UNIVERSIDAD APEC

**Decanato de Ingenierías e Informática**

**Escuela de Informática**

# Modelo Espacial para la detección de incendios forestales en la Republica Dominicana.


**SUSTENTANTES:**

| | |
|---|---|
| **Br. Esmil Contreras Hidalgo** | **2011-0512** |
| **Br. José Paul Moya Peralta** | **2011-0682** |
| **Br. Adrian Alcantara Reyes** | **2014-0422** |


**Monografía para Optar por el título de Ingeniería en Sistemas de Computación**

**Asesor**

**Ing. Santo Rafael Navarro**

**Distrito Nacional**

**2019**

**TABLA DE CONTENIDOS**

DEDICATORIA ..... 6

AGRADECIMIENTO ..... 7

PALABRAS CLAVES ..... 9

RESUMEN ..... 10

INTRODUCCION ..... 11

1.1 INTRODUCCION A LOS SITEMAS DE DETECCIONES DE INCENCIOS FORESTALES, HISTORIA Y EVOLUCION ..... 13

1.2 SENSORES Y PLATAFORMAS ..... 14

1.2.1 LANDSAT ..... 15

1.2.2 SPOT ..... 16

1.2.3 IKONOS ..... 16

1.2.4 QuickBird ..... 16

1.2.5 IRS ..... 16

1.2.6 NOAA-AVHRR ..... 16

1.2.7 RADARSAT ..... 16

1.2.8 AVIRIS ..... 17

1.2.9 TERRA ..... 17

1.3 CLASIFICACION DE IMÁGENES ..... 17

1.3.1 Clasificación Supervisada ..... 18

1.3.2 Clasificadores Duros (Hard Classifiers) ..... 19

1.3.3 Clasificadores Blandos (Soft Classifíers) ..... 19

1.3.4 Clasificación No Supervisada ..... 20

1.4 TENDENCIAS GLOBALES EN DETECCION DE INCENDIOS FORESTALES ..... 21

1.4.1 Objetivos y propósitos..... 24

1.5 SITUACION ACTUAL DE LOS SISTEMA DE DETECCION DE INCENDIOS EN LA REP. DOMINICANA..... 27

1.6 INSTITUCIONES ASOCIADAS AL MODELO DE DETECCION DE INCENDIOS FORESTALES EN REP DOM. ..... 31

2 CAPITULO 2. COMPONENTES TECNOLOGICOS ..... 32

2.1 METODOS DE CONTROL Y DETECCION MAS USADOS ACTUALMENTE ..... 32

2.1.1 Sensor óptico y cámara digital..... 39

2.1.2 Buscador de incendios forestales ..... 42

2.1.3 Satélites..... 43

2.2 PLATAFORMA DEL SATELITE MODIS..... 44

MISR..... 48

MOPITT ..... 48

MODIS ..... 49

CERES..... 49

2.3 DESCRIPCIÓN DEL ALGORITMO DETECTOR DE INCENDIO ACTIVO MODIS ..... 49

2.3.1 MOD14 y MYD14..... 49

2.3.2 MÁSCARA DE FUEGO ..... 50

2.3.3 Herramientas contra incendios de nivel 2: MOD14 (Terra) y MYD14 (Aqua) 50

2.3.4 MOD14A2 (Terra) y MYD14A2 (Aqua) ..... 52

2.3.5 Herramientas de detección de fuego de rejilla y de modelado climático (MOD14CMQ, MYD14CMQ, etc.) ..... 52
2.3.6 Producto de ubicación de incendio mensual global (MCD14ML) .... 53
2.3.7 Imágenes en tiempo real de MODIS y productos contra incendios 53
2.4 Imágenes de navegación global de LDOPE ..... 54
2.5 Clasificación de imágenes satelitales ..... 55
2.5.1 Imágenes de satélites ..... 55
2.5.1 Resolución espacial: ..... 56
2.5.2 Resolución espectral: ..... 56
2.6 CARACTERISTICAS DE LA INFRAESTRUCTURA TECNOLOGICA .. 57
2.6.1 Servidor MS SQL local: ..... 57
2.6.2 Datos externos: ..... 58
2.6.3 Ingestión y almacenamiento de datos: ..... 58
2.6.4 Almacén de datos SQL de Azure: ..... 58
2.6.5 Fábrica de datos de Azure: ..... 59
2.6.6 Servicios de análisis de Azure: ..... 59
2.6.7 Power BI: ..... 59
2.6.8 Autenticación: ..... 59
2.6.9 Data Pipeline ..... 60
3 CAPITULO 3. PROPUESTA DE IMPLEMENTACION DEL MODELO DE DETECCION DE INCENDIOS ..... 61
3.1 ALCANCE Y LIMITACIONES DEL SISTEMA ..... 61
3.2 COMPONENTES REQUERIDOS ..... 62
3.2.1 Requerimientos de usuarios ..... 62

3.2.2 Módulos del sistema ..... 63
3.2.3 Almacenamiento ..... 66
3.2.4 Cloud ..... 66
3.3 DISEÑO DEL SISTEMA ..... 68
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ..... 70
Baja resolución espacial en la banda termal ..... 70
Baja resolución temporal ..... 70
Alto costo de adquisición de las imágenes. ..... 70
Referencias Bibliograficas ..... 71
ANEXOS ..... 73
PROPUESTA ECONÓMICA ..... 73

## DEDICATORIA

Dedico este proyecto final de manera especial a mi madre **Elsa Nidia Hidalgo** por enseñarme el significado de la responsabilidad, amor y persistencia para así alcanzar mis metas propuestas, por alegrarse por cada uno de mis logros y siempre estar ahí para mi cuando lo necesitaba.

**ESMIL CONTRERAS H.**

Este trabajo final lo dedico de manera especial a mi madre **Ramona Amparo Peralta**, por todo el esfuerzo e incansable sacrificio de siempre estar ahí apoyándome en todo momento. Te amo mami.

**JOSE PAUL MOYA PERALTA.**

Este proyecto se lo dedico a Dios por haberme permitido llegar hasta este punto por darme salud, por ser el manantial de mi vida y darme lo necesario para seguir adelante hasta lograr mis objetivos.

**ADRIAN ALCANTARA REYES**

## AGRADECIMIENTO

**A Dios** por permitirme seguir persistente día a día en la lucha por el éxito, porque cuando pensaba que se acaban las opciones Tú tenías la solución en tus manos y me la entregabas con tu gran amor; gracias a ti ha sido posible cada logro en mi vida.

**A mi madre** Elsa Nidia Hidalgo por apoyarme, por guiarme y amarme, por estar ahí siempre para mí, por enseñarme a tomar las mejores decisiones y caerme encima con respecto a la universidad, sin su apoyo y persistencia no estuviese en esta etapa de mi vida.

**A mi novia** Cindy Vásquez Castillo por estar presente en cada momento y ayudarme en absolutamente todo y siempre dando la milla extra independientemente de lo que tenías que sacrificar por mi para que yo pudiera siguiera adelante.

**A mis compañeras de monográfico** Jose Paul Moya y Adrián Alcantara, por su, entrega, dedicación y disposición de realizar de manera efectiva este proyecto en el que seremos los profesionales del mañana.

**A mis maestros de la carrera** por todas sus enseñanzas tanto profesionales como de la vida misma, en especial a Guillermo Rodriguez quien vio mi talento en primera instancia y brindarme la oportunidad en el momento que más las necesitaba y gracias a eso estoy en el nivel profesional que poseo hoy en día.

**A mi asesor de monográfico** Santos Navarro, por aportarme sus conocimientos, no solo en este trabajo, sino a lo largo de la carrera.

**ESMIL CONTRERAS H.**

**A Dios** por darme la sabiduría de elegir esta carrera, la cual disfruto desempeñar día a día, y permitirme crecer como ser humano y profesional. Gracias Dios.

**A mi madre** Ramona Amparo Peralta, por darme como herencia la mejor fortuna, la educación y el amor, por demostrarme que cada sacrificio tiene su recompensa, y por siempre poner a sus hijos como prioridad aun cuando las circunstancias no le favorecían. ¡Mírame mami, lo logramos!

**A mi familia** su compañía maravillosa y apoyo desinteresado son lo que cualquier persona desearía para triunfar, de cada uno de ustedes he aprendido el significado de la vida desde diferentes perspectivas.

**A mis compañeros de monográfico** Esmil Contreras y Adrián Alcántara, por su esfuerzo, empeño y sentido del humor, sin ustedes el trayecto de realizar este trabajo no hubiera sido tan gratificante.

**A mis compañeros de trabajo** por todas sus enseñanzas tanto profesionales como de la vida misma, a Rosanni Ramirez y Edwin Castillo, quienes confiaron y vieron mi talento, cuando yo solo era un joven de 18 años con ganas de obtener una primera oportunidad laboral para poder pagar mis estudios, también agradecer de manera especial a Elena López, por confiar en mí, y abrirme puertas en el momento que más lo necesitaba, gracias a ella pude elevar mi nivel profesional y explotar en mí, habilidades que yo solo no hubiera podido desarrollar.

**A mi asesor de monográfico** Santos Navarro, por mostrarnos una rama de la carrera que pocos maestros se dedican a enseñar en el país, y enseñarnos el impacto positivo de los sistemas GIS en nuestra vida diaria.

**JOSE PAUL MOYA PERALTA.**

**A Dios** por haberme permitido llegar hasta este punto por darme salud, por ser el manantial de mi vida y darme lo necesario para seguir adelante hasta lograr mis objetivos.

**A mis padres** por apoyarme en todo momento, por ser los pilares fundamentales en todo lo que soy y en toda mi educación tanto académica como de la vida, por su apoyo incondicional.

**A mis hermanos Sarah y Isaí** por brindarme siempre su apoyo y cariño.

**A mi esposa Libni** por creer en mí y darme su apoyo incondicional para seguir hacia adelante.

A mí maestro **Ing. Santo Rafael Navarro** por el gran guía qué ha sido en este proyecto y por haberme transmitido los conocimientos para lograr este proyecto.

**ADRIAN ALCANTARA REYES.**

**PALABRAS CLAVES**

Incendios, Satélites, bosques, vegetación, áreas protegidas, sistema de información geográfica

**RESUMEN**

Este proyecto persigue plantear las bases para crear un sistema de detección automática de incendios forestales mediante la utilización de técnicas de procesado de imágenes satelitales.

El proyecto se inicia con un estudio de los sistemas actuales de detección automática de incendios forestales que incluye los diferentes métodos de control utilizados, las técnicas de detección en función del sensor y los sistemas comerciales disponibles.

A partir del estudio inicial se proponen dos métodos para la detección de incendios forestales uno basado en la detección de fuego y otro basado en la detección de humo.

El objetivo del sistema una vez implementado es generar información basada en la observación y el seguimiento de las condiciones que determinan el ciclo de la ocurrencia de incendios. La parte de prevención corresponde al análisis de las condiciones de riesgo de incendio, tal como la acumulación de combustibles y su estado de senescencia. La detección del evento, pretende caracterizar la localización y el momento de ocurrencia del incendio, y la fase post fuego, busca cuantificar las superficies quemadas. Se presenta el diseño preliminar del sistema y el análisis de los requerimientos de los usuarios.

## INTRODUCCION

Los bosques y selvas son los defensores naturales del equilibrio ecológico de nuestro planeta. Desafortunadamente, el incendio forestal generalmente solo se observa cuando ya se ha extendido sobre un área grande, lo que hace que su control y detención sean arduos e incluso imposibles a veces. El resultado es una pérdida devastadora y un daño irreparable para el medio ambiente y la atmósfera (30% del dióxido de carbono (CO2) en la atmósfera proviene de incendios forestales), además de un daño irreparable a la ecología (grandes cantidades de humo y dióxido de carbono). (CO2) en la atmósfera). Entre otras consecuencias terribles de los incendios forestales están los efectos desastrosos a largo plazo, como los impactos en los patrones climáticos locales, el calentamiento global y la extinción de especies raras de la flora y la fauna.

El problema con los incendios forestales es que los bosques suelen ser áreas remotas, abandonadas no gestionadas, llenas de árboles, madera seca y seca, hojas, etc., que actúan como una fuente de combustible. Estos elementos forman un material altamente combustible y representan el contexto perfecto para la ignición inicial del fuego y actúan como combustible para las etapas posteriores del incendio. La ignición por incendio puede ser causada por acciones humanas como fumar o fiestas de barbacoa o por razones naturales como altas temperaturas en un día caluroso de verano o un vidrio roto que funciona como una lente colectiva que enfoca la luz solar en un lugar pequeño durante un período de tiempo. conduciendo a la ignición del fuego. Una vez que se inicia la ignición, el material combustible puede alimentar fácilmente para alimentar el punto central del fuego, que luego se vuelve más grande y ancho. La etapa inicial de ignición se denomina normalmente etapa de "fuego de superficie". Esto puede llevar a la alimentación de los árboles adyacentes y la llama de fuego aumenta cada vez más, convirtiéndose así en "fuego de la corona". En su mayor parte, en esta etapa, el fuego se vuelve incontrolable y el daño al paisaje puede llegar a ser excesivo y

puede durar mucho tiempo. Tiempo dependiendo de las condiciones meteorológicas imperantes y del terreno.

Millones de hectáreas de bosque son destruidas por el fuego cada año. Las áreas destruidas por estos incendios son grandes y producen más monóxido de carbono que el tráfico de automóviles en general. El monitoreo de las áreas de riesgo potencial y una detección temprana de incendios pueden acortar significativamente el tiempo de reacción y también reducir el daño potencial, así como el costo de la lucha contra incendios. Las reglas conocidas se aplican aquí: 1 minuto — 1 taza de agua, 2 minutos — 100 litros de agua, 10 minutos — 1,000 litros de agua. El objetivo es detectar el incendio lo más rápido posible y su localización exacta y la notificación temprana a las unidades de incendio es vital. Esta es la deficiencia que la presente invención intenta remediar, mediante la detección de un incendio forestal en una etapa muy temprana, a fin de aumentar o garantizar la posibilidad de extinguirlo antes de que haya crecido más allá del control o cause un daño significativo. Existen distintos sistemas de detección y monitoreo utilizados por las autoridades. Estos incluyen observadores en forma de patrullas o torres de monitoreo, monitoreo aéreo y satelital y sistemas de detección y monitoreo cada vez más promovidos basados en sensores de cámaras ópticas, y diferentes tipos de sensores de detección o su combinación.

La siguiente investigación presenta una breve descripción general de los sistemas de detección y monitoreo de incendios forestales, la experiencia con estos sistemas en operación práctica y su evaluación en términos de eficiencia, precisión, versatilidad entre otros.

## 1.1 INTRODUCCION A LOS SITEMAS DE DETECCIONES DE INCENCIOS FORESTALES, HISTORIA Y EVOLUCION

Los incendios forestales tienen un impacto significativo en los conjuntos sociales, económicos y medioambientales locales. La información precisa y actualizada es crítica para el manejo efectivo de emergencias durante los incendios forestales.

Para minimizar el impacto de los incendios forestales, es fundamental que las personas que responden a emergencias y el público en general sepan, con una latencia mínima, dónde y cuándo suceden las designaciones y la ubicación de las imágenes activas de los faxes activos es un enfoque eficiente para monitorear los incendios forestales activos en gran medida temporal.

Los satélites son los responsables de realizar las detecciones de estos siniestros y están ubicados en órbitas a más de 22,800 millas sobre la superficie de la tierra. La radiación óptica e infrarroja (calor) emitida por las llamas en etapas tempranas, antes de su propagación en una amplia región, puede ser de intensidad demasiado débil para ser detectada por un satélite. La intensidad disminuye a medida que el cuadrado inverso de la distancia, además de ser sensible al ángulo entre la dirección del haz de radiación que llega y normal a la superficie receptora del espejo, cámara, antena y detector; por lo tanto, la posición y la orientación del satélite podrían estar lejos de ser óptimas para detectar un incendio forestal en una fase temprana.

Es posible que el satélite no esté equipado con transpondedores, antenas, recepción de amplificación, regeneración, traducción de frecuencia y transmisión de enlace descendente adecuada para la detección de incendios forestales. De hecho, puede que aún no haya una asignación formal de la frecuencia y el ancho de banda apropiados para la detección de incendios forestales.

Por lo general, un satélite está diseñado para realizar muchas funciones diversas (telecomunicaciones, detección remota para las características generales de la superficie de la tierra o la atmósfera, etc.) y no es rentable agregarle la capacidad de detectar incendios forestales. El funcionamiento de un sistema satelital está sujeto a muchas regulaciones y acuerdos nacionales e internacionales y puede ser menos adecuado para la tarea de observación de incendios forestales.

Los satélites no geoestacionarios brindan una mayor cobertura espacial que los satélites geoestacionarios, lo que conlleva el costo de un intervalo de actualización mucho más prolongado. El MODIS (Espectradiómetro de Imágenes de Resolución Moderada) (Giglio et al. 2003, 2006), VIIRS (Suite de Radiómetro de Imagen de Infrarrojo Visible) (Schroeder) et al. 2014), AVHRR (Radiómetro avanzado de muy alta resolución) (Flasse y Ceccato 1996), y Landsat (Schroeder et al. 2016) se han utilizado para monitorear incendios forestales. Entre estos satélites geoestacionarios, MODIS tiene la resolución temporal más alta (seis horas) en Australia, que no es adecuado para el monitoreo de incendios en tiempo real. Los satélites geoestacionarios se han utilizado para monitorear los incendios forestales en tiempo real o casi en tiempo real.

## 1.2 SENSORES Y PLATAFORMAS

En una solución de teledetección los sensores son fundamentales y la obtención de los objetivos planteados a la hora de realizar cualquier tipo de proyecto de esta índole, dependerá de su correcta elección en función de sus resoluciones temporal, espacial, espectral, y radiométrica.

Los sensores pueden clasificarse, en:

Pasivos: cuando se limitan a recibir radiación electromagnética.

Activos: son aquellos que emiten radiación en la longitud de onda deseada y luego reciben la porción que los objetos han reflejado.

Otro método de clasificación de los sensores se determina en función del satélite o plataforma sobre la que van instalados:

“Satélites de órbita geoestacionaria: vuelan" a 300.000 kilómetros sobre la Tierra y giran con el mismo periodo de revolución que ella, de forma que el sensor está continuamente tomando imágenes (electrónicas, no fotográficas) del mismo punto.” (clubensayo, 2012)

Satélites de órbitas polares: orbitan a 400 km. de distancia, su tamaño de imagen será, por tanto, más reducido, y vuelven a tomar la misma escena cada cierto periodo de tiempo.

Dados los más recientes desarrollos en sensores, existen una variedad de plataformas para captura los datos de censado remoto. A continuación, se resumirán las mejores combinaciones sensor/plataformas disponibles para los usuarios GIS en sistemas satelitales.

### 1.2.1 LANDSAT

El sistema de satélites Landsat para el censado de detección de incendios es operado actualmente por EROS Data Center (http://edc.usgs.goc) en Estados Unidos. La distribución comercial de este sistema es realizada mediante la EOSAT (Earth Observation Satellite Company).

El primero de los satélites de la serie Landsat fue puesto en órbita en 1972. Desde entonces podemos contar con la información de sus sensores, entre los cuales serán están el MSS (Multi-Spectral Scanner), TM (Thermatic Mapper) y el ETM (Enhanced Thermatic Mapper).

### 1.2.2 SPOT

El Systeme Pour L'observation de la Terre (www.spot.com) fue lanzando por un consocio francés en 1985. Esta plataforma consta de los sensores HRV (High Visible Resolution), HRVIR (Visible & Infrared High-Resolution).

### 1.2.3 IKONOS

El satélite IKONOS fue lanzado en 1999 por Space Imaging Corp. (www.spaceimaging) y fue la primera aventura para la captación y distribución de imágenes satelitales de alta resolución. IKONOS orbita la tierra cada 98 minutos a una altura de 680 kilómetros.

### 1.2.4 QuickBird

El satélite QuickBird fue lanzado en el 2001 por la Digital Globe (www.digitalglobe.com).Ofrecen imágenes de mayor resolución.

### 1.2.5 IRS

La organización Indian Source Research actualmente posee 5 satélites en el sistema IRS, de los 7 que tiene planificados poseer. Esta data es distribuida por ANTRIX Corp. LTD. La información más sofisticada provista por este sistema procede de los sensores IRS-1C y IRS-1D.

### 1.2.6 NOAA-AVHRR

El sensor Advanced Very High-Resolution Radiometer (AVHRR) está a bordo la plataforma NOAA de los Estados Unidos (National Oceanic and Atmospheric Adminitration). Esta toma datos con un swath de 2400 km de ancho cada día. Trabaja en 5 bandas, rojo, infrarrojo cercano y tres en infrarrojo termal. Este sensor tiene mayor aplicación en el campo de la meteorología.

### 1.2.7 RADARSAT

RADARSAT es un satélite para la observación de la tierra lanzado en 1995 por la Canadian Space Agency. La data es distribuida por RADARSAR lnternational (RSI). Su tiempo para rodear la tierra es 24 días. Las señales de RADARSAT

pueden penetrar las nubes, accesando de este modo áreas no disponible para otros sistemas se censado remoto. Las señales de RAOARSAT puedes ser afectadas por las características eléctrico-físicas del lugar por la reflexión y patrones espectrales del lugar censado por lo cual requieren interpretación y técnicas de geo-registro especial especiales.

### 1.2.8 AVIRIS

AVIRIS es un sistema desarrollado por Jet Propulsion Lab (JLP) que produce data hiper-espectral. Captura data en 224 bandas en el mismo rango de longitudes de onda que el Landsat.

### 1.2.9 TERRA

En 1999 un proyecto conjunto entre Canadá, Japón y Estados Unidos lanzaron el primer satélite de la seria Earth Observing System (EOS). El satélite EOS AM1 provee cinco instrumentos (CERES, MISR, MODIS, ASTER y MOPITT) que capturan información de la tierra y la atmósfera.

## 1.3 CLASIFICACION DE IMÁGENES

La clasificación es el proceso de desarrollar mapas interpretados de imágenes censadas remotamente. Como consecuencia, la clasificación es quizá el aspecto más importante del procesamiento de imagen para los GIS. Tradicionalmente. la clasificación se lograba por interpretación visual de rasgos o características y la delineación manual de sus límites. Sin embargo, con la llegada de las computadoras y la imagen digital, la atención se ha enfocado en la interpretación asistida por computadora. Aunque el ojo humano aun trae un conjunto de capacidades para el proceso de clasificación. la rapidez y consistencia de los procedimientos digitales se hacen más atractivos. Como consecuencia, la mayoría de' los proyectos de clasificación hoy en día utilizan los procedimientos de clasificación digitales guiados por la interpretación humana.

Hay dos enfoques básicos del proceso de clasificación: clasificación supervisada y clasificación no supervisada. Con la clasificación supervisada. uno provee una

descripción estadística de la manera en la cual las clases de cubierta de la tierra esperadas deberían aparecer en la imagen. y entonces un procedimiento, denominado clasificador, se utiliza para evaluar la posibilidad de que cada píxel pertenezca a una de esas clases. Con la clasificación no supervisada, se utiliza un enfoque muy diferente. Aquí se utiliza otro tipo de clasificador para destapar apariciones comunes y distintivas de patrones de reflectancia en la imagen. en el supuesto que estos representan clases muy importantes de cubierta en la tierra. El analista entonces determina la identidad de cada clase por la combinación de la experiencia y la veracidad de la tierra (por ejemplo, visitando el área de estudio y observando los tipos de cubierta reales)

En ambos casos, el proceso de clasificación puede verse como la determinación del conjunto al cual pertenece cada píxel. En el caso de la clasificación supervisada, los conjuntos son conocidos (o se asume que son conocidos) antes de que comience el proceso. Por lo tanto, la clasificación consiste en un proceso de toma de decisión basado en la información disponible. En la clasificación no supervisada, sin embargo, las clases son desconocidas desde el principio. Por tanto, el proceso consiste más bien en una segmentación que en la toma de decisión perse.

### 1.3.1 Clasificación Supervisada

El primer paso en la clasificación supervisada es identificar los ejemplos de las clases de información (es decir, los tipos de cubierta de tierra) de interés en la imagen. Éstos se llaman sitios de entrenamiento. El sistema de software entonces se utiliza para desarrollar una caracterización estadística de las reflectancias de cada clase de información. Esta etapa es a menudo llamada análisis de la firma y puede implicar el desarrollar de una caracterización tan simple como el medio o la gama de reflectancia en cada banda, o tan compleja como análisis detallados del medio, variancias y covariancias en todas las bandas. Una vez se haya logrado una caracterización estadística para cada clase de información, la imagen entonces es clasificada examinando las reflectancias de cada pixel y tomando una

decisión sobre a cuál de las firmas se parezca más. Hay varios métodos para tomar estas decisiones, llamados clasificadores. La mayoría de los sistemas de procesamiento de imagen ofrecerá varios, basado en reglas de decisiones variantes.

### 1.3.2 Clasificadores Duros (Hard Classifiers)

La característica distintiva de los clasificadores duros es que todos ellos toman una decisión definitiva acerca de la cubierta de tierra a la cual pertenece cada píxel. IDRISI ofrece cinco clasificadores supervisados en este grupo:

- Clasificador por mínima distancia (MINDIST)
- Clasificador por máxima probabilidad (MAXLIKE)
- Clasificador por paralelepípedos (PIPED)
- Clasificador por análisis linear discriminante (FISHER)
- Clasificador por red neural artificial (NEURALNET)

Estos clasificadores difieren únicamente en la manera en la cual desarrollan· y utilizan una caracterización estadística de los datos de los sitios de entrenamiento. De los cinco, el procedimiento de máxima probabilidad es incuestionablemente el más ampliamente utilizado en la clasificación de imágenes censadas remotamente.

### 1.3.3 Clasificadores Blandos (Soft Classifíers)

Contrario a los clasificadores duros, los clasificadores blandos no toman una decisión definitiva acerca de la cubierta de tierra a la cual pertenece cada píxel. Más bien, ellos desarrollan instrucciones o sentencias del grado al cual cada pixel pertenece a cada clase de cubierta de tierra considerada. Por lo tanto, un clasificador blando, por ejemplo, podría indicar que un pixel tiene un 0.72 de probabilidad de ser foresta, un 0.24 de probabilidad de ser pasto y un 0.04 de probabilidad de ser tierra descubierta. Un clasificador duro resolvería esta incertidumbre concluyendo que el píxel era foresta. Sin embargo, un clasificador blando hace esta incertidumbre explícitamente disponible, para cualquiera de una

variedad de razones. Por ejemplo, el analista podría concluir que la incertidumbre surge porque el pixel contiene más de un tipo de cubierta y podría usar las probabilidades como indicaciones de la proporción relativa de cada uno. Esto es conocido como clasificación de subpíxel. Alternativamente, el analista podría concluir que la incertidumbre surge por datos de sitios de entrenamiento no representativos y por tanto podría desear combinar estas probabilidades con otra evidencia antes de llegar a la conclusión. IDRISI ofrece cuatro clasificadores blandos (BAYCLASS, MAHALCLASS, BELCLASS y FUZCLASS). Los resultados de los cuatro pueden ser endurecido utilizando el módulo HARDEN. La diferencia entre ellos reposa en la lógica por la cual es especificada la incertidumbre.

### 1.3.4 Clasificación No Supervisada

En contraste con la clasificación supervisada, donde le indicamos al sistema sobre la característica (es decir, la firma) de las clases de la información que estamos buscando. la clasificación no supervisada no requiere ninguna información anticipada sobre las clases de interés. Más bien, examina los datos y los separa en agrupaciones espectrales naturales más frecuentes, o grupos, presente en los datos. El analista entonces identifica estos grupos como clases de cubierta de tierra a través de una combinación de familiaridad con la región y visitas al área de campo.

La lógica por la cual la clasificación no supervisada funciona se conoce como análisis de grupo, y es proporcionada en IDRISI sobre todo por el módulo CLÚSTER. Este módulo realiza la clasificación basada en un juego de imágenes de entrada usando una técnica multidimensional de pico del histograma. Es importante reconocer, sin embargo, que la clasificación no supervisada por grupos no produce clases de la información, sino clases espectrales (es decir, se agrupan juntas las características (píxeles) con patrones similares de reflectancia). Por tanto, generalmente el analista necesita reclasificar las clases espectrales en clases de información.

Aunque sea atractivo conceptualmente, la clasificación no supervisada ha sido obstaculizada tradicionalmente por algoritmos muy lentos. Sin embargo, el procedimiento de agrupación proporcionado en IDRISI es extraordinario rápido (indiscutiblemente el más rápido en el mercado) y se puede utilizar así iterativo en conjunto con datos que provienen del estudio de campo para llegar una clasificación muy fuerte.

## 1.4 TENDENCIAS GLOBALES EN DETECCION DE INCENDIOS FORESTALES

Los incendios de tierras y bosques (o áreas silvestres) son un fenómeno que ocurre constantemente y se extiende a nivel mundial. Los incendios forestales actualmente queman de 330-431 M hectáreas de vegetación en todo el mundo, cada año Muchas regiones globales han reportado un aumento en la actividad de incendios en las últimas décadas, lo que se atribuye a numerosos factores, como los regímenes de incendios alterados por el cambio climático, los cambios en la población rural-urbana y los cambios en el uso de la tierra que afectan las condiciones de la vegetación y el combustible. Aproximadamente el 86% del fuego global ocurre en pastizales y sabanas, principalmente en África y Australia, pero también en el sur de Asia y América del Sur; alrededor del 11% (35-47 M ha) se produce en los bosques del mundo La gran mayoría de los incendios forestales son causados por el hombre. Con la gran cantidad de incendios que se producen a nivel mundial, una proporción se convierte inevitablemente en un incendio forestal incontrolado de los cuales un pequeño porcentaje tiene impactos sociales, económicos y / o ambientales desastrosos.

La mayoría de los incendios globales no están controlados ni documentados, por lo que el registro de desastres en incendios forestales está incompleto. Sin embargo, el registro existente indica que se producen incendios en cada región global, en cada bioma vegetado, de forma regular. Las condiciones de desastre

se definen como cualquier situación de incendio forestal que supere la capacidad de supresión de incendios hasta el punto de que la vida humana, la propiedad y los medios de subsistencia no pueden protegerse. Además de la amenaza para la seguridad humana, estos incendios también pueden tener serios impactos negativos en la salud humana, las economías regionales, el cambio climático global y los ecosistemas en biomas que no son propensos a los incendios.

(Figura 1.1 : http://www.gofcgold.wur.nl, 2013) (Figura 1.2 : http://gfmc.online/, 2007)

Para mitigar los problemas relacionados con los incendios y la escalada de los costos de extinción de incendios, las agencias de manejo de bosques y tierras, así como los propietarios de tierras y comunidades, requieren una alerta temprana de condiciones extremas de peligro de incendio que conducen a incendios forestales descontrolados.

La alerta temprana de estas condiciones permite a los administradores de incendios implementar planes de acción de prevención, detección y prevención de incendios antes de que comiencen los problemas de incendio. La clasificación

de peligro de incendio se usa comúnmente para proporcionar una alerta temprana de la posibilidad de que se produzcan incendios forestales graves según los datos meteorológicos diarios. La información sobre el peligro de incendio a menudo se mejora con datos satelitales, como puntos calientes para la detección temprana de incendios, y con datos espectrales sobre la cobertura del suelo y las condiciones del combustible. Normalmente, los sistemas de clasificación de peligro de incendio proporcionan una advertencia temprana de 4 a 6 horas del peligro de incendio más alto para cualquier día en particular en que se suministran los datos meteorológicos. Sin embargo, al usar las condiciones pronosticadas de los modelos meteorológicos numéricos avanzados, se puede proporcionar una advertencia temprana extendida (es decir, 1-2 semanas). Este tiempo adicional permite una mayor coordinación del intercambio de recursos y la movilización dentro y entre los países.

La clasificación de peligro de incendio es una ciencia madura y durante mucho tiempo se ha utilizado como una herramienta para indicar el potencial de incendios forestales graves. La clasificación de peligro de incendio es la evaluación sistemática del riesgo de incendio y el impacto potencial, y es la piedra angular de los programas contemporáneos de manejo de incendios. Se usa por muchas razones operativas: para determinar los niveles de recursos de supresión (bomberos, equipo, helicópteros, tanques de vuelo de ala fija), movilización y reposicionamiento estratégico; para definir los criterios de prescripción de quemaduras prescritos seguros y aceptables; establecer presupuestos de manejo de incendios basados en estadísticas de peligro de incendio a largo plazo; y para justificar un aumento de la financiación en tiempos de desastres por incendios forestales. La investigación de clasificación de peligro de incendio ha estado en curso desde la década de 1920, lo que resultó en sistemas operativos de clasificación de peligro de incendio durante aproximadamente 4 décadas en Canadá (Stocks et al., 1989), los Estados Unidos y Australia Se han desarrollado muchos otros sistemas e índices basados en el clima en todo el mundo, aunque

el Sistema Canadiense de Índice de Clima de Incendios Forestales (FWI) sigue siendo el sistema de clasificación de peligro de incendio más utilizado a nivel internacional.

### 1.4.1 Objetivos y propósitos

La comunidad global de incendios forestales reconoce que ningún país individual es capaz de resolver el problema de aumentar la actividad de incendios y el desastre del desastre por sí solo, y que se requiere una mayor cooperación internacional. El Global EWS-Fire es un componente de una estrategia para mejorar la cooperación internacional en la gestión de incendios (FAO, 2006). El objetivo del Global EWS-Fire es proporcionar un procedimiento sistemático con respaldo científico para evaluar el peligro de incendio actual y futuro que se puede aplicar desde una escala local a una global.

El sistema no pretende reemplazar los diferentes sistemas de clasificación de peligro de incendio que se utilizan actualmente, sino apoyar y desarrollar los programas nacionales y regionales existentes de manejo de incendios al proporcionar:

- Nuevas predicciones a largo plazo de peligro de incendio basadas en modelos meteorológicos numéricos avanzados
- métricas comunes de peligro global de incendio para respaldar la cooperación internacional en el manejo de incendios, incluido el intercambio de recursos en tiempos de desastre
- Un sistema de clasificación de peligro de incendio para los muchos países que no cuentan con un sistema nacional.

El propósito de Global EWS-Fire es vincular la amplia gama de sistemas de clasificación de peligro de incendio nacionales, calibrados de forma única, actualmente en funcionamiento, con un único conjunto de índices de peligro de incendio que tienen una calibración coherente a nivel mundial. Estos índices globales permiten comparaciones basadas en el clima de peligro de incendio a

través de las fronteras nacionales y continentes en un espectro de escalas de tiempo. Se proporcionan como un complemento a los sistemas nacionales y sirven para apoyar decisiones bilaterales a gran escala en el manejo de incendios, como la supresión de recursos compartidos y la movilización de recursos antes de que ocurran desastres, similar a la toma de decisiones centralizada de las agencias nacionales de manejo de incendios con calibración nacional. sistemas Para los muchos países en el mundo que no tienen la capacidad interna para desarrollar un sistema nacional de clasificación de peligro de incendio, el Global EWS-Fire proporciona un sistema operativo de clasificación de peligro de incendio que puede ser calibrado a las condiciones regionales.

Los productos de alerta temprana a largo plazo (o pronósticos estacionales) proporcionan una indicación de las tendencias globales anticipadas en el peligro de incendio en el transcurso de la próxima temporada de incendios. Los productos de alerta temprana a corto plazo (1-2 semanas) brindan información para la toma de decisiones tácticas a gran escala que requieren un tiempo de 'spool-up' para implementar planes de acción de manejo de incendios, tales como organizar la transferencia de helicópteros, aviones cisterna de ala fija, o bomberos y equipos a través de las fronteras internacionales. La alerta temprana de 1 a 7 días proporciona información para la toma de decisiones estratégicas, como el posicionamiento previo de los recursos de supresión en las áreas más críticas para controlar con más eficacia los nuevos incendios y contener los incendios en curso.

El sistema FWI (Van Wagner 1987) se utilizó para el Global EWS-Fire, ya que es el sistema más utilizado a nivel internacional. Como resumen breve, hay seis componentes en el Sistema FWI que reflejan la humedad del combustible y el comportamiento general del fuego a escala del paisaje, según la influencia del clima Hay tres códigos de humedad del combustible que representan el contenido de humedad de los combustibles finos muertos (Código de Humedad del Combustible Fino, FFMC), materia orgánica superficial de densidad moderada,

como la capa F de los suelos forestales (Código de Humedad de Duff, DMC), y la compacta profunda. capas orgánicas del suelo, como la capa H de los suelos forestales (Código de sequía, DC). Los códigos de humedad del combustible también se utilizan para representar el contenido de humedad de los desechos leñosos muertos de diferentes clases de diámetros. Los combustibles FFMC están presentes en prácticamente todos los tipos de combustibles, y representan el componente del complejo de combustible donde los incendios comienzan y se extienden.

Como tal, el FFMC sirve como un indicador universal de la posible ocurrencia de incendios, particularmente para incendios causados por humanos. El DMC se usa como un predictor de incendio de rayos en los bosques del norte donde las igniciones de los rayos pueden arder en el duff acumulado en el suelo del bosque DC es un indicador de potencial para incendios de combustión profunda y dificultad de extinción. Los combustibles DMC y DC no se encuentran en el complejo de combustible de todos los tipos de combustibles, ya que esto depende de la caída de la vegetación y las tasas de descomposición de la materia orgánica muerta. Por lo tanto, el FFMC tiene una aplicación global y el DMC y DC solo son relevantes en los tipos de combustible con un importante desarrollo de suelo orgánico o una carga de combustible de desechos de madera muerta.

El sistema FWI también tiene tres índices de comportamiento de fuego, que son indicadores generales de la tasa de propagación del fuego (índice de propagación inicial, ISI), combustible disponible para la combustión dentro de un frente de llama en movimiento (índice de acumulación, BUI), y la intensidad del fuego en la cabeza (clima de incendio). Índice, FWI). El componente FWI también se utiliza como un indicador general de peligro de incendio. La Clasificación de gravedad diaria, DSR) es una función de potencia del FWI que representa la dificultad del control de incendios.

Global EWS-Fire utiliza datos basados en tierra y de detección remota para preparar productos de alerta temprana. El peligro de incendio se calcula con los datos del Sistema de pronóstico global de los Centros Nacionales de Predicción Ambiental de EE. UU. (NCEP). El Global EWS actualmente proporciona datos del sistema FWI pronosticados de 1 a 7 días que están calibrados para valores de umbral comúnmente utilizados que identifican condiciones de bajas a extremas. Mediante el uso de una escala global consistente, el Global EWS proporciona un medio para interpretar y comparar las condiciones relativas de peligro de incendio en los países, continentes y biomas. Todos los mapas de peligro de incendio se complementan con los datos de puntos calientes de MODIS para una comparación visual con la actividad de incendio actual. Se prevé que los productos de Global EWS-Fire se adaptarán en el futuro para satisfacer las necesidades específicas de información internacional para agencias como el UNISDR, la Organización de Alimentos y Agricultura, la Organización Mundial de la Salud y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

## 1.5 SITUACION ACTUAL DE LOS SISTEMA DE DETECCION DE INCENDIOS EN LA REP. DOMINICANA

“La República Dominicana, desde sus origenes, ha sido afectada por incendios agrícolas y forestales, siendo este el motivo principal de la desaparición de los bosques y áreas protegidas. El fuego era utilizado como armas, para atacar al enemigo y mantenerlo alejado. Actualmente, la causa principal de los incendios es para rotaciones agrícolas.” **Invalid source specified.**

“El país tiene el 22 % de su territorio destinado Áreas Protegidas, (Reservas Científicas, Parques Nacionales, , entre otras) siendo estas zonas las más afectadas por los incendios, coincidiendo las áreas afectadas por estos, con las poblaciones más pobres, como es el caso del Parque Nacional Los Haitises la

Sierra de Bahoruco Parque Nacional  José del Carmen Ramírez, , y los Bosques de Pino de Restauración.” (eldia.com.do, 2012)

” A partir del año 1962, se comenzó a llevar un registro de los incendios forestales; registrándose hasta el 2000 un total de 5,069 afectando unas 4,313,242 tareas, incluyendo las temporadas altas, que es entre febrero, marzo y abril de cada año, después de Semana Santa, en que los vientos son más fuertes.” (eldia.com.do, 2012)

“En el primer período de gobierno del Dr. Leonel Fernández Reyna, específicamente en el año 1999, el Estado, con la coordinación y apoyo de la entonces Dirección General Forestal, comenzó a capacitar técnicos y el desarrolló el Programa Nacional de Prevención y Control de Incendios Forestales con la colaboración de las Agencias Interamericana de Desarrollo (AID) a través de la Oficina de Asistencia para Desastres (OFDA) del gobierno de Estados Unidos.” (eldia.com.do, 2012)

“A partir de ahí, y gracias a este programa, el país cuenta con un personal capacitado y con gran experiencia. Asimismo, hay que destacar la ardua labor de quienes han pasado por allí como directores: César Batista Valdespina, Gral. Luis Luna Paulino, Radhamés Lora Salcedo, entre otros y David Fernández Mirabal, así como Ernesto Reyna, actual Ministro de Medio Ambiente y Recursos Naturales, quienes han sabido con esta incansable labor de instruir al país para prevenir y evitar los incendios forestales.” (eldia.com.do, 2012)

El Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales como parte del proyecto de prevención de incendios forestales, ha ofrecido talleres  en detección y prevención de incendios, con el fin de que que la ciudadanía adquiera los conocimientos sobre las causas y las consecuencias que tienen para los ecosistemas los incendios forestales.” (Hoy.com.do, 2010)

“El proyecto de Prevención de Incendios Forestales se lleva a cabo con fondos de la Unión Europea, y lo viene ejecutando el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).” (Hoy.com.do, 2010)

“Durante estos talleres se ofrece los conocimientos más importantes en el manejo de un incendio forestal, las causas que lo provocan y como prevenirlo. Es un fuego que se da en bosques naturales o plantados, producido por la acción del ser humano o causado por la naturaleza y que avanza sin ningún control, ocasionando daños ecológicos, climáticos, económicos y sociales, expresó Abreu.” (Hoy.com.do, 2010)

Según el ministerio de medio ambiente el 85% de los incendios forestales se producen por la quema y tumba muchos agricultores recurren a la quema porque este sistema les ofrece beneficios económicos, el problema fundamental no estriba en el uso del fuego para tal efecto, sino en su manejo. Este trabaja en la preservación de los recursos forestales, priorizando la siembra masiva de plantas nativas y endémicas como son la caoba, el guayacán, entre otras.” (Hoy.com.do, 2010)

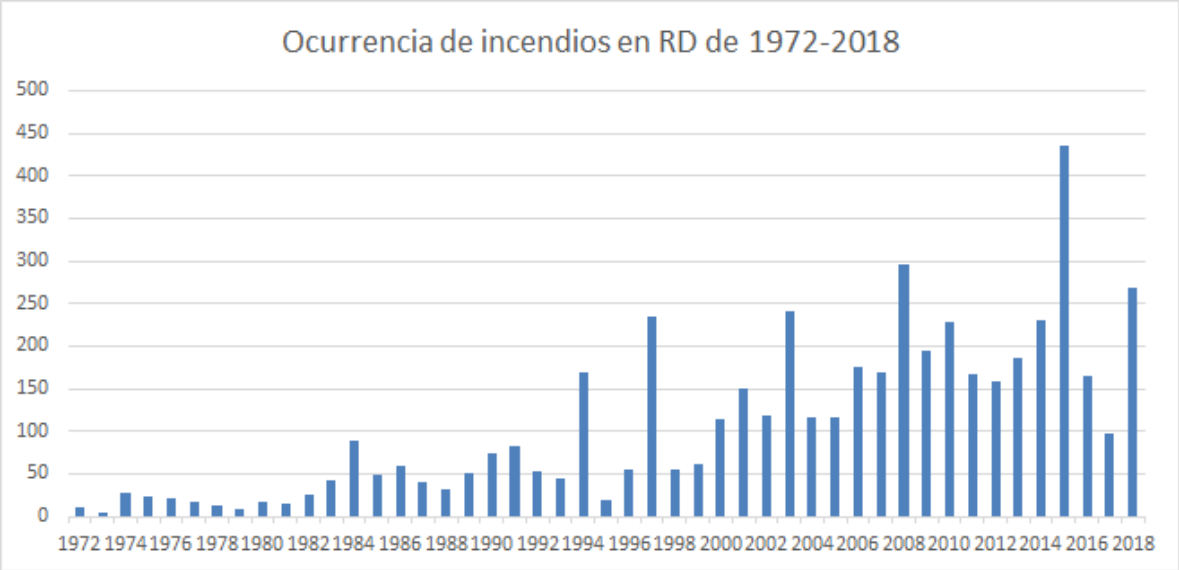
“Otras causas de los incendios forestales que se registran en la República Dominicana son en un 5% por manos criminales, un 5% por cazadores, un 3% por descargas eléctricas y un 2% debido a otros factores. Las condiciones climáticas prevalecientes durante el 2016 limitaron la ocurrencia de incendios forestales, ya que las épocas secas fueron mínimas y los incendios que ocurrieron no se dieron de manera simultánea, lo que permitió reducir el tiempo de respuesta y, en consecuencia, el área afectada por el fuego. En el curso del año se registraron 166 incendios forestales, reportados en 15 provincias, en las cuales resultaron afectadas un total de 18,463 tareas (1,161 hectáreas).” (Ministerio Medio Ambiente Rep Dom., 2017)

**Imagen de los lugares donde mas incendios se producen en la isla:**

(Figura 1.3 https://www.diariolibre.com, 4)

Actualmente no existe un sistema de detección de incendios forestales en la republica dominicana que funcione de manera proactiva en el que las instituciones responsables se puedan apoyar para dar respuesta eficaz y rápida ante estos siniestros, el gobierno dominicano aún está en la creación de políticas regulatorias y proceso de educación para concientizar a la población sobre las causas, consecuencias y de cómo combatirlos mediante la prevención. Además de él que el gobierno no posee los recursos económicos suficientes para los organismos competentes necesitando ciertos aportes de ONG's y entre otras.

Basados en los estudios realizados por la oficina nacional de estadística (ONE) esta sostiene que ha habido un aumento significativo en la incidencia de incendios forestales en el país desde 1972 al 2018 sin que se tomen las medidas necesarias para las prevenciones o/o detección de los mismos.




(Figura 1.4: Oficina Nacional de Estadistica (ONE), 2019)

## 1.6 INSTITUCIONES ASOCIADAS AL MODELO DE DETECCION DE INCENDIOS FORESTALES EN REP DOM.

Las instituciones que encargadas en el tema son:

- El ministerio de medio ambiente y recursos naturales
- El centro de operaciones de emergencia (COE)
- Oficina nacional de meteorología (ONAMET)

(Figura 1.5:Centro de Operaciones de Emergencia) (Figura 1.6 :onamet.gob.do)

(Figura 1.8: Ministerio de Medio Ambiente Rep. Dominicana)

# 2 CAPITULO 2. COMPONENTES TECNOLOGICOS

## 2.1 METODOS DE CONTROL Y DETECCION MAS USADOS ACTUALMENTE

Para poder controlar de manera metódica, efectiva y segura, se necesita de una serie de organismos organizados con la capacidad de atender y responder de manera rápida los impactos de los incendios forestales, para eso cada país debe de contar con un equipo de personal entrenado y capacitado para atender las emergencias, educar la población para prevenir dichos desastres.

Las autoridades de extinción de incendios que pueden utilizar técnicas para identificar los incendios:

- Centro de Operaciones de Emergencias | COE
- Defensa Civil
- Servicio Nacional de Protección Ambiental (SENPA)
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales
- Oficina Nacional de Meteorología | ONAMET

Las técnicas de detección y supresión de incendios más utilizadas por las organizaciones y autoridades se resumen a continuación:

- Quema controlada:

La quema controlada, a veces llamada "quema prescrita" o "fuego de supresión", es una práctica antigua utilizada en todas las partes del mundo para administrar la tierra. Los seres humanos han estado iniciando incendios durante al menos un millón de años, y desde entonces han estado haciendo un buen uso.

En América del Norte, por ejemplo, las fuentes históricas, tomadas en conjunto con el registro arqueológico, parecen mostrar que los pueblos nativos hicieron un uso extenso del fuego para expulsar el juego y para despejar sabanas y praderas. Los europeos que llegaron al siglo XVI trajeron sus propias tradiciones de quema controlada para crear campos para el pastoreo y el cultivo.

Hoy en día, los silvicultores hacen un uso extensivo de las quemaduras controladas, en parte para promover bosques más sanos, pero en gran parte para evitar grandes incendios forestales. Al encender incendios en los lugares correctos bajo las condiciones climáticas adecuadas y con las herramientas de extinción de incendios a la mano, los expertos pueden limpiar el material del sótano combustible que conduce a incendios forestales descontrolados.

Pero incluso si la quema controlada tiene los beneficios mencionados antes, seguramente es perjudicial para el medio ambiente. Después de todo, la combustión libera partículas en el aire, especialmente los gases de efecto invernadero como el carbono. La quema controlada contamina el aire y contribuye al cambio climático, ¿verdad? Por supuesto.

- Previsiones meteorológicas de incendios y estimaciones de humedad y combustible:

Humedad relativa. La humedad en forma de vapor de agua está siempre presente en la atmósfera. Y la cantidad de humedad que hay en la atmósfera afecta la cantidad de humedad que hay en el combustible, cuanto más baja sea la humedad relativa, más fácilmente se iniciará y arderá un incendio; Cuanto más, vigorosamente arderá un fuego.

- Detección óptica de humo

Un detector de humo fotoeléctrico se caracteriza por la alarma fotoeléctrica de humo y por su uso de la luz para detectar incendios. Dentro de la alarma, hay una cámara de detección de luz. En esta cámara, una luz LED dispara un haz de luz en una luz recta a través de la cámara. La alarma detecta humo; cuando el humo entra en la cámara, desvía la luz LED de la trayectoria recta a un fotosensor en un compartimiento diferente en la misma cámara. Tan pronto como los rayos de luz golpean este sensor, la alarma comienza a sonar.

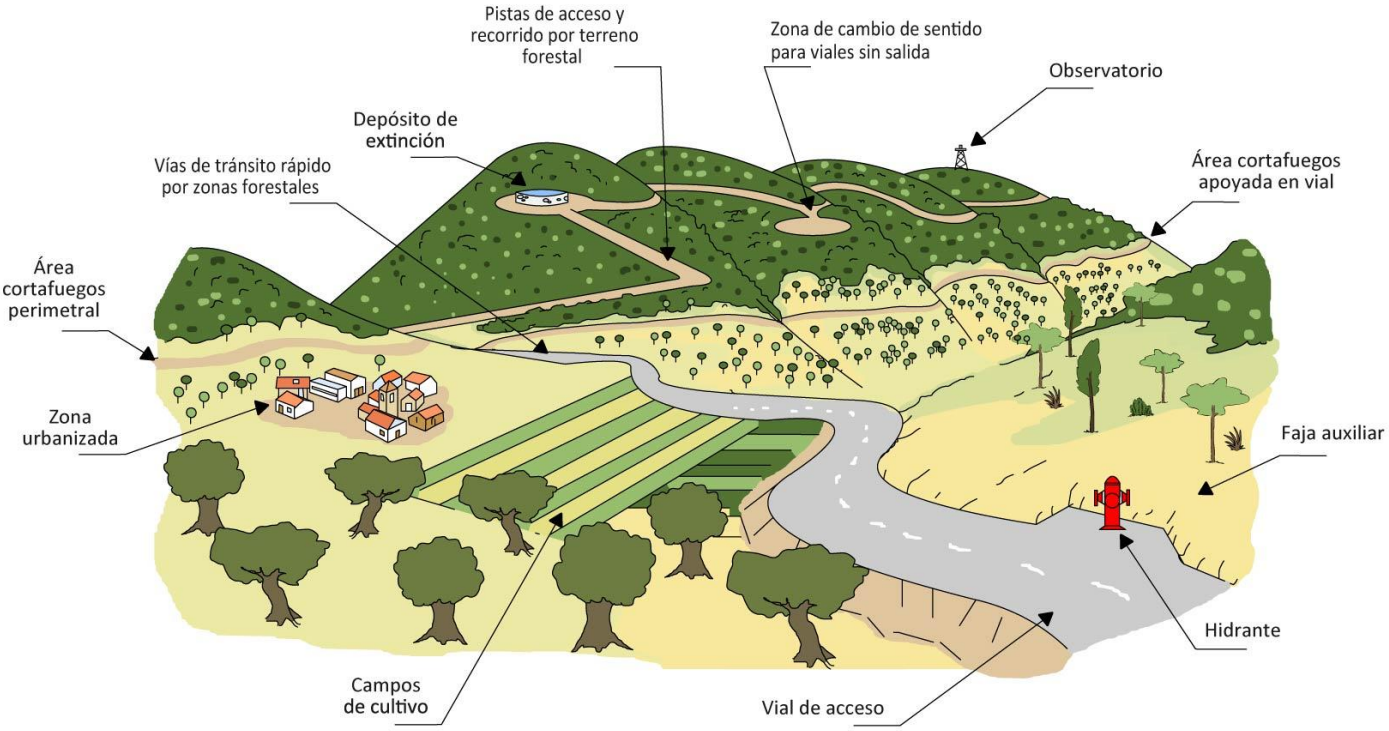
- Detectores de rayos que detectan las coordenadas del incendio

- Infrarrojo:

Detectores de incendio por infrarrojos: Estos sensores funcionan mediante una banda de infrarrojos. Una pequeña cámara de imagen térmica en estos detectores puede detectar instantáneamente la presencia de gases calientes liberados en cualquier lugar cerca del detector de infrarrojos. En ciertos casos, otras fuentes de gas caliente que se producen cerca del detector de llama infrarroja pueden hacer que se active una falsa alarma.

Las ondas infrarrojas pueden penetrar el polvo, el humo, las partículas de combustible y las películas de aceite.

(http://www.nl.gob.mx/servicios/medidas-preventivas-para-evitar-incendios-forestales, n.d.)




(http://www.nl.gob.mx/servicios/medidas-preventivas-para-evitar-incendios-forestales, n.d.)

Las plataformas de redes sociales, y los Smartphones apoyan cada vez más para detectar y notificar acerca de incendios en su fase inicio.

Los sistemas de detección y monitoreo se dividen en los siguientes dos grupos básicos:

1- Informes voluntarios - informes públicos de incendios, aeronaves públicas y personal de campo con base en tierra.
2- Sistemas de detección operacional: torres de bomberos, patrullas aéreas, detectores de rayos electrónicos y sistemas de detección automática.

Algunas de las técnicas utilizadas para la extinción de incendios incluyen la quema de áreas secas bajo el control de los bomberos en lugar de tener una crisis posterior y el uso de camiones tanqueros con suministros de agua. Curiosamente, otros barren todo dentro de una amplia línea planeada para rodear el fuego con un callejón sin salida en áreas sin explotar como en el Medio Oriente. En algunas partes de Australia, proporcionar el fuego no daña

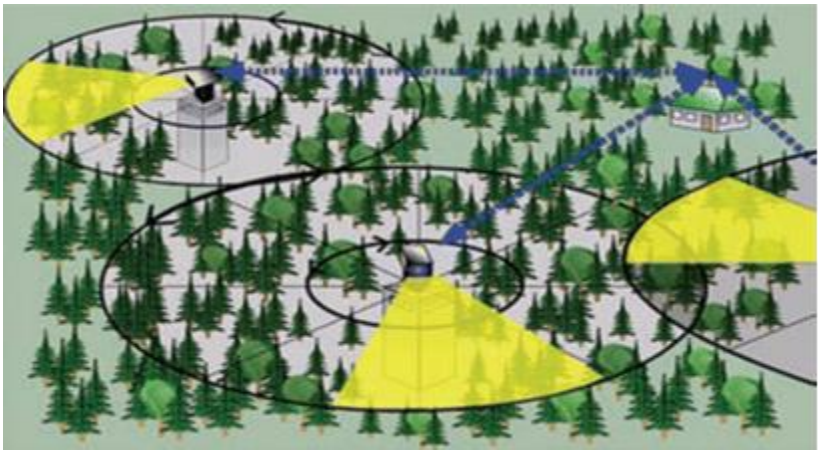
a ningún ser humano ni a sus propiedades, se deja quemar hasta que muera solo.

Los incendios forestales ocupan un lugar destacado en la planificación burocrática de todos los continentes. Existen debates clave sobre la prevención a través de la reducción del combustible forestal, las quemas administradas y la supresión al apagar efectivamente los incendios mientras suceden.

Junto con el cambio climático, los recursos de la última década, principalmente debido a los recortes presupuestarios y la reorganización de los departamentos, se han centrado en la "supresión", que a su vez permite que los niveles de combustible sigan aumentando, lo que proporciona la base para que ocurran incendios catastróficos.

Poniéndose en contacto con las partes interesadas e influyentes que cubren el gobierno, como Centro de Operaciones de Emergencias | COE, Defensa Civil, Servicio Nacional de Protección Ambiental (SENPA), Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales y la Oficina Nacional de Meteorología | ONAMET, junto con las asociaciones de seguro; en países desarrollados cada país tiene muchas organizaciones separadas, cada una de ellas responsable de un territorio determinado, con su propio presupuesto. Las técnicas de estas autoridades se basan en la probabilidad de observación humana o las predicciones pronosticadas para incendios forestales, pero no es una solución confiable que pueda detener este problema o reducirlo. No interfieren con el fuego siempre que no represente un peligro para los seres humanos o sus propiedades. Creen que, si recibieron alguna advertencia de figuras públicas, solo entonces podría poner en peligro la vida humana; No consideran el impacto ambiental como una prioridad.

Cualquier observación satelital existente para incendios forestales sufre de severas limitaciones que resultan en una falla en el control rápido y efectivo de las áreas forestales. Algunas de las limitaciones en un enfoque basado en la observación directa de incendios forestales desde satélites geoestacionarios (GEO) o órbita terrestre baja (LEO) son las siguientes: Podría ser imposible proporcionar una cobertura satelital completa o incluso una cobertura intermitente.



(Ahmad A. A. Alkhatib/The University of South Wales, 2014)

Los satélites Geo y Leo están ubicados en órbitas a más de 22,800 millas sobre la superficie de la tierra. La radiación óptica e infrarroja (calor) emitida por las llamas en etapas tempranas, antes de su propagación en una amplia región, puede ser de intensidad demasiado débil para ser identificada por los satélites. La intensidad disminuye a medida que el cuadrado inverso de la distancia, además de ser sensible al ángulo entre la dirección del haz de radiación que llega y normal a la superficie receptora del espejo, cámara, antena y detector; por lo tanto, la posición y la orientación del satélite podrían estar lejos de ser óptimas para detectar un incendio forestal en una fase de inicio por ende puede que no sea precisa.

Es posible que el satélite no esté equipado con transpondedores, antenas, recepción de amplificación, regeneración, traducción de frecuencia y transmisión de enlace descendente adecuada para la detección de incendios forestales. Aun así, puede que aún no haya una asignación formal de la frecuencia y el ancho de banda apropiados para la detección de incendios forestales.

Por lo general, un satélite está diseñado para realizar muchas funciones diversas (telecomunicaciones, detección remota para las características generales de la superficie terrestre o la atmósfera, etc.) y no es rentable agregarle la capacidad de detectar incendios forestales. El funcionamiento de un sistema satelital está sujeto a muchas regulaciones y acuerdos nacionales e internacionales y puede ser menos adecuado para la tarea de observación de incendios forestales.

### 2.1.1 Sensor óptico y cámara digital

Hoy en día, hay dos tipos diferentes de redes de dispositivos y sensores disponibles para la detección de incendios, vigilancia de cámaras y redes de sensores inalámbricas. El desarrollo de sensores, cámaras digitales, procesamiento de imágenes y computadoras industriales todo esto, da como resultado el desarrollo de un sistema de detección de incendios forestales por medio del procesamiento de imágenes satelitales.

Se pueden usar diferentes tipos de sensores de detección en sistemas terrestres:

- Cámara de video, sensible al espectro visible de humo reconocible durante el día y fuego reconocible durante la noche,

- Infrarrojo (ir), cámaras de imagen térmica basadas en la detección del flujo de calor del fuego.

- Espectrómetros ir para identificar las características espectrales del humo.

- Sistemas de detección y rango de luz: lidar (detección de luz y rango) que miden los rayos láser reflejados por las partículas de humo.

Las variantes de sistemas ópticos que funcionan según los diferentes algoritmos diseñados tienen el mismo concepto general en la detección de humo y resplandor de incendios. Simplemente, la cámara produce imágenes todo el tiempo. La imagen consta de una cantidad de píxeles, donde la unidad de procesamiento rastrea el movimiento en las imágenes y verifica cuántos píxeles contienen humo o luz de fuego y luego la unidad de procesamiento envía los resultados de otro algoritmo para decidir si se debe producir una alarma para el operador. La mayoría de los sistemas ópticos deben integrarse con mapas geográficos por razones de localización.

(https://www.firesafemarin.org/remote-fire-detection-cameras, 2014)

El uso de un tipo determinado de cámara o sensor depende no solo de las condiciones específicas de la operación, sino también de los recursos económicos disponibles.

Alarm EYE es un sistema de imágenes de video para detección anticipada de incendios forestales integrado con infrarrojos, blanco y negro y detección de frecuencia de color. Su opción infrarroja puede distinguir entre imagen de llama y vapor de calor. Este sistema fue producido y desplegado en Tailandia.

Los sensores ópticos producidos por EYEfi el sistema de detección de incendios en Australia, para la detección de incendios forestales consisten en cámara (color durante el día y escala ultra baja en gris claro durante la noche) estación meteorológica.

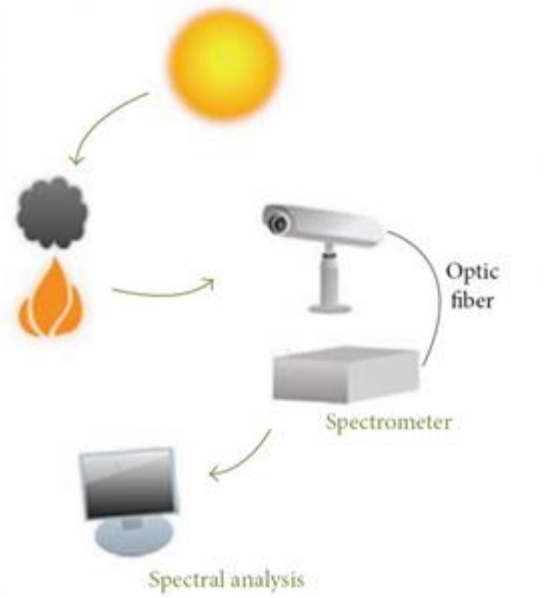
También utilizan cámaras térmicas o cámaras con zoom de inclinación panorámica. no ofrece detección automática de humo, pero planea introducirlo en un futuro cercano. Simplemente, puede proporcionar imágenes para las agencias de bomberos cada vez que el operador nota humo y puede usar el software para usar el mapa GIS y ubicar la posición de humo en el suelo. Se incluyen una estación meteorológica y un detector de luces en el sistema para mayor precisión.

El sistema UraFire se basa en la identificación de humo mediante movimientos de agrupación con una entrada de tiempo para reducir el número de falsas alarmas y se utiliza y produce en Francia.

### 2.1.2 Buscador de incendios forestales

FIRMS Fire Map le permite explorar de forma interactiva el archivo completo de detecciones de incendios activos globales desde MODIS y VIIRS. Los datos de incendio casi en tiempo real están disponibles aproximadamente a las 3 horas del paso por satélite y las imágenes dentro de las 4-5 horas.

Este sistema visor tiene técnicas totalmente diferentes y es un sistema basado en el análisis inteligente de la atmósfera en lugar de detectar el humo o el fuego. Forest Fire Finder rastrea la forma en que la atmósfera absorbe la luz del sol, que depende de la composición química de la atmósfera. La composición diferente tiene un comportamiento de absorción diferente, por lo que Forest Fire Finder puede reconocer el humo orgánico de los árboles quemados y el humo industrial en un rango de 15 km. El equipo se puede instalar en coronas de árboles para una detección más rápida y este sistema se utiliza en bosques portugueses.




(Ahmad A. A. Alkhatib/The University of South Wales, 2014)

Y por último el fire watch que trabaja cuando el sensor detecta una nube o una columna de humo, la información se transmite a una oficina central de monitoreo de incendios forestales a través de RDSI (64 bits) o transmisión de radio de 1 Mpbs; y puede ser transmitido a través de 3G.

### 2.1.3 Satélites

Desde hace varios años, los satélites se han utilizado para detectar incendios, pero antes de profundizar vamos a definir de manera práctica lo que es un satélite. De acuerdo con la National Aeronautics and Space Administration es una luna, un planeta o una máquina que orbita un planeta o una estrella. Por ejemplo, la luna es un satélite porque órbita alrededor de la Tierra. Usualmente, la palabra "satélite" se refiere a un dispositivo que se envía fuera de nuestro planeta y se mueve en órbita rodeando la Tierra u otro cuerpo en el espacio.

La Tierra y la Luna son definidos como satélites por su naturaleza. Miles de satélites artificiales, orbitan la Tierra. Pero en los que nos vamos a enfocar son en los que tienen como tarea tomar fotografías del planeta que ayudan identificar efectos naturales que pueden afectar al medio ambiente y los recursos naturales.

Otros satélites son utilizados principalmente para comunicaciones, como la transmisión de señales de televisión y llamadas telefónicas en todo el mundo. Otro grupo de más de 20 satélites conforman el Global Positioning System (GPS). Si se posee un receptor GPS, estos satélites pueden ayudarlo a determinar su ubicación exacta.

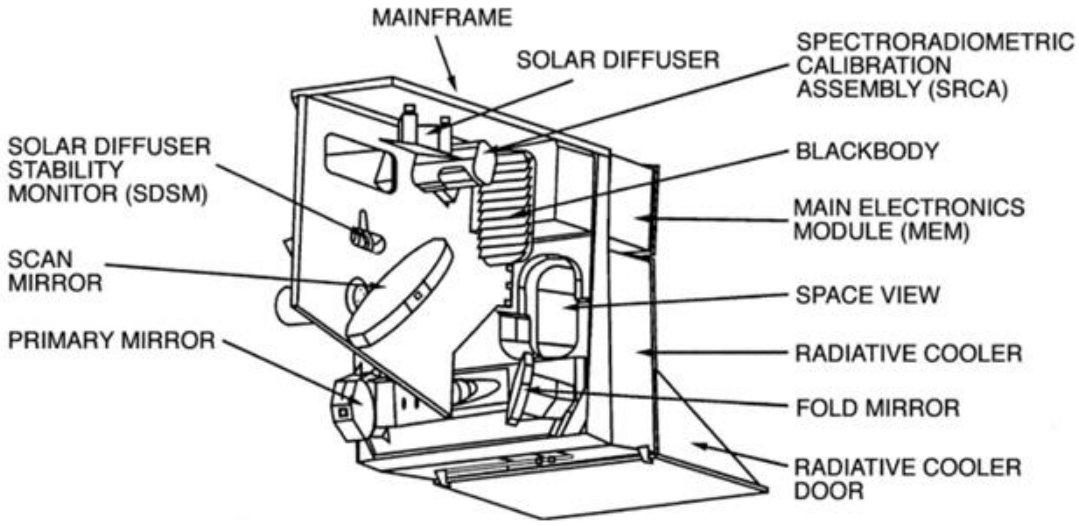
## 2.2 PLATAFORMA DEL SATELITE MODIS

El sensor de espectro radiómetro de imágenes de resolución moderada (MODIS) a bordo de los satélites Terra y Aqua de la NASA se ha utilizado para escanear la superficie de la Tierra en busca de incendios a diario durante casi 15 años. Desde 2012, la Suite de Radiómetro de Imagen de Infrarrojo Visible (VIIRS) a bordo del satélite Suomi (National Polar-orbiting Partnership) ha aportado a producir imágenes de mejor resolución de la superficie terrestre.

El MODIS es un instrumento importante que va a bordo de los satélites Terra (originalmente conocido como EOS AM-1) y Aqua (originalmente conocido como EOS PM-1). La órbita de Terra alrededor de la Tierra está cronometrada para que pase de norte a sur a través del ecuador por la mañana, mientras que Aqua pasa de sur a norte sobre el ecuador por la tarde.

Los productos contra incendios de MODIS se basan y mejoran en la experiencia de evaluación de incendios utilizando principalmente los sistemas

NOAA-AVHRR y GOES. Actualmente, ningún otro sistema proporciona las características del instrumento necesarias para un programa global efectivo de monitoreo de incendios. El sensor MODIS fue diseñado para incluir características específicas para la detección de incendios y proporciona una capacidad única sobre los sensores existentes para monitorear los incendios forestales. Los productos contra incendios incluyen una identificación de la ocurrencia de anomalías térmicas, y una estimación de la potencia total emitida por el incendio y el área quemada. Muchos usuarios están interesados en última instancia en el área de la tierra que se quema. Esto se puede obtener a través de la detección de cicatrices de quemaduras. MODIS ofrece capacidades espaciales y radiométricas únicas para la detección de cicatrices de quemaduras. Ahora se ha desarrollado un procedimiento automático para la detección de cicatrices de quemaduras en el flujo de producción de MODIS. Los productos están disponibles en resolución completa y como resúmenes espaciales y compuestos temporales. Los productos se encuentran en diferentes etapas de madurez y cada producto tiene un programa de validación explícito.




(https://azure.microsoft.com/en-us/solutions/data-warehouse/)

Los productos de extinción de incendios de MODIS ofrecen una importante contribución a los programas de investigación en varias disciplinas científicas diferentes. El fuego es un proceso importante en la mayoría de los biomas terrestres, y la liberación de gases y partículas durante la quema de biomasa contribuye significativamente a las reacciones químicas y los procesos físicos que tienen lugar en la atmósfera. El fuego es un factor importante y continuo en la ecología de las sabanas, los bosques boreales y la tundra, y desempeña un papel central en la deforestación en las regiones tropicales y subtropicales. Además, periódicamente, se producen incendios extensos en muchos biomas templados, como bosques, prados y chaparral.

El fuego cambia el estado físico de la vegetación, liberando una variedad de gases de efecto invernadero en la atmosfera Actualmente existe una gran incertidumbre con respecto a la magnitud de las fuentes y los sumideros de estos gases de efecto invernadero. Por ejemplo, se cree que la emisión neta anual de carbono a la atmósfera debido a la tala y conversión de los bosques tropicales para fines agrícolas (donde la quema de biomasa es una herramienta clave utilizada en el proceso de conversión) contribuye aproximadamente al 30% a Incremento neto anual en la concentración de CO2 atmosférico. Además, existe un interés en los cambios en los regímenes de incendios regionales en diferentes escenarios de cambio climático. Por ejemplo, se ha argumentado que un aumento en la temperatura media del aire en las latitudes del norte conducirá a una disminución en el intervalo de retorno natural del fuego y un aumento en la gravedad del fuego en los bosques boreales y los ecosistemas de tundra. Esto, a su vez, podría llevar a una reducción significativa del carbono almacenado en estos ecosistemas, con un aumento comparable en el carbono atmosférico. • La liberación de gases químicamente reactivos durante la quema de biomasa influye fuertemente en los procesos químicos dentro de la troposfera.

Los estudios han demostrado que la quema intensiva de biomasa asociada con los incendios forestales naturales, las prácticas de deforestación y el manejo de la sabana es una fuente importante de gases traza, tales como NO, CO2, CO, O3, NOx, N2O, NH3, SOx, CH4 y otros no metano. hidrocarburos, así como una fuente abundante de aerosoles (Stith et al., 1981; Crutzen et al., 1985; Fishman et al., 1986; Andreae et al., 1988; Browell et al., 1988; Kaufman et al., 1992). Las estimaciones globales preliminares indican que la quema anual de biomasa puede estar asociada con el 38% del ozono en la troposfera; 32% del monóxido de carbono global; más del 20% del hidrógeno del mundo, hidrocarburos no metanos, cloruro de metilo y óxidos de nitrógeno; y aproximadamente el 39% del carbono orgánico en partículas (Levine, 1991; Andreae, 1991). Aunque estas estimaciones incluyen un amplio rango de incertidumbre, se está haciendo evidente que estas emisiones pueden ser tan importantes para la química atmosférica global como las actividades industriales en el mundo desarrollado (Crutzen et al., 1985; Crutzen y Andreae, 1990).

Se estima que entre el 70 y el 80% de la biomasa total que se quema a nivel mundial cada año se quema en las regiones ecuatoriales y subtropicales (Greenburg et al., 1984; Andreae, 1991). Algunas de las actividades de quema de biomasa más intensivas están asociadas con la deforestación y el manejo de los pastizales en América del Sur, el sudeste asiático y el África subsahariana (Malingreau, 1990). Los trópicos reciben la máxima cantidad de radiación visible y ultravioleta, actuando, así como una fuerza motriz primaria para la circulación atmosférica. Debido a que la mayor parte de la quema de biomasa en los trópicos se limita a una estación de quema, se espera que la concentración temporal y espacial de las emisiones tenga un impacto notable en la química atmosférica y el clima en los trópicos y en todo el mundo como resultado del aumento de las emisiones de gases traza y la Efectos radiativos indirectos de los aerosoles de humo. • La liberación de hollín y otra materia particulada durante los incendios provoca cambios físicos significativos en la troposfera en la región arrastrada por

el viento desde el fuego que afecta la calidad del aire. Primero, dependiendo del albedo de dispersión única, la materia particulada puede resultar en un calentamiento o enfriamiento del clima. En segundo lugar, las partículas emitidas por los incendios pueden afectar la microfísica de la nube y las propiedades de radiación. Las partículas sirven como núcleos de condensación de nubes y dan como resultado un aumento en la cobertura de nubes y nubes más reflectantes.

Este aumento en la capa de nubes aumenta el albedo de la atmósfera y reduce la temperatura promedio del aire. Además, estas nubes también afectan los patrones de precipitación. Los análisis recientes han indicado que los efectos radiativos directos e indirectos de los aerosoles de la quema de biomasa pueden ser significativos para el equilibrio radiativo de la Tierra y pueden ser un factor importante en el cambio climático (Coakley et al., 1983; Twomey et al., 1984; Charlson et al., 1991; Kaufman et al., 1991; Twomey, 1991; Penner et al., 1992). Aunque los efectos generales de la carga de aerosoles de la quema de biomasa no se conocen bien. Los dos componentes primarios radiactivamente activos de las emisiones de aerosoles de la quema de biomasa son partículas orgánicas y carbono grafítico. El carbón orgánico particulado es el constituyente más grande y generalmente sirve para dispersar la radiación solar entrante, mientras que las partículas de carbono grafítico pueden aumentar la absorción de la radiación solar en la atmósfera y las nubes. El principal efecto directo de los aerosoles de carbono orgánico en partículas es que reflejan la radiación solar entrante de regreso al espacio y actúan para enfriar la superficie. Los efectos indirectos del carbón orgánico en partículas están asociados con la capacidad de estos aerosoles para actuar como núcleos de condensación de nubes (CCN). Las nubes son uno de los controles más importantes en el balance de calor de la tierra.

**MISR** (Espectro Radiómetro de imágenes de múltiples ángulos)

**MOPITT** (Mediciones de la contaminación en la troposfera)

**MODIS** (Espectro radiómetro de imágenes de resolución moderada)

**CERES** (Las nubes y el sistema de energía radiante de la Tierra)

## 2.3 DESCRIPCIÓN DEL ALGORITMO DETECTOR DE INCENDIO ACTIVO MODIS

Los incendios tienen varios efectos directos e indirectos en los ecosistemas terrestres. Primero, el patrón de incendio (que incluye su distribución espacial, el intervalo de retorno del incendio y la gravedad de la quema) controla directamente el desarrollo de la comunidad vegetal en aquellos paisajes donde se produce la quema de biomasa. El fuego favorece aquellas plantas y especies de árboles que han desarrollado adaptaciones al fuego. En segundo lugar, el fuego afecta indirectamente al desarrollo de la comunidad de plantas de varias maneras, incluyendo (a) la adición de nutrientes vegetales clave mediante la fertilización con cenizas o el aumento de la descomposición del suelo; (b) el agotamiento de nutrientes vegetales clave a través de la escorrentía superficial o el aumento de la lixiviación del suelo; y (c) alterando la temperatura del suelo y la humedad. Finalmente, las reacciones químicas de los gases liberados por el fuego conducen a un aumento en el ozono atmosférico y al depósito de compuestos ácidos a favor del viento, que a su vez pueden afectar la fisiología de las plantas y los ecosistemas en estas áreas.

### 2.3.1 MOD14 y MYD14

MOD14 / MYD14 es el producto de incendio más básico en el que se identifican incendios activos y otras anomalías térmicas, como los volcanes. El producto de Nivel 2 está de fi nido en la geometría de órbita de MODIS que cubre un área de aproximadamente 2340 por 2030 km en las direcciones transversal y transversal, respectivamente. Se utiliza para generar todos los productos de fuego de nivel superior.

### 2.3.2 MÁSCARA DE FUEGO

La máscara de fuego es el componente principal del producto de fuego MODIS de Nivel 2, y se almacena como un conjunto de datos científicos (SDS) enteros sin signo de 8 bits denominado "máscara de fuego". En él, a los píxeles individuales de 1 km se les asigna una de las nueve clases.

La comunidad internacional ha identificado el fuego como una variable importante para el Sistema Mundial de Observación del Clima y una variable climática esencial para la Convención de Franework sobre el Cambio Climático.

### 2.3.3 Herramientas contra incendios de nivel 2: MOD14 (Terra) y MYD14 (Aqua)

Este es el producto de incendio más básico en el que se identifican incendios activos y otras anomalías térmicas, como los volcanes. El producto de Nivel 2 se define en la geometría de órbita de MODIS que cubre un área de aproximadamente 2340 × 2030 km en las direcciones de exploración a lo largo de la trayectoria. Se usa para generar todos los productos de fuego de nivel superior y contiene los siguientes componentes:

• Una máscara de fuego activa que muestra las llamas y otros píxeles relevantes (Figura 2);

• Una imagen de control de calidad (QA) de nivel de píxeles que incluye 19 bits de información de control de calidad sobre cada píxel;

• Una tabla de píxeles de fuego que proporciona 27 piezas separadas de información radiométrica y de algoritmo interno sobre cada píxel de fuego detectado dentro de un gránulo;

• Metadatos extensivos obligatorios y específicos del producto;

• Una capa de datos relacionada con la cuadrícula para simplificar la producción del producto de fuego de Climate Modeling Grid (CMG) (Sección 3.6).

Los metadatos específicos de las herramientas que ofrece el Nivel 2 incluyen el número de nubes, agua, no fuego, fuego desconocido y otros píxeles que aparecen dentro de un gránulo para simplificar la identificación de los gránulos que contienen actividad de fuego.

Herramientas contra incendios diurnas y nocturnos de nivel 2G: MOD14GD / MOD14GN (Terra) y MYD14GD / MYD14GN (Aqua)

Los productos de incendios activo de Nivel 2 detectados durante los períodos diurnos y nocturnos se almacenan sin remuestreo en un formato de datos intermedio denominado Nivel 2G. El formato de Nivel 2G proporciona una estructura de datos geocodificada conveniente para almacenar gránulos y permite la flexibilidad para la posterior composición y reproyección temporales. Los productos de fuego de Nivel 2G son una fuente de datos intermedia temporal que se utiliza únicamente para producir los productos de fuego de Nivel 3 y, por lo tanto, no están disponibles en el archivo de datos permanente de MODIS.

Herramientas de fuego compuestos diarios de 8 días de nivel 3: MOD14A1 (Terra) y MYD14A1 (Aqua)

La herramienta de monitoreo de incendio MODIS diario Nivel 3 está basado en mosaicos, con cada archivo de la herramienta abarcando uno de los 460 cuadros MODIS, 326 de los cuales contienen píxeles de tierra. El producto es un compuesto cuadriculado de 1 km de píxeles de fuego detectados en cada celda de la cuadrícula en cada período de composición diario (24 horas). Para su comodidad, ocho días de datos se empaquetan en un solo archivo.

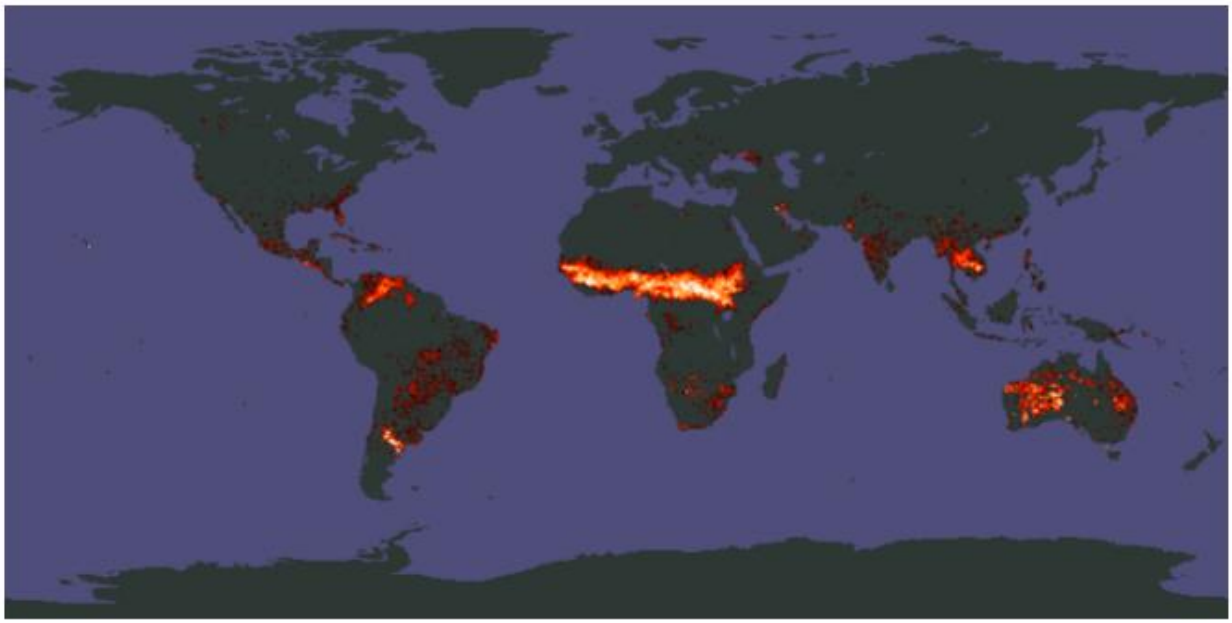
Nivel 3 Resumen de 8 días de productos contra incendios:

### 2.3.4 MOD14A2 (Terra) y MYD14A2 (Aqua)

El producto del incendio de MODIS del nivel 3 diario de 8 días se basa en mosaicos, y cada archivo de producto abarca uno de los 460 mosaicos de MODIS, de los cuales 326 contienen píxeles de tierra. El producto es un compuesto cuadriculado de 1 km de píxeles de fuego detectados en cada celda de la cuadrícula durante el período de composición de 8 días. El compuesto de 8 días es el valor máximo de las clases de píxeles individuales de Nivel 2 que se incluyeron en cada celda de la cuadrícula de 1 km durante todo el período de composición de 8 días.

### 2.3.5 Herramientas de detección de fuego de rejilla y de modelado climático (MOD14CMQ, MYD14CMQ, etc.)

Los productos de incendios de CMG son resúmenes estadísticos reticulados de información de píxeles de disparo destinados al uso en modelos regionales y globales. Los productos ahora se generan a una resolución espacial de 0.25 ° para períodos de un mes calendario (MOD14CMQ y MYD14CMQ) y ocho días (MOD14C8Q y MYD14C8Q)



(https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/map/#z:3;c:0.0,0.0;d:2019-07-15..2019-07-16, 2019)

### 2.3.6 Producto de ubicación de incendio mensual global (MCD14ML)

Para algunas aplicaciones es necesario tener las coordenadas geográficas de píxeles de fuego individuales. Lo próximo para la Colección 5 es el producto de ubicación de incendio mensual global (MCD14ML), que contiene esta información para todos los píxeles de fuego de Terra y Aqua MODIS en un solo archivo ASCII mensual.

### 2.3.7 Imágenes en tiempo real de MODIS y productos contra incendios

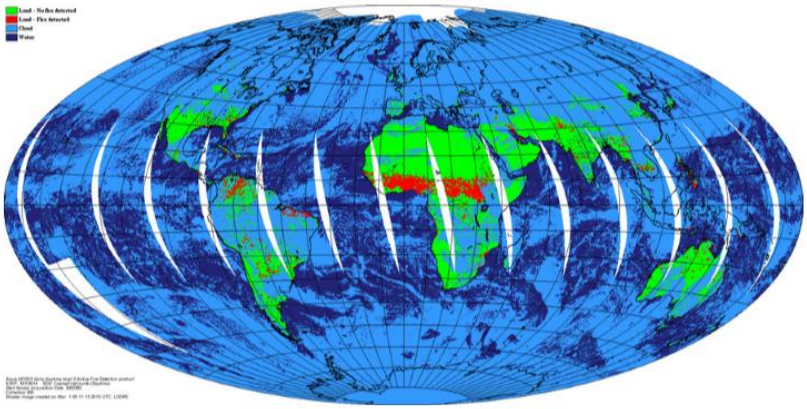
Hace posible la visualización y lectura de la atmósfera con un margen muy mínimo para el sistema de respuesta rápida EOS (LANCE) produce imágenes globales en tiempo casi real que incluyen la corrección de los colores verdaderos y los falsos superpuestos con ubicaciones de fuego, índice de la vegetación y diferencia normalizada (NDVI), y Temperatura de la superficie de

la tierra. Las ubicaciones en tiempo real de los píxeles de fuego de Terra y Aqua MODIS también están disponibles como archivos logs, y estos pueden ser analizados por algoritmo de machine learning para crear predicciones de acuerdo a los datos históricos.

Las imágenes en color verdadero de los incendios y el humo generado por el MODIS Rapid Response en el sureste de Australia (10 de diciembre de 2006, 03:45 UTC

## 2.4 Imágenes de navegación global de LDOPE

La Evaluación operativa de las herramientas de monitoreo de datos terrestres (LDOPE) de MODIS proporciona imágenes interactivas de exploración global diaria de muchos productos terrestres de MODIS desde el sitio web de Imágenes de MODIS Land Global Browse1 en tiempo casi real. Para la mayoría de los productos (incluidos los productos de fuego), las

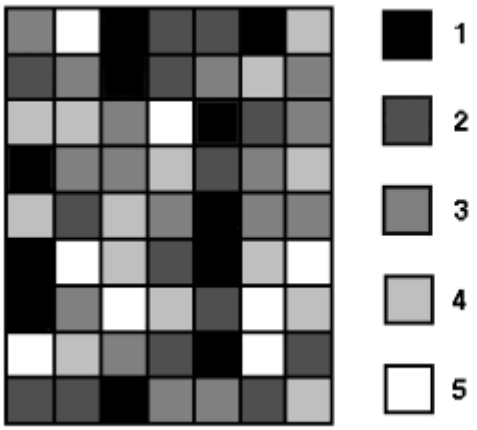


(Louis Giglio/Department of Geographical Sciences, 2015)

imágenes de exploración se generan utilizando solo los pasos superiores diurnos. El sitio le permite acercarse arbitrariamente a cualquier región del mundo y examinar las características de interés con más detalle.

## 2.5 CLASIFICACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES

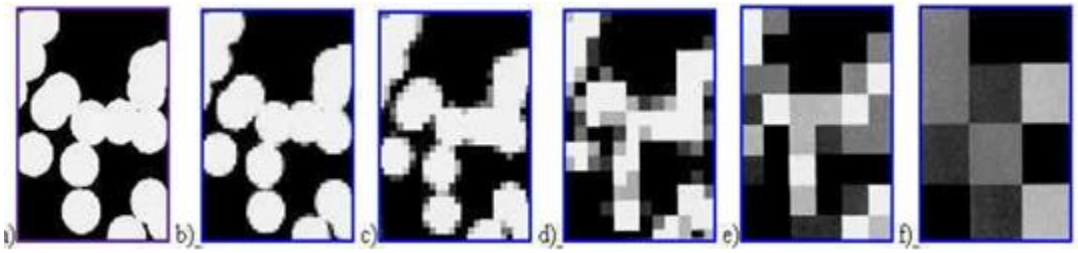
### 2.5.1 **Imágenes de satélites** segmentada por pixeles




| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | 5 | 1 | 2 | 2 | 1 | 4 |
| 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 4 | 3 |
| 4 | 4 | 3 | 5 | 1 | 2 | 3 |
| 1 | 3 | 3 | 4 | 2 | 3 | 4 |
| 4 | 2 | 4 | 3 | 1 | 3 | 3 |
| 1 | 5 | 4 | 2 | 1 | 4 | 5 |
| 1 | 3 | 5 | 4 | 2 | 5 | 4 |
| 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 5 | 2 |
| 2 | 2 | 1 | 3 | 3 | 2 | 4 |

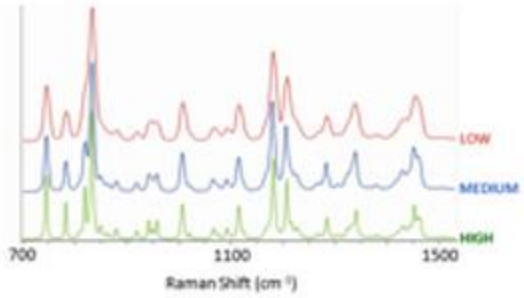
(http://www.horiba.com/us/en/scientific/products/raman-spectroscopy/raman-academy/raman-faqs/what-is-spectral-resolution-and-when-is-it-needed/, 2019)

### 2.5.1 Resolución espacial:



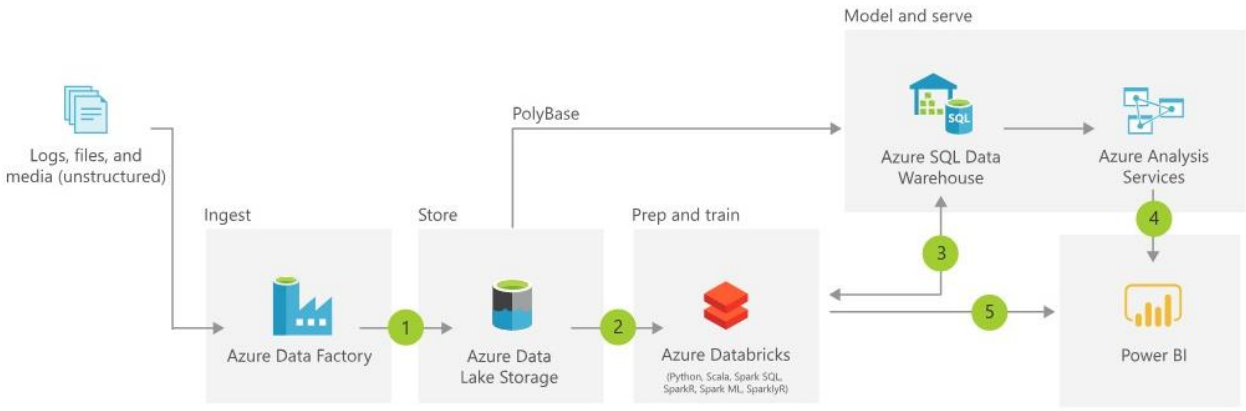
(http://www.horiba.com/us/en/scientific/products/raman-spectroscopy/raman-academy/raman-faqs/what-is-spectral-resolution-and-when-is-it-needed/, 2019)

### 2.5.2 Resolución espectral:




(http://www.horiba.com/us/en/scientific/products/raman-spectroscopy/raman-academy/raman-faqs/what-is-spectral-resolution-and-when-is-it-needed/, 2019)

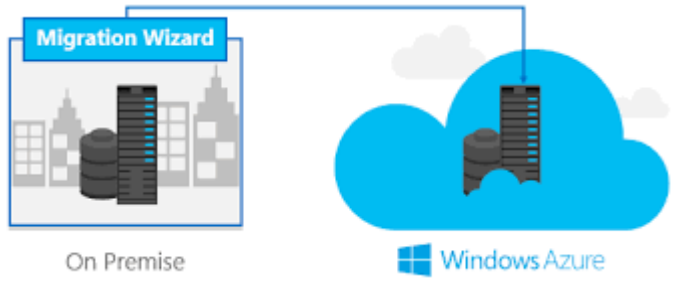
## 2.6 CARACTERISTICAS DE LA INFRAESTRUCTURA TECNOLOGICA




(https://azure.microsoft.com/en-us/solutions/data-warehouse/)

### 2.6.1 Servidor MS SQL local:

Los datos de origen se encuentran en archivos e imágenes que luego pasan a una base de datos de SQL Server en las instituciones pertinentes. Para simular el entorno local, los scripts de implementación para esta arquitectura proveen una máquina virtual en Azure con SQL Server instalado. La base de datos de las imágenes procesadas por los satélites se utiliza como la base de datos de origen.



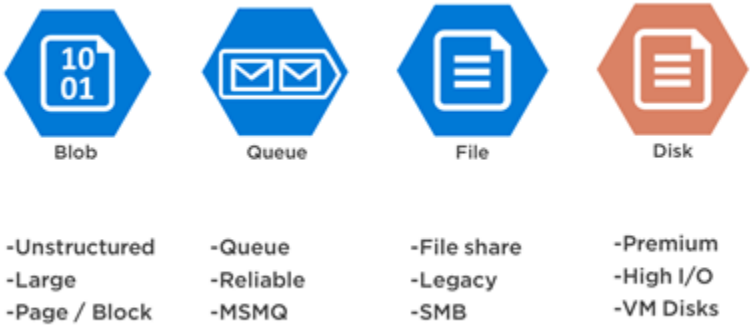

(https://azure.microsoft.com/en-us/solutions/data-warehouse/)

### 2.6.2 Datos externos:

Un escenario común para el Data Warehouse es integrar diferentes fuentes de datos. Esta plataforma de referencia carga un conjunto de datos de fuentes externas que contiene la ocurrencia de los incendios forestales por año y lo integra con los datos de la base de datos OLTP mencionada arriba. Se utilizarán estos datos para información como: "¿El crecimiento de los incendios en cada región coincide o se relaciona directamente con el clima?".

### 2.6.3 Ingestión y almacenamiento de datos:

Blob de almacenamiento. El método de almacenar datos en de blobs o en sus siglas (Objeto grande binario) se utiliza como un área de stage para los datos en la base de datos origen aquí se almacenaría las imágenes con mayor detalle y pixeles, antes de cargarlos en el Data Warehouse de SQL.




(https://azure.microsoft.com/en-us/solutions/data-warehouse/)

### 2.6.4 Almacén de datos SQL de Azure:

SQL Data Warehouse es un sistema distribuido creado para realizar análisis en grandes volúmenes de información detallado de la ocurrencia de los incendios, almacenadas en tablas. Admite el procesamiento paralelo en

grandes escalas (MPP), lo que lo hace idóneo para ejecutar análisis de alto desempeño.

### 2.6.5 Fábrica de datos de Azure:

Data Factory es un servicio gestionado que organiza y automatiza el flujo de datos y la transformación de datos. En esta plataforma, coordina las diversas etapas del proceso extracción transformación y carga de los datos.

### 2.6.6 Servicios de análisis de Azure:

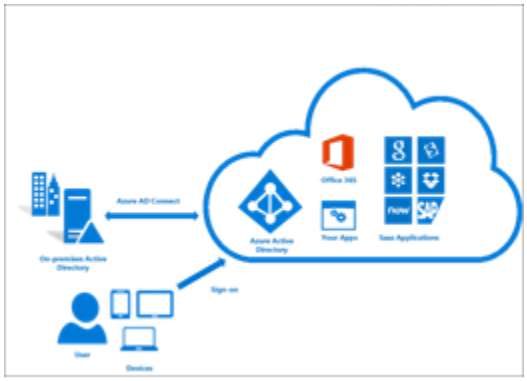
Analysis Services es un servicio mayormente gestionado que ofrece capacidades de modelado de datos. El modelo semántico se estaría cargando en el servidor de Analysis Services para posteriormente ser consumido por la plataforma de reporteria. En esta etapa del procesa se estaría utilizando los datos históricos por regiones del país, para estimar la ocurrencia e impacto de un posible incendio forestal.

### 2.6.7 Power BI:

Power BI es una suite de herramientas para el análisis de datos, que sirve para obtener y visualizar información sobre los datos estructurados ya cargados a una BD. En esta arquitectura, consulta el modelo semántico basado en Analysis Services.

### 2.6.8 Autenticación:

Azure Active Directory (Directorio Activo de Azure) se utiliza para loggear a los usuarios que se van a conectar al servidor de Analysis Services a través de la herramienta de Power BI y poder trabajar con la visualización, el análisis y la generación de reportes.



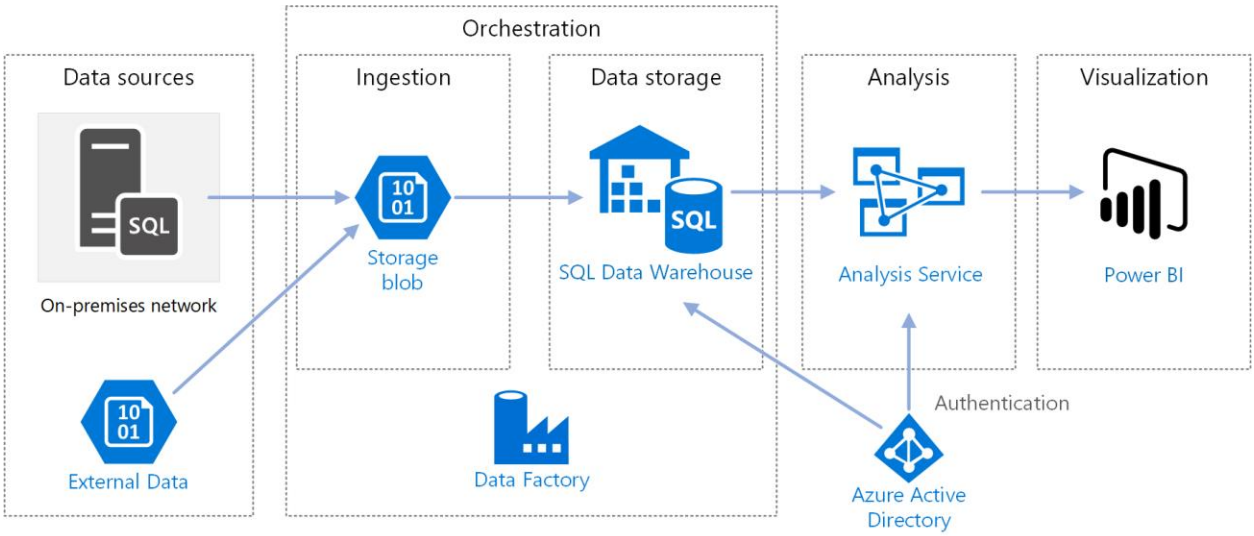
(https://azure.microsoft.com/en-us/solutions/data-warehouse/)

Data Factory también puede usar Directorio Activo de Azure para autenticarse en el almacén de datos de SQL, mediante el uso de usuario principal de servicio o una Identidad de servicio administrada (MSI). Para simplificar, la implementación de ejemplo utiliza la autenticación de SQL Server que también pudiera ser una opción de autenticación.

### 2.6.9 Data Pipeline

En Azure Data Factory, un flujo es una agrupación lógica de actividades que se utilizan para coordinar una tarea; en este caso, cargar y transformar datos en el Almacén de datos SQL.

Esta arquitectura de referencia muestra como estaría configurado un flujo principal que ejecuta una secuencia de flujos secundarios. Cada flujo secundario carga datos en una o más tablas de almacenamiento de datos.




(https://azure.microsoft.com/en-us/solutions/data-warehouse/)

# 3 CAPITULO 3. PROPUESTA DE IMPLEMENTACION DEL MODELO DE DETECCION DE INCENDIOS

## 3.1 ALCANCE Y LIMITACIONES DEL SISTEMA

El objetivo general de esta implementación es facilitar datos para la gestión estratégica de incendios forestales en base a investigación espacial. El sistema, desde el punto de vista de la Arquitectura del Software, esta imaginado como un boceto distribuido de módulos, pensados para atender los requerimientos diarios de información facilitada por los satélites y además generar información puntual definida por parte de los usuarios para localidades y ocasiones determinados dentro del territorio Nacional.

El módulo designado a procesar información diaria está orientado a procesar los datos provenientes del satélite de moderada resolución espacial (MODIS), fuentes cartográficas y de modelos numéricos. En paralelo, la rutina de consulta on demand se espera que suministre productos a pedido de los usuarios de alta resolución espacial con mayor detalle sobre las áreas y periodos de interés del usuario. En esta primera etapa de la arquitectura, se realizó un análisis de los

requerimientos del sector correspondiente a la administración de Áreas Naturales Protegidas (Parques nacionales) y sobre el sector de producción agrícola. Para estos sectores se identificaron los requerimientos puntuales de información espacial, reorientados a las acciones de prevención, control y la cuantificación de daños por incendios.

En función de aquellos requerimientos, se determinaron los fundamentos para el desarrollo implementación y el diseño de soluciones a la medida de las entidades relacionadas. De este modo, y como se comentó previamente, el sistema apunta a generar productos basados en la observación y el seguimiento de las condiciones que determinan el ciclo de la ocurrencia de incendios. Este tipo de proyecto es adoptado de otros autores, con el objetivo de organizar los procesos y el desarrollo de los productos definido para las entidades asociadas. Los antecedentes en estas soluciones han establecido una ruta orientada a una pronta disponibilidad de soluciones geoespaciales, como mapas, reportes de simulación alertas, y otros, a través de servidores cartográficos y en la nube.

La contribución en cuanto a la disponibilidad de información satelital junto a los Sistemas de Información Geográfica (GIS), y las tecnologías de información y comunicación (TIC), han contribuido enormemente en los avances de campos como la telemática, y en especial sobre la posibilidad de tener acceso a soluciones e implementaciones elaboradas generados en forma operacional.

## 3.2 COMPONENTES REQUERIDOS

### 3.2.1 Requerimientos de usuarios

La formulación de requerimientos de las entidades involucradas se realizó mediante reuniones técnicas entre los potenciales usuarios del sistema y en base a los antecedentes de otros sistemas operativos. Los requerimientos de ambos

de los sectores analizados se resumieron en una serie de aplicaciones ó módulos, destinados a resolver la provisión de productos, dentro de los ciclos descritos.

### 3.2.2 Módulos del sistema

#### *3.2.2.1 Módulo de prevención y Riesgo de Incendio*

El módulo debe generar diversos índices que en forma integrada logren Identificar el estado de Riesgo de Incendios a escala Nacional. se pretende trabajar con imágenes de Moderada resolución espacial (MODIS) en forma diaria. Dichas imágenes se usarán para calcular índices espectrales como el GVMI “Global Vegetation Moisture Index” que expresa el contenido de humedad de la vegetación.

Dicho índice, combinado junto a factores humanos, de la topografía y los combustibles, buscan representar en forma dinámica, las condiciones de vulnerabilidad de la vegetación, y de peligro, estas últimas, asociadas al factor humano.

#### *3.2.2.2 Módulo de Identificación y Detección de Incendios*

El módulo debe lograr identificar eventos de incendios por medio de la detección de grupos de Focos de Calor. Estos, representan el conjunto de Focos de Calor, que mediante una asociación espacio temporal, forman parte de un mismo evento de incendio.

La aplicación, además de identificar los eventos, debe caracterizar el tipo de vegetación afectada, su localización a nivel geográfico, la afectación de parques nacionales y áreas protegidas, identificar el nivel de riesgo asociado, cuantificar la energía liberada por las coberturas y capturar el horario de la toma de los datos.

#### *3.2.2.3 Módulo de Detección de Áreas Quemadas*

El módulo debe lograr cuantificar la superficie y el tipo de coberturas afectadas por incendios a escala Nacional y con determinadas frecuencias de tiempo. La

idea es utilizar datos MODIS. El producto de Área Quemada se pretende que sea distribuido en forma mensual, a una resolución espacial de 500m este módulo a su vez pretende tener una interface con la unidad de procesamiento de imágenes a demanda, para atender los pedidos de usuarios sobre áreas y épocas específicas con imágenes de alta resolución, utilizando el satélite SPOT.

#### *3.2.2.4 Módulo de Simulación del comportamiento de Incendios*

Este módulo busca lograr simular el comportamiento de un incendio a partir de ciertas condiciones de riesgo de la zona de interés elegida por el usuario. El módulo pretende funcionar como una unidad de procesamiento independiente, dentro del subsistema que corresponde a los pedidos de información bajo demanda. Mediante esta aplicación, se pretende que el usuario pueda realizar en forma remota, un análisis de simulación, sobre su área de interés y bajo parámetros personalizados. Los resultados de la simulación podrán visualizarse en línea o solicitarse para su descarga.

#### *3.2.2.5 Alertas y resúmenes de incendios a nivel Nacional*

Corresponde a un informe en formato PDF u otro que contiene información relativa a la presencia de Focos de Calor en el territorio Nacional. Las Alertas corresponden a las situaciones donde los Focos se encuentran dentro ó cercano a los límites de un APN o región Forestal de interés. El informe, además, puede ser sobre la situación general de incendios a nivel país, y será confeccionado de acuerdo a los requisitos del usuario. Es distribuido via correo electrónico o via SMS y entre otros formatos a investigar.

#### *3.2.2.6 Simulaciones del comportamiento de incendios*

Corresponde a un mapa de tipo vectorial que representa la superficie quemada simulada de acuerdo a los parámetros de entrada al sistema.

#### *3.2.2.7 Identificación de Productos*

Los productos se identifican de acuerdo con los requerimientos de usuario identificados y en función de los módulos definidos.

#### *3.2.2.8 Índice de Amenaza*

Corresponde a un mapa ráster con resolución de 1km basado en las características de accesibilidad del terreno y la presencia de actividades humanas.

#### *3.2.2.9 Índice de Vulnerabilidad Topográfica*

Corresponde a un mapa ráster con resolución 1km basado en las características topográficas extraídas de un Modelo Digital de Terreno, que representan mayor peligro de incendio.

#### *3.2.2.10* Índice de Vulnerabilidad de la ***Vegetación***

Corresponde a un mapa ráster con resolución de 1km que comprende el tipo (modelo) de combustibles y estado de contenido de humedad, basado en información espectral de origen satelital (MODIS).

#### *3.2.2.11 Índice de vulnerabilidad Meteorológico*

Corresponde a un mapa raster con resolución de XX km resultado del cálculo del índice FWI (Fire Weather Index) a partir de las variables del día: Temperatura, Humedad Relativa, velocidad del viento, y lluvias (24 hs pasadas), estimadas a partir de Modelos.

#### *3.2.2.12 Índice de Accesibilidad*

Corresponde a un mapa ráster con resolución de 1km que indica las posibilidades de acceso de acuerdo a la presencia de vías de comunicación, y las características topográficas existentes.

#### *3.2.2.13 Índice Integrado de Peligrosidad y Riesgo*

Corresponde a un mapa ráster con resolución de 1km. Representa las condiciones de vulnerabilidad de la vegetación junto a las amenazas relativas al factor humano.

#### *3.2.2.14 Área Quemada*

Corresponde a un mapa ráster binario que comprende las clases quemado/no quemado para el territorio Nacional en base a imágenes de resolución media (500m) de origen satelital (MODIS).

#### *3.2.2.15 Eventos de Incendio*

Corresponde a un mapa vectorial (puntos) que comprende la agrupación de Focos de Calor (clúster) que conjuntamente caracterizan a un evento de incendio. El producto está pensado en base a la acumulación de Focos de Calor MODIS en forma diaria para el territorio Nacional.

### 3.2.3 Almacenamiento

Las soluciones de almacenamiento en las instalaciones tradicionales pueden ser incoherentes en cuestión de costos, desempeño y escalabilidad, sobre todo con el paso del tiempo. Los proyectos de big data exigen conjuntos de almacenamiento seguros, económicos, altamente disponibles y de gran escala que normalmente se conocen como lagos de datos.

Para este proyecto hemos optado por una solución en el que todos sus componentes se encontraran almacenado sen la nube y en premisas de las instituciones, tanto las bases de datos, como los aplicativos. En vista de la fiabilidad se su producto hemos optado por utilizar los servicios de AZURE en la modalidad de PaaS (Plataforma como Servicio). Se estima que el volumen de tráfico de Datos sea superior a 100 GB de información al mes.

Como motor de base de Datos hemos elegido las soluciones de Microsoft por su fiabilidad y gran experiencia en el mercado

### 3.2.4 Cloud

AZURE está diseñado para ofrecer una durabilidad del 99,99% y una disponibilidad de los objetos del 99,99% durante un año concreto

Dentro de las bondades que nos brinda realizar esta implementación a través de la nube se encuentran:

**Acceso desde cualquier sitio y con varios dispositivos:** Por la característica de implementación de esta solución los módulos aplicativos y archivos estarán en la nube, con lo que a través de una conexión a Internet se puede acceder a cada uno de ellos, además de dispositivos tales como, unas laptop, Tablet PC, un iPad, o hasta un smartphone.

**Software centralizado**. Eso evitara tener que incurrir en grandes implementaciones de software También el proveedor se encargara de las actualizaciones y los upgrade de sistema. el único programa necesario para la implementación es un navegador de Internet para acceder a ella y trabajar.

**Ahorro en software y hardware.** El software es compartido por todos los usuarios, sin necesidad de adquirir una copia individual para cada uno. Esto permite reducir coste de implementación de software, así como gastos de implementación de hardware.

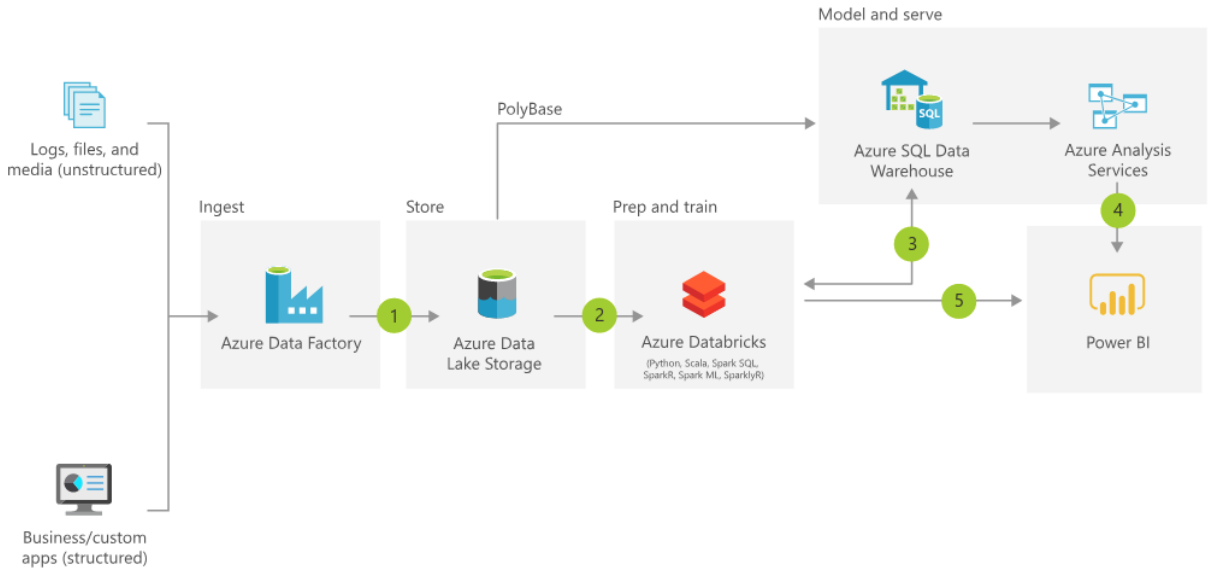
**Ahorro en mantenimiento técnico**. Sin programas instalados o redes de PC complejas que configurar y mantener, los usuarios de este sistema no tendrán ningún tipo de inconvenientes. El proveedor de la nube se encargará del mantenimiento técnico de los servidores. El usuario o administrador del sistema no necesitara saber grandes conocimientos técnicos para administrar y gestionar la información requerida.

**Escalabilidad:** Un sistema informático es escalable si puede crecer para responder a necesidades más exigentes. Esto es crucial sobre todo para este tipo de implementaciones. Con esta implementación cien por ciento en la nube la escalabilidad está garantizada sin tener que invertir más de lo necesario en previsión de que las necesidades aumenten. Si uno de los módulos necesita más

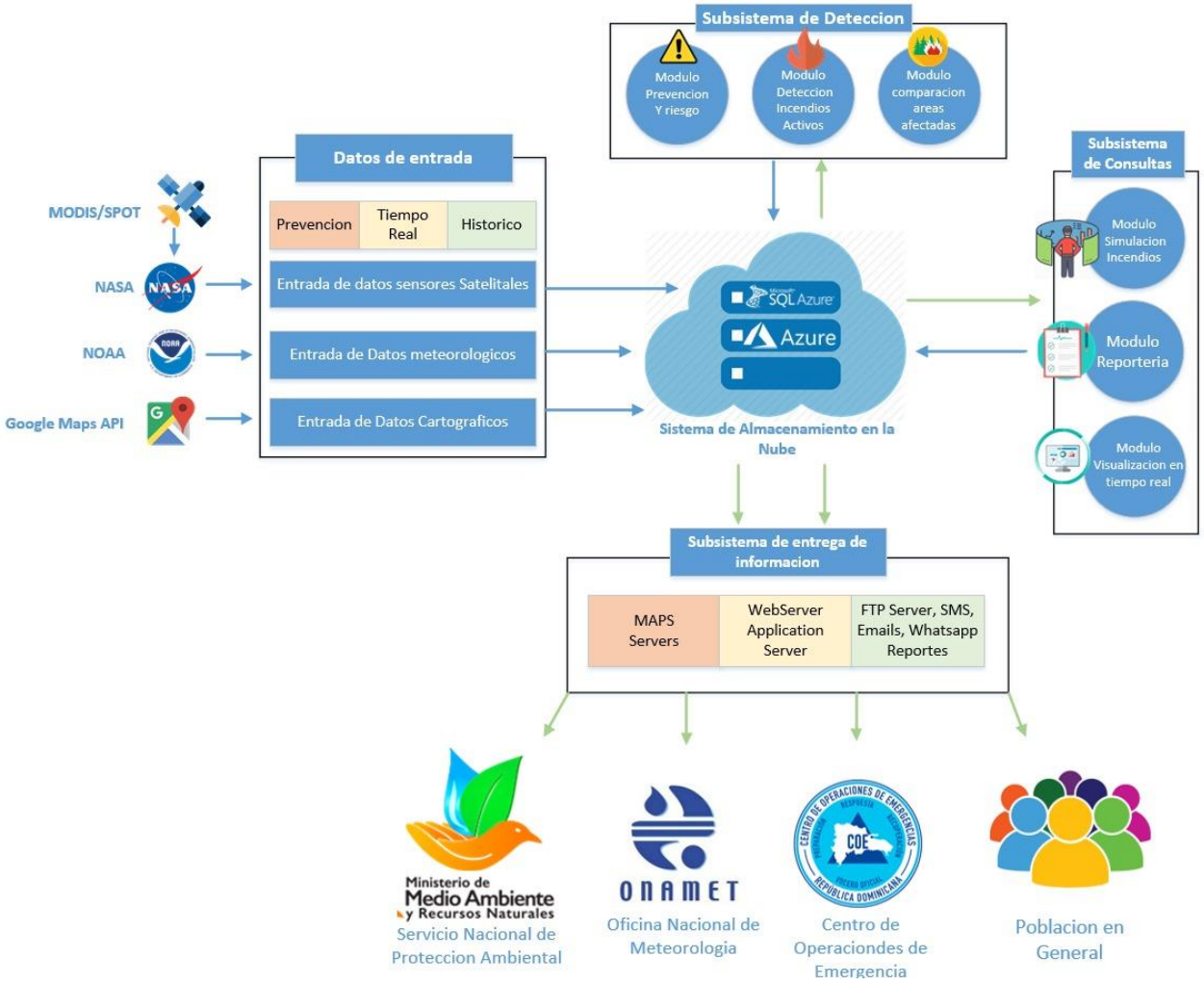
o menos capacidad de proceso o de almacenamiento, el proveedor (AZURE) lo facilitará casi en tiempo real. Eso optimiza los recursos en todo momento.

### 3.3 DISEÑO DEL SISTEMA

A Continuación, se presenta el diseño preliminar de la arquitectura del sistema en el cual quedan especificados los subsistemas, unidades de procesamiento, las especificaciones de los datos de entrada, módulos, y el flujo de información entre los mismos. En etapas sucesivas de desarrollo del sistema, se definirán los subsistemas a nivel de detalle, junto a las unidades de procesamiento. El avance en tales definiciones, llevarán paulatinamente a la implementación operacional del sistema




(https://azure.microsoft.com/en-us/solutions/data-warehouse/)


Subsistema de Deteccion
Modulo Prevencion Y riesgo
Modulo Deteccion Incendios Activos
Modulo comparacion areas afectadas
Datos de entrada
MODIS/SPOT
NASA
NOAA
Google Maps API
Prevencion
Tiempo Real
Historico
Entrada de datos sensores Satelitales
Entrada de Datos meteorologicos
Entrada de Datos Cartograficos
Sistema de Almacenamiento en la Nube
Subsistema de Consultas
Modulo Simulacion Incendios
Modulo Reporteria
Modulo Visualizacion en tiempo real
Subsistema de entrega de informacion
MAPS Servers
WebServer Application Server
FTP Server, SMS, Emails, Whatsapp Reportes
Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales
Servicio Nacional de Proteccion Ambiental
ONAMET
Oficina Nacional de Meteorologia
Centro de Operaciondes de Emergencia
Poblacion en General

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el transcurso de este análisis, consideramos apoyarnos con imágenes de otro satélite (Landsat 7 ETM), pero nos dimos cuenta de que las imágenes de este no son las más adecuadas para este tipo de estudio, debido a varios factores, entre los que podemos mencionar:

### Baja resolución espacial en la banda termal

Las imágenes poseen una baja resolución (60m x 60m) en el caso de la banda 6A y 68, no permitiendo esto ver objetos de una dimensión menor en la imagen y no ayuda al análisis visual.

### Baja resolución temporal

Las imágenes Landsat de un mismo lugar pueden ser obtenidas cada 16 días, por lo que un seguimiento o monitoreo de un incendio forestal seria poco efectivo.

### Alto costo de adquisición de las imágenes.

Una sola escena Landsat 7 de dimensión 185km x 185km cuesta alrededor de US$ 1800.00. Aunque existe la posibilidad de poder adquirir fracciones de la escena a un precio más bajo.

Por lo tanto, nuestra recomendación va en torno a utilizar imágenes de otros satélites como TERRA, IKONO y NOAA-AVHRR 12, 14. Estos satélites ofrecen resolución temporal de 1 a 4 días, lo que facilitaría hacer un mejor seguimiento de incendios. Además, la resolución de las imágenes es mucho mejores que las del Landsat, especialmente en las bandas correspondiente al espectro visible, lo cual ayuda mejor al análisis visual.

La disponibilidad de imágenes del sensor MODIS, abordo en los satélites TERRA e AQUA es otro aspecto importante que tomar en cuenta. Podemos encontrar imágenes en la Web actualizadas diariamente sobre la misma área de interés y en con un nivel de preprocesamiento aceptable. El costo de estas imágenes es mucho más bajo que el de las imágenes Landsat.

## Referencias Bibliograficas


Ahmad A. A. Alkhatib/The University of South Wales, U. (2014). A Review on Forest Fire Detection Techniques. *A Review on Forest Fire Detection Techniques*. Ahmad A. A. Alkhatib.

clubensayo. (29 de Noviembre de 2012). Obtenido de clubensayo: https://www.clubensayos.com/Tecnolog%C3%ADa/TELEDETECCION/457873.html

eldia.com.do. (19 de febrero de 2012). Obtenido de eldia.com.do: https://eldia.com.do/los-incendios-forestales-en-republica-dominicana/

Figura 1.1 : http://www.gofcgold.wur.nl. (15-19 de Abril de 2013). Global Fire Early Warning System. *Global Fire Early Warning System*. Holanda.

Figura 1.2 : http://gfmc.online/. (24 de Noviembre de 2007). GLOBAL FIRE EARLY WARNING SYSTEM – OVERVIEW. http://gfmc.online.

Figura 1.3 https://www.diariolibre.com. (2019 de marzo de 4). Mapa evidencia situación real de incendios forestales. Rep. Dominicana: https://www.diariolibre.com.

Figura 1.4: Oficina Nacional de Estadistica (ONE). (17 de Abril de 2019). Ocurrencia de incendios forestales 1972-2018. Rep.Dominicana: Oficina Nacional de Estadistica (ONE).

Figura 1.5:Centro de Operaciones de Emergencia. (s.f.). Centro de Operaciones de Emergencia. Rep. Dominicana.

Figura 1.6 :onamet.gob.do. (s.f.). Rep.Dominicana: onamet.gob.do.

Figura 1.8: Ministerio de Medio Ambiente Rep. Dominicana. (s.f.). Rep. Dominicana: Ministerio de Medio Ambiente Rep. Dominicana.

Hoy.com.do. (14 de agosto de 2010). Obtenido de Hoy.com.do: https://hoy.com.do/el-85-por-ciento-de-los-incendios-forestales-enrd-se-producen-por-la-quema-y-tumba/

https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/map/#z:3;c:0.0,0.0;d:2019-07-15..2019-07-16. (16 de Julio de 2019). Fire Information for Resource Managament System.

https://modis.gsfc.nasa.gov/about/components.php. (s.f.). https://modis.gsfc.nasa.gov/about/components.php. Brandon Maccherone & Shannell Frazier.

https://www.firesafemarin.org/remote-fire-detection-cameras. (2014). Remote Fire Detection Cameras. *Remote Fire Detection Cameras*. https://www.firesafemarin.org/.

Louis Giglio/Department of Geographical Sciences. (Marzo de 2015). MODIS Collection 6 Active Fire Product User's Guide. *MODIS Collection 6 Active Fire Product User's Guide*. http://modis-fire.umd.edu/files/MODIS_C6_Fire_User_Guide_A.pdf.

Ministerio Medio Ambiente Rep Dom. (Enero de 2017). Obtenido de http://ambiente.gob.do: http://ambiente.gob.do/wp-content/uploads/2016/09/Plan_Operativo_Anual_2017.pdf

## ANEXOS

## PROPUESTA ECONÓMICA

| Microsoft Azure | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Infraesatructura para la detección de incendios forestales en RD | | | | |
| **Service type** | **Custom name** | **Region** | **Description** | **Estimated Cost** |
| SQL Data Warehouse | | East US 2 | Nivel: Optimizado para Compute Gen2, proceso: DWU 100, 3 años de reserva, almacenamiento: 1 TB | $429.49 |
| Data Factory | | East US 2 | Tipo Azure Data Factory V2, tipo de servicio Data Pipeline, Azure Integration Runtime: 100 Ejecuciones de actividades, 100 unidades de movimiento de datos, 100 actividades de canalización, 100 actividades de canalización: externas; Integration Runtime autohospedado: 100 Ejecuciones de actividades, 1.000 unidades de movimiento de datos, 10.000 actividades de canalización, 10.000 actividades de canalización: externas, 1 x 8 núcleos virtuales optimizados para proceso, 1 x 8 núcleos virtuales de uso general, 1 x 8 núcleos virtuales optimizados para memoria, 100 operaciones de lectura/escritura, 100 operaciones de supervisión | $2,301.64 |
| Analysis Services | | East US 2 | Desarrollador (horas), 5 instancia(s), 720 Hours | $475.20 |
| Power BI Embedded | | East US 2 | 1 nodos x 1 Months, tipo de nodo: A1, 1 nodos virtuales, 3 GB de RAM, 1-300 pico de representaciones por hora | $735.91 |
| Storage Accounts | | East US | Redundancia Almacenamiento de blobs en bloque, Uso general V2 y LRS, Acceso frecuente Nivel de acceso, Capacidad: 1.000 GB, 100.000 Operaciones de escritura, 100.000 Operaciones de enumeración y creación de contenedores, 100.000 Operaciones de lectura, 1 Otras operaciones. 1.000 GB Recuperación de datos, 1.000 GB Escritura de datos | $21.84 |
| Azure Databricks | | East US | Carga de trabajo Análisis de datos, nivel Premium, 1 D3V2 (4 vCPU, 14 GB DE RAM) x 730 Hours, Pago por uso, 0.75 DBU x 730 Hours | $515.02 |
| Support | | | Support | $0.00 |
| | | | Licensing Program | Microsoft Online Services Agreement |
| | | | Monthly Total | $4,479.10 |
| | | | Annual Total | $53,749.17 |