

Operative system of satellite imagery processing as support to the emergencies management

Mario Lanfri
Comisión Nacional de
Actividades Espaciales
Email: lamfri@conae.gov.ar

Carlos Marcelo Scavuzzo
Comisión Nacional de
Actividades Espaciales
Email: scavuzzo@conae.gov.ar

María Fernanda García Ferreyra
Comisión Nacional de
Actividades Espaciales
Email: fgarciaferreyra@conae.gov.ar

Ximena Porcasi
Comisión Nacional de
Actividades Espaciales
Email: ximena.porcasi@conae.gov.ar

Andrés Lighezzolo
Comisión Nacional de
Actividades Espaciales
Email: alighezzolo@conae.gov.ar

Nazarena Rojas
Comisión Nacional de
Actividades Espaciales
Email: nrojas@conae.gov.ar

Carlos Albornoz
Comisión Nacional de
Actividades Espaciales
Email: calbornoz@conae.gov.ar

Exequiel Aguirre
Comisión Nacional de
Actividades Espaciales
Email: eaguirre@conae.gov.ar

Sandra Torrusio
Comisión Nacional de
Actividades Espaciales
Email: storrusio@conae.gov.ar

Abstract—Environmental emergencies early warning and response, such as floods, forest fires, volcanic eruptions, etc., are one of the areas where space information can be very useful. For this reason the Argentinean Space Plan includes a chapter, called Space Information Cycle, completely dedicated to emergencies. In this framework, CONAE, the Argentinean Space Agency has a work team specifically aimed at generating value-added satellite products for all national public entities involved in any of these events. The present work describes and shares the operating system implemented by CONAE with the dual purpose of making it known by potential users and institutions of any jurisdiction in Argentina, as well as for the scientific community that may find areas to generate new developments that would contribute to the population.

Index Terms—environmental emergencies, satellite monitoring, rapid mapping

I. INTRODUCCIÓN

En el mundo, los desastres ambientales son un problema de gran importancia debido a las pérdidas, tanto de vidas humanas como económicas, y al daño ambiental que provocan. En Latinoamérica, una de las causas de emergencias importante es la alternancia del fenómeno de El Niño y La Niña ya que generan escenarios que oscilan entre sequías que favorecen los incendios e inundaciones que anegan campos y ciudades. Según un informe de la Oficina de la ONU para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR) y el Centro de Investigación de la Epidemiología de los Desastres (CRED), el 92 % de los desastres naturales están relacionados con el cambio climático [1]. A nivel mundial las estadísticas de esta clase de eventos muestran un incremento sostenido según puede observarse en la Base de Datos Internacional de Desastres (EM-DAT) [2].

Las agencias espaciales del mundo se han unido formando el *International Charter, Space & Major Disasters* [3]. Se trata de una iniciativa, de la cual participa la Agencia Espacial Argentina (CONAE, Comisión Nacional de Actividades Espaciales [4]), que tiene como objetivo el proveer información satelital, a Estados o comunidades, durante períodos de crisis debidas a desastres tecnológicos o naturales [5].

Argentina, debido a su gran extensión, que abarca un rango de 33° en latitud y 20° en longitud, está sometida a una variedad de desastres de origen natural y antropogénico, tales como crecidas extraordinarias e inundaciones, incendios forestales y de pastizales, erupciones volcánicas, aludes, deslaves y aluviones, derrames de petróleo y terremotos, entre otros.

Argentina ha sido denominada “País Espacial” puesto que, por sus características de extensión, y en particular las ambientales, no puede prescindir de la información espacial puesta al servicio del desarrollo del país. En particular, nuestro país posee un Plan Espacial Nacional el cual, como política de estado, se refrenda periódicamente y se extiende con un horizonte a 10 años. En el mismo se definen los Ciclos de Información Espacial entre los cuales se destaca el Ciclo III que comprende la gestión de emergencias naturales y antropogénicas mencionadas anteriormente.

En este marco, el presente trabajo describe el sistema de emergencias ambientales implementado por la CONAE con una doble finalidad: por un lado, la de presentarlo a potenciales usuarios y/o instituciones gubernamentales, y por otro, a la comunidad científica con el fin de proponerle nuevas áreas de desarrollo con impacto directo en la población.

II. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE EMERGENCIAS AMBIENTALES DE CONAE

A. Marco Institucional

El Plan Espacial Nacional señala como prioritario el uso de información espacial para la prevención, evaluación y control de emergencias y desastres de origen natural y antropogénico. Por esta razón, y en el marco de la resolución 341/98, la CONAE apoya a las instituciones con incumbencia en el manejo de estos eventos facilitando la información espacial obtenida por sus estaciones terrenas. La Unidad CAEARTE (Consultoría en Aplicaciones Espaciales de Alerta y Respuesta Temprana a Emergencias) de CONAE es la encargada de la comunicación con estas instituciones, generando mapas de fácil interpretación a partir del procesamiento de datos satelitales.

Por otro lado, el Documento País 2012 [6] presenta detalladamente las amenazas y riesgos de desastres en la República Argentina. La autoridad con incumbencia en la prevención y respuesta a estos eventos es la Secretaría de Protección Civil y Abordaje Integral a las Emergencias, con un política orientada por el Decreto 383/2017 que define y regula el Sistema Nacional para la Gestión Integral del Riesgo y la Protección Civil. CONAE es una de las instituciones participantes en el sistema.

B. Beneficiarios de la resolución 341/98

Podrán acceder a productos de valor agregado a partir de información satelital las entidades gubernamentales con responsabilidad directa en la gestión de emergencias ambientales en el territorio argentino. Para acceder al sistema, las entidades deben registrarse con un proyecto relativo a la emergencia de interés. El formulario de registro se encuentra en <https://registro.caearte.conae.gov.ar/form/form.html>. A modo de ejemplo, algunos usuarios registrados en el sistema se mencionan en la Sección IV.

C. Sistema Operacional

El Sistema Operacional de Monitoreo y Respuesta a Emergencias y Desastres Ambientales que se muestra en la Figura 1 depende de la Unidad CAEARTE. Éste sistema es activado cuando alguna institución gubernamental registrada solicita información satelital de la zona en emergencia bajo su jurisdicción. Una alternativa de activación surge del monitoreo y/o pronóstico de variables meteorológicas/ambientales, así como de la información obtenida de medios periodísticos. Esta tarea es realizada en forma permanente por la guardia 24 x 365 (24 horas durante los 365 días del año) que lleva a cabo la Unidad.

Al inicio de una Activación Nacional, se designa un coordinador, se colecta información relacionada al evento, se organiza la acción utilizando un diario de registro y se crea un espacio de intercambio de información con los usuarios. El coordinador es quien mantendrá la comunicación con las instituciones y usuarios interesados y asignará tareas al equipo. Luego se realiza una búsqueda de información satelital histórica, actual y futura de distintas agencias espaciales del mundo, y se planifica la adquisición de imágenes de sensores

específicos, como SPOT-6 y 7 (CNES) y COSMO-Skymed (ASI), según el evento que se esté desarrollando.

El procesamiento de la información satelital obtenida se realiza siguiendo Protocolos desarrollados en la Unidad. Así se obtienen rásteres y vectores que destacan las áreas afectadas y que son utilizados para la generación de productos de valor agregado de fácil interpretación para los usuarios involucrados en el monitoreo y la toma de decisiones durante la emergencia. Es importante aclarar que generalmente estos productos no cuentan con validación de campo realizada por CONAE, quedando supeditada a los organismos participantes en terreno. Al finalizar el día de trabajo, se distribuyen los productos generados a los usuarios interesados. Al día siguiente vuelve a comenzar el ciclo de la activación: búsqueda de información satelital, procesamiento para cartografía rápida, distribución de productos de valor agregado.

III. PRODUCTOS, ESCENARIOS Y DISTRIBUCIÓN

Los productos de valor agregado que se generan durante las Activaciones son de tipo ráster y vectorial. El formato ráster adoptado es GeoTIFF (TIF) y el mismo es utilizado para determinar la extensión de los cuerpos de agua en el caso de las inundaciones o la zona quemada en el caso de incendios. El formato vectorial puede ser SHAPEFILE (SHP) o KML, que se utilizan para delimitar el área afectada mediante un polígono o puntos, por ejemplo los focos de calor. Tanto los productos TIF como los SHP o KML son aptos para trabajar en un Sistema de Información Geográfica (SIG). Otro producto de interés para los usuarios es la carta imagen en formato PDF diseñada en tamaño de papel A1, con la que se consigue una resolución similar a la de la imagen original, junto al agregado de información vectorial (límites políticos, caminos, ríos, etc.). También se distribuye la carta en formato JPG que muchas veces es usada por los usuarios para la presentación de informes o reportes.

Debe tenerse en cuenta que CAEARTE sólo provee productos de valor agregado a las imágenes y, por lo tanto, no provee los datos originales. Los datos sin procesar de SPOT o COSMO-Skymed son entregados a otras instituciones en el marco de convenios y con las licencias correspondientes.

Los productos generados son puestos a disposición de los usuarios en un sitio FTP *ad hoc*. En el caso de productos de tamaño razonable (unos pocos Mbytes) y siempre que la urgencia lo amerite, también son enviados por correo electrónico. Actualmente se están desarrollando las herramientas tecnológicas que permitan publicar algunos productos en un Geoserver y servirlos mediante los protocolos WMS y WFS, en consonancia con los requerimientos de interoperabilidad determinados por IDERA (Infraestructura de Datos Espaciales de la República Argentina).

IV. ACTIVACIONES NACIONALES

A. Estadísticas

Desde el inicio de las actividades de la Unidad CAEARTE, a finales del año 2013, se han concretado 100 Activaciones Nacionales (actualizado el 15 de agosto del 2017). Los eventos

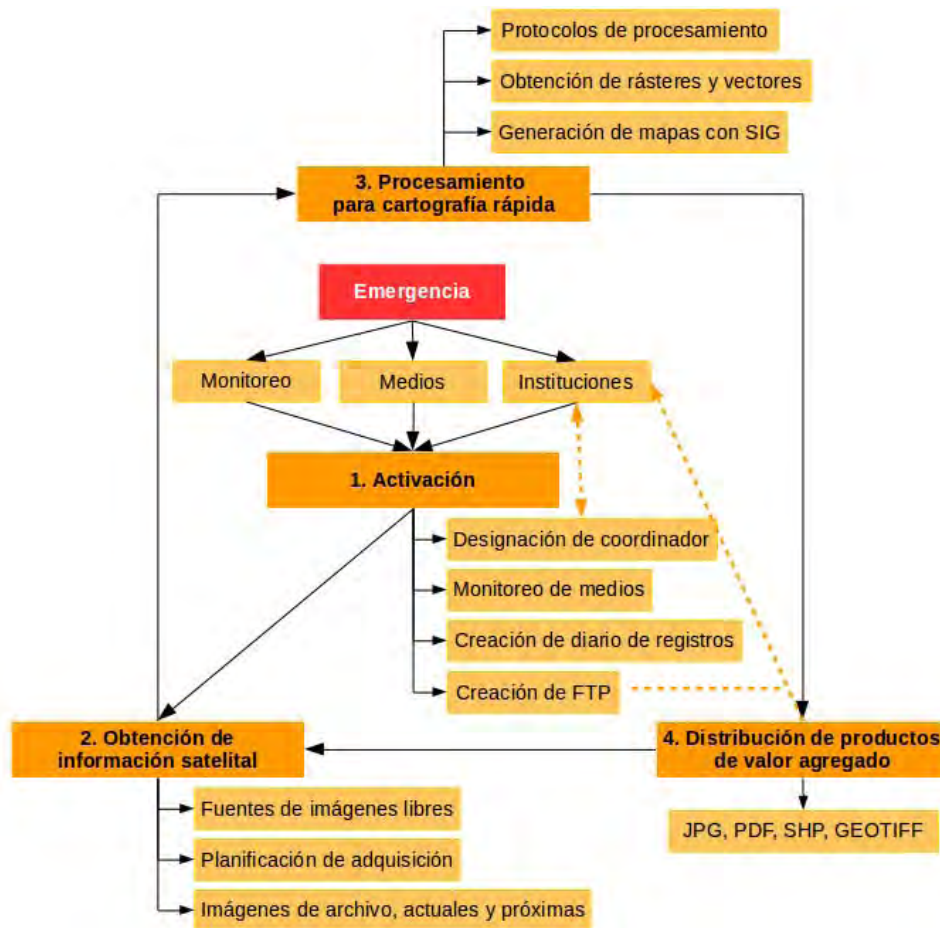


Fig. 1. Funcionamiento del sistema operativo de monitoreo y respuesta a emergencias y desastres ambientales de CONAE.

que se consideraron fueron inundaciones y crecidas de ríos, incendios forestales, erupciones volcánicas, aludes de barro o piedra y barro, derrames de petróleo, terremotos, eventos meteorológicos importantes, como caída de granizo y tornados, y búsqueda y rescate de personas.

La Figura 2 muestra la distribución espacial, ocurrencia en el tiempo y proporciones de tales Activaciones. De estas representaciones se observa una alta frecuencia de inundaciones en el norte, centro y este del país; mientras que los incendios ocurren en el centro del país y en los bosques andino-patagónicos; los aludes en el noroeste del país, y las erupciones volcánicas sobre la Cordillera de Los Andes. Las emergencias abordadas no sólo ocurrieron en territorio nacional, sino que también colaboramos con emergencias ambientales de países vecinos. Es importante mencionar que siete de estos eventos requirieron la activación del *International Charter Space & Major Disasters* y la Unidad colaboró con el *Charter* tanto desde el rol de *Project Manager* como el de *Value-Added Providers*.

El 58,5 % de los eventos abordados por la Unidad, durante todo el período, fueron inundaciones, con mayor ocurrencia entre los meses enero-abril. Los incendios forestales ocupan el segundo lugar en frecuencia, con un 21,3 %; en general,

los incendios del centro del país sucedieron entre los meses julio-octubre (estación seca), mientras que los incendios en la Patagonia y costa este de Argentina se produjeron entre enero-marzo, según el régimen de lluvias de la región.

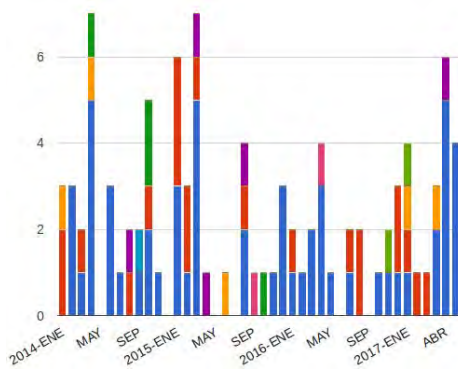
En el siguiente link encontrará información actualizada de las emergencias ambientales en las que trabaja la Unidad: <http://meteo.caearte.conae.gov.ar/wrf/emergencias.html>.

B. Caso I: Inundación

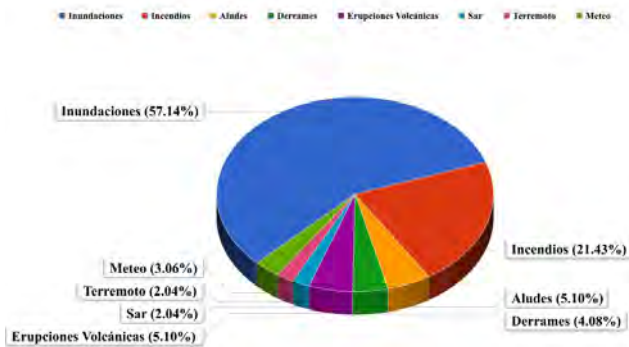
Las inundaciones que ocurrieron en enero del 2017 al este de la Provincia de Córdoba afectaron a las localidades de Morteros, Porteña, Freyre y alrededores. Por solicitud de la Secretaría de Gestión de Riesgo Climático y Catástrofes del Gobierno de la Provincia de Córdoba se dió inicio a la Activación Nacional ACT#080 para monitorear el evento. Otros usuarios que manifestaron su interés en los productos generados para este desastre fueron la Municipalidad de El Fortín, el Departamento de Información Agroeconómica de la Bolsa de Cereales de la Provincia de Córdoba, el Departamento de Cambio Climático del INTA Manfredi, la Secretaría de Recursos Hídricos de la Nación y la Secretaría de Recursos Hídricos de la Provincia de Córdoba.



(a)



(b)



(c)

Fig. 2. Activaciones CAEARTE por emergencias ambientales en Argentina y países vecinos 2014-2017. a) Distribución geográfica, b) ocurrencia temporal de los eventos, y c) proporción de emergencias desde enero del 2014 hasta agosto del 2017.

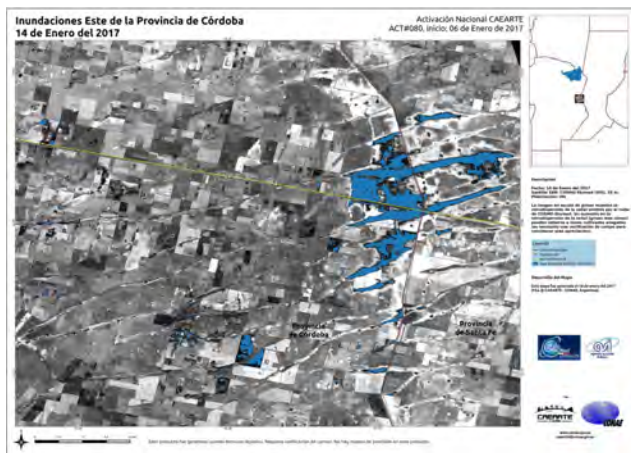
Debido a la magnitud y duración del evento, uno de los usuarios requirió la ampliación del área afectada a los Departamentos San Justo, Unión, Marcos Juárez, Roque Sáenz Peña y Gral Roca, de la misma provincia. Así se realizó la búsqueda de imágenes recientes de la zona, tales como Landsat8 (USGS), Sentinel-1 y 2 (ESA), VIIRS/Suomi-NPP (NASA), entre otros, a los que se sumaron los pedidos de programación puntuales de los satélites COSMO-SkyMed (modos *Huge Region* y *HImage*) y SPOT-6 y 7.

Productos a partir del sensor OLI/Landsat8. En general, los mismos se generaron en falso color compuesto realizando una composición de canales rojo-verde-azul (RGB, del inglés) con las bandas 5 [0,851 – 0,879] μm , 6 [1,566 – 1,651] μm y 4 [0,636 – 0,673] μm y se compararon para diferentes fechas. También se obtuvieron vectores de agua detectados a partir de la definición de umbrales de valores de ND (*digital number* de la banda NIR (del inglés *near-infrared* ó infrarrojo cercano) o banda 5.

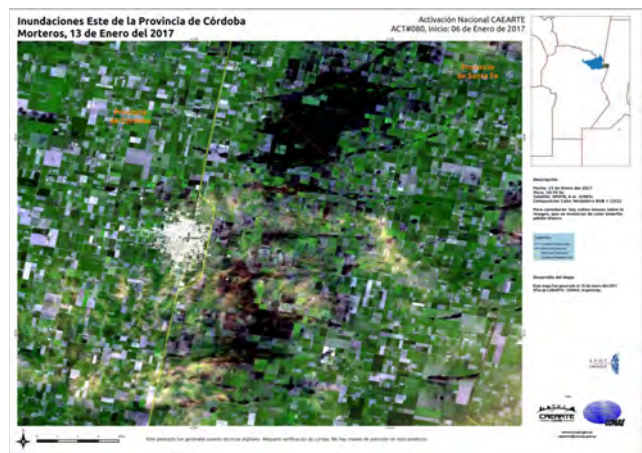
Productos a partir del sensor HRG/SPOT-6 y 7. El procedimiento se basa en el método de Fisher y Danaher (2013) [7]. Las imágenes se calibran a reflectancia y se visualizan en composición RGB con las bandas 3 [0,625 - 0,695] μm , 4 [0,760 - 0,890] μm y 1 [0,450 - 0,520] μm . Luego se calcula el índice de agua de diferencia normalizada modificado [8], MNDWI (del inglés *Modified Normalized Difference Water Index* en SPOT: $MNDWI = (b1 - b4)/(b1 + b4)$). Por último, se procede a definir un umbral de MNDWI en áreas de interés visiblemente inundadas, a través de la estadística descriptiva de los píxeles de las regiones delimitadas. Se genera una nueva región de interés con todos los píxeles que cumplan con los valores establecidos, y se exporta el resultado a formato SHP. Los archivos de salida son: un archivo TIF de la imagen con composición RGB 3-4-1, un archivo TIF de la máscara de agua y un vector SHP de la máscara de agua.

Productos a partir del radar de apertura sintética COSMO-SkyMed. Estas imágenes se procesan con el *software* ENVI v4.8, se abren en su formato HDF5 y se aplica un filtro de convolución (mediana) a modo de corrección rápida de *speckle*. Posteriormente se determina un valor umbral a través de regiones de interés, tal como se describió para SPOT, y se delimita una máscara de píxeles que cumplen con esa condición. Dependiendo del tipo de adquisición, se procede a remuestrear las imágenes, para obtener productos, accesibles y de fácil manipulación, adecuados para los usuarios finales.

Productos a partir del radar de apertura sintética Sentinel-1. El producto descargado desde la ESA para las imágenes Sentinel-1 contiene información de amplitud y fase. Además están incluidas las polarizaciones VV, HH y VH (con una resolución espacial de 10 m). Las mismas se procesan con el *software* Sentinel Toolbox SNAP de ESA [9]. Para estas aplicaciones se utilizan sólo la información de amplitud. Las imágenes se calibran y se georreferencian con el método *Range doppler terrain correction*. La corrección de *speckle* se realiza con un filtro de Lee. Los umbrales de guía también se seleccionan observando la distribución bimodal de los histogramas de los valores de los píxeles. En general, se trabaja



(a)



(b)

Fig. 3. Productos de valor agregado de la Activación Nacional # 080. a) Mapa con información de COSMO-Skymed (ASI), b) Mapa con información de SPOT-6 (CNES).

con la polarización HV, y la selección del umbral se hace de manera empírica. Luego se genera una imagen binaria con la información "agua/no agua" que se exporta en formato IMG.

Tanto para COSMO-Skymed, como para Sentinel-1, se genera una imagen y un archivo vectorial SHP con los cuerpos de agua. En la Unidad se está documentando el valor umbral seleccionado para cada producto y tipo de imagen, para obtener un valor de referencia fijo basado en un número mínimo de datos empíricos.

En total, para esta Activación, se generaron 15 archivos vectoriales y 26 productos de cartografía rápida en formato PDF con datos de 6 sensores diferentes, adquiridos entre 19 de diciembre de 2016 (imágenes de archivo) y 21 de enero de 2017. Ejemplos de los productos entregados se muestran en la Figura 3.

C. Caso II: Incendios

A finales de diciembre del 2016 y durante las primeras semanas de enero del 2017, más de 1 millón de hectáreas fueron consumidas por incendios forestales en un área que comprende a las provincias de La Pampa, Río Negro y Buenos Aires, al noreste de la Patagonia. Una de las posibles causas de estos incendios puede haber sido la ocurrencia de una tormenta "seca" de gran intensidad eléctrica, que generó muchos focos de incendios que luego fueron propagándose por los fuertes vientos característicos de la zona. El evento causó la muerte de una gran proporción de la fauna autóctona y ganado, y la pérdida de pasturas, arbustal y pastizal típicos de la región. A su vez, las columnas de humo perjudicaron gravemente la calidad del aire y la visibilidad en rutas y poblaciones cercanas y fueron transportadas por la acción del viento a cientos de kilómetros, hacia el este y noreste.

El día 23 de diciembre del 2016 la Unidad CAEARTE dió inicio a la Activación Nacional #078 luego de obtener información de los medios periodísticos sobre la relevancia del evento. Se planificó la adquisición de

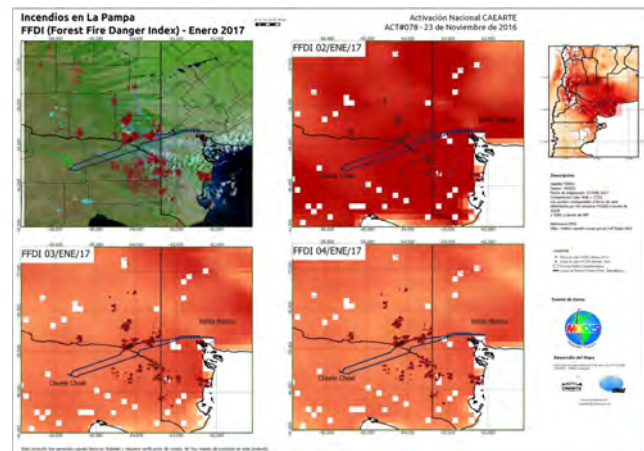


Fig. 4. Producto de valor agregado para la Activación Nacional #078. Arriba a la izquierda: imagen de MODIS/Terra (NASA) y focos de calor detectados por los sensores de MODIS y VIIRS/Suomi-NPP (NASA), 2 de enero del 2017. Arriba a la derecha y abajo: índice de peligrosidad meteorológico FFDI estimado para el 2, 3 y 4 de enero del 2017, con focos de calor superpuestos.

una imagen SPOT sobre la zona afectada; se obtuvo el pronóstico experimental diario del índice de peligrosidad meteorológico FFDI (*Forest Fire Danger Index*, <http://meteo.caearte.conae.gov.ar/wrf/fuego.html>), y se realizó el monitoreo de los incendios con los productos de focos de calor de MODIS/Aqua y Terra (NASA) y de VIIRS, Figura 4.

Productos a partir del sensor MODIS. Estas imágenes fueron las más consultadas durante el evento. A partir de ellas se obtuvieron 17 productos de monitoreo de los incendios, con resolución de 500 m, combinando la información de la localización de los focos de calor con la visualización RGB de las bandas 7 [2,105 - 2,155] μm , 2 [0,841 - 0,876] μm y 1 [0,620 - 0,670] μm del nivel L1B.

Productos a partir del sensor VIIRS. De igual modo que el anterior, se generaron 2 productos con información de este

sensor con una resolución espacial de 750 m. Esta vez se utilizaron las bandas M11 [2,25] μm , M7 [0,865] μm y M4 [0,555] μm en los canales RGB, para destacar los incendios.

Productos a partir del sensor OLI/Landsat8. Estos productos se realizaron utilizando 4 imágenes con tamaño de píxel de 30 m. La composición de colores RGB se obtuvo en unos casos con las bandas 4, 3 [0,533 – 0,590] μm , y 2 [0,452 – 0,512] μm (símil color verdadero) y en otros casos con las bandas 7 [2,107 – 2,294] μm , 6 y 5, ó bandas 7-5-3 y 7-5-4. Estas últimas combinaciones destacan a los incendios activos y la vegetación quemada ya que utilizan en el canal rojo a la banda 7 (SWIR 2, del inglés *short-wavelength infrared* ó infrarrojo medio) y en el canal verde a las bandas 6 y 5 (SWIR 1 y NIR).

Productos a partir del sensor HRG/SPOT. La imagen adquirida de SPOT-7, de 6 m de resolución, fue utilizada para generar un producto de valor agregado mostrando una composición de color similar al verdadero, con las bandas 3, 2 [0,530 - 0,590] μm y 1.

Mientras la situación de los incendios se agravaba, el día 5 de enero del 2017 se activó el *International Charter, Space & Major Disasters (Activation ID 518)*, por solicitud de la Secretaría Nacional de Protección Civil de Argentina. Así, se generaron productos de valor agregado que exhibían una combinación RGB similar al color verdadero, utilizando información satelital de Resurs-P (Roscosmos), GF-1 (CNSA), ISS (USGS), VRSS-1 (ABAE) y WorldView-3 (Digital Globe). Es posible visualizar estos productos ingresando al enlace <https://www.disasterscharter.org>.

Los usuarios registrados de la Activación fueron grupos de Defensa y de Seguridad de las Provincias de Buenos Aires, La Pampa y Río Negro; el Servicio Nacional de Manejo del Fuego; la Coordinación Provincial de Emergencias y Desastres Sanitarios de Río Negro; CAMMESA (Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico Sociedad Anónima); la Secretaría de Protección Civil y Abordaje Integral de Emergencias y Catástrofes; ARBA (Agencia de Recaudación de la Prov. de Buenos Aires), y la Dirección Provincial de Gestión de Riesgos y Emergencias de la Provincia de Buenos Aires, entre otros.

V. CONCLUSIONES

El Sistema Operacional de Procesamiento de Imágenes Satelitales de CONAE brinda sus servicios a la sociedad durante la ocurrencia de alguna emergencia o desastre ambiental. En este Sistema, el equipo de expertos en la recepción, procesamiento e interpretación de los datos espaciales de la CONAE, optimiza sus tareas y procedimientos, iteración tras iteración. Esto es fundamental para lograr que las instituciones gubernamentales reciban en tiempo y forma material clave para la toma de decisiones durante la emergencia. Un desafío actual es dotar de valor agregado a la cantidad masiva de información espacial, generando productos de fácil comprensión e interoperabilidad con otras fuentes de datos.

REFERENCIAS

- [1] UNISDR, "The human cost of the hottest year on record," <http://www.unisdr.org/archive/47791>, 2016, [Online; acceso 12 de junio 2017].
- [2] EM-DAT, "The International Disasters Database," <http://www.emdat.be/>, [Online; acceso 12 de junio 2017].
- [3] "International Charter, Space & Major Disasters," <https://www.disasterscharter.org/>, [Online; acceso 12 de junio 2017].
- [4] CONAE, "Comisión Nacional de Actividades Espaciales," <http://www.conae.gov.ar/>, [Online; acceso 12 de junio 2017].
- [5] D. C. Roy and T. Blaschke, "International Charter and UNOSAT in Managing Disasters and Emergency Responses - An Initial Evaluation." 2010.
- [6] J. L. Barbier, E. Respighi, L. Etchichury, O. Moscardini, C. Zaballa, S. González, N. Torchia, U. Pallares, C. Clarembeaux, J. I. Manchiola, S. Fernández, C. Ferrari, A. Bonadé, D. Tomasini, G. Bottino, A. García, A. Martorell, P. Bruno, and S. Remes, "Documento País 2012. Riesgo de Desastres en la Argentina." PNUD, Cruz Roja Argentina y Dirección Nacional de Protección Civil del Ministerio del Interior y Transporte. 2012.
- [7] A. Fisher and T. Danaher, "A water index for spot5 hrg satellite imagery, new south wales, australia, determined by linear discriminant analysis." *Journal of Remote Sensing*, vol. 5, no. 11, pp. 5907–5925, 2013.
- [8] H.-Q. Xu, "A study on information extraction of water body with the modified normalized difference water index (mndwi)." *Journal of Remote Sensing*, vol. 5, pp. 589–595, 2005.
- [9] M. Zuhlke, N. Fomferra, C. Brockmann, M. Peters, L. Veci, J. Malik, and P. Regner, "Snap (sentinel application platform) and the esa sentinel 3 toolbox." *Sentinel-3 for Science Workshop.*, vol. 734, 2015.