarricolea, P., Serrano, R., Fuentealba, M., Hernández, M., de la Barrera, F., Smith, P., & Meseguer, Ó. (2020). Recent wildfires in Central Chile: Detecting links between burned areas and population exposure in the wildland urban interface. *Science of The Total Environment*, 706(1). doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135894>

Sazib, N., Mladenova, I., & Bolten, J. (2018). Leveraging the Google Earth Engine for Drought Assessment Using Global Soil Moisture Data. *Remote Sense*, 10(8), 1265. doi:<https://doi.org/10.3390/rs10081265>

Sproles, E., Crumley, R., Nolin, A., Mar, E., & López, J. (2018). SnowCloudHydro—A New Framework for Forecasting Streamflow in Snowy, Data-Scarce Regions. *Remote Sensing*, 10(8), 1276. doi:<https://doi.org/10.3390/rs10081276>

Sudmanns, M., Tiede, D., Lang, S., Bergstedt, H., Trost, G., Augustin, H., . . . Blaschke, T. (2020). Big Earth data: disruptive changes in Earth observation data management and analysis? *International Journal of Digital Earth*, 13(7), 832-850. doi:<https://doi.org/10.1080/17538947.2019.1585976>

Eraso Terán, O. H., Badia Perpinyà, A., Gisbert Traveria, M. (2022). Google Earth Engine aplicado al monitoreo de superficies quemadas y cambios de coberturas y usos del suelo, *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 29, 89–113. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.764>

Xiong, J. (2018). Cloud Computing for Scientific Research. *Scientific Research Publishing Inc*, 256. Recuperado el 12 de oct de 2020

Zhang, C., Di, Di, L., Yang, Z., Lin, L., & Hao, P. (2020). AgKit4EE: A toolkit for agricultural land use modeling of the conterminous United States based on Google Earth Engine. *Environmental Modelling & Software*, 129. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2020.104694>

Zhang, D.-D., & Zhang, L. (2020). Land Cover Change in the Central Region of the Lower Yangtze River Based on Landsat Imagery and the Google Earth Engine: A Case Study in Nanjing, China. *Sensors*, 2091. doi:<https://doi.org/10.3390/s20072091>

