

Operational Meteo Fire Danger System Based On Space Information For Chaco Serrano

Argañaraz Juan P., Lighezzolo Andrés, Clemoveki Kevin, Bridera Daniel, Scavuzzo Juan M. and Bellis Laura M.

Abstract—In this paper we present the operational implementation of a fire danger mapping system based on Numerical Weather Prediction and space derived Moisture Content of Live Fuels (LFMC) for the Chaco Serrano sub-region. The system is operative since the end of 2016 and estimates the fire danger index automatically (without any man operator), based on the 72 hours forecast of the Weather Research and Forecast (WRF) model for the meteorological component. In addition, the model implemented here incorporates, in its last version, an automatic estimation of LFMC based on MODIS spectral indexes and a land cover classification. Thus, this operational outcome is part of the suite of products that the Argentinean Space Agency CONAE, in Cooperation with academic institutions, develops in the way to apply geospatial information and satellite based products to help on environmental emergencies/disasters, during pre-disaster planning, response and assistance and reconstruction phases.

Keywords—Wildfire, remote sensing, Chaco Serrano, Argentine, risk mapping.

I. INTRODUCCIÓN

¹La eco-región del Gran Chaco representa el mayor bosque semiárido de Latino América [1], [2]. En esta región, los incendios de vegetación son uno de los principales disturbios [3]. Si bien los incendios ocurren de manera natural en el Chaco, en la actualidad la mayoría de los incendios son de origen antrópico, lo que ha alterado el régimen natural del fuego. En particular, el área denominada Chaco Serrano es muy afectada por los incendios, con alrededor de 300 000 ha

quemadas entre 1999 y 2013 (36 % del área) [4], observándose una alta frecuencia de incendios y numerosos eventos de grandes dimensiones [4]. Estos incendios contribuyen a la pérdida y degradación de los bosques nativos, reduciendo la biodiversidad y afectando la protección del suelo y la retención de agua [5], [6]. Al mismo tiempo, en esta zona viven más de 850 000 personas, y casi la mitad de las viviendas se localizan en áreas de interfaz entre áreas naturales y urbanas (interfaz urbano-rural) [7], aumentando así la probabilidad de daños o pérdidas de infraestructura y también poniendo en peligro las vidas humanas. Así, el régimen actual de incendios en la región del Chaco Serrano tiene muchos efectos negativos, incluyendo la reducción o pérdida del bosque nativo, erosión del suelo, contaminación del aire y de las fuentes de agua dulce, destrucción de viviendas y muertes de ganado.

En este contexto, se visualiza como importante la existencia de sistemas de alerta temprana para incendios de vegetación que permitan no sólo el manejo y conservación de los recursos naturales, sino también garantizar la seguridad humana. Este desafío de las autoridades gubernamentales con responsabilidad en la materia, coincide con el fuerte desarrollo y el incremento en accesibilidad de las tecnologías geoespaciales, en un contexto interdisciplinar e interinstitucional, ofreciendo así la oportunidad de relacionar el Sensado Remoto y las necesidades de información para la prevención de incendios de vegetación.

Una experiencia previa desarrollada en Argentina [8] estuvo basada en la idea, aceptada, de que el peligro de incendio posee principalmente determinantes meteorológicos. En este sentido en [8] se describe el diseño y la implementación de un índice meteorológico de peligro de incendios basado en el modelo Australiano, que opera a nivel nacional con 15 km de resolución espacial y actualización diaria.

En paralelo, en [9] se propone y presenta un modelo de evaluación de peligro de incendios de alta resolución (500 m) basado en la estimación del contenido de humedad de los combustibles vivos (LFMC), derivado de índices de espectrales calculados a partir de productos MODIS para nuestra región del Chaco Serrano. En este marco, la Universidad Nacional de Córdoba, el CONICET y la agencia espacial argentina han acordado trabajar en un proyecto de cooperación para implementar un sistema operacional mejorado que incluya ambos resultados [10].

¹ J. P. Argañaraz, Instituto de Diversidad y Ecología Animal, CONICET-UNCba, Córdoba, Argentina, argajuan@gmail.com

A. Lighezzolo, Comisión Nacional de Actividades Espaciales, Falda del Cañete, Córdoba, Argentina, alighezzolo@conae.gov.ar

K. Clemoveki, Facultad de Matemática, Astronomía y Física, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina, clemoveki.k@gmail.com

D. Bridera, Facultad de Matemática, Astronomía y Física, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina, danielbridera@gmail.com

J. Scavuzzo, Facultad de Matemática, Astronomía y Física, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina, juanscal229@gmail.com

L. Bellis, Instituto de Diversidad y Ecología Animal, CONICET-UNCba, Córdoba, Argentina, lbellis7@gmail.com

Corresponding author: Juan M. Scavuzzo

Los requerimientos del sistema completo se definen como: a) El sistema debe ejecutarse automáticamente, incluyendo la descarga de insumos y la publicación de la cartografía de peligro final. b) El sistema debe implementar los modelos de peligro [8] y [9] y generar un índice de peligro integrado. c) El resultado debe ser presentado en una página web y ser posible de descargar como productos geotiff, png, txt, csv. d) El usuario debe poder elegir la fecha del producto para ver o descargar y, por lo tanto, estos deben ser almacenados. f) Todo el desarrollo debe ser construido sobre software de código abierto. g) El producto debe ser gratuito tanto para visualizar como para descargar. h) El sistema debe ser fácil de replicar, gratuitamente, para otras instituciones y regiones de Argentina o América Latina.

En este contexto es que presentamos, en este artículo, detalles de este sistema operacional y de libre acceso sobre la estratificación de peligro de incendios, con el objetivo principal de que este material pueda ser de utilidad para implementaciones similares en otras regiones de América Latina, siguiendo el objetivo de cooperación regional en Geociencias y Sensado Remoto, apoyado fuertemente por la IEEE-GRSS en estos últimos años [11].

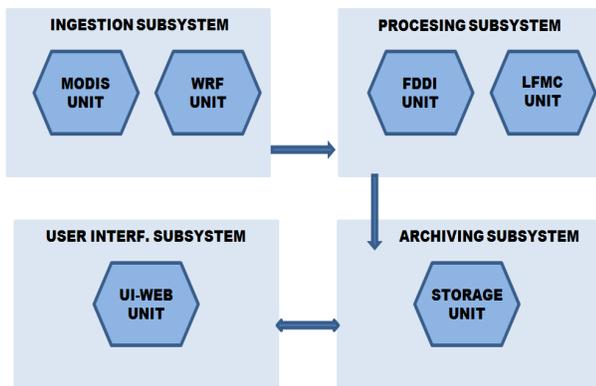


Figura 1. Arquitectura del sistema integrado de riesgo de incendios.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

La arquitectura del sistema completo se presenta en la Figura 1. Ésta cuenta con, básicamente, 4 módulos que incluyen un subsistema de ingestión, uno de procesamiento, el subsistema de almacenamiento de los productos generados y, finalmente, un módulo con la interfaz de usuario.

A. Área de estudio

El sistema es implementado para la región de las Sierras Chicas (810 000 ha), localizada en la provincia de Córdoba, que corresponde a la porción sur de la región del Gran Chaco en Argentina (ver Fig. 2). Estas sierras se extienden de norte a sur a lo largo de unos 245 km, con un rango altitudinal entre 500 y 1947 m.s.n.m. El clima es semiárido templado con un régimen de lluvias monzónicas, con una precipitación media

anual de 850 mm y una temperatura media anual de 17,3 °C (Servicio Meteorológico Nacional de Argentina, datos del período 1999-2014). Las lluvias se concentran entre octubre y marzo (primavera y verano). El invierno es seco y suave, con temperaturas relativamente altas en agosto y septiembre, época en la que ocurren los incendios de mayores dimensiones [4].

B. El modelo meteorológico de peligro de incendios

El modelo meteorológico de peligro de incendios se basa en el índice australiano FFDI (Forest Fire Danger Index), introducido por McArthur en 1958 [12]. En estos momentos ya la cuarta versión del mismo está siendo utilizada [13] y en ésta el peligro de incendios es clasificado en cinco categorías: bajo, moderado, alto, muy alto y extremo. La estructura de la unidad de procesamiento definida para el cálculo de este FFDI es mostrada en la Figura 3.

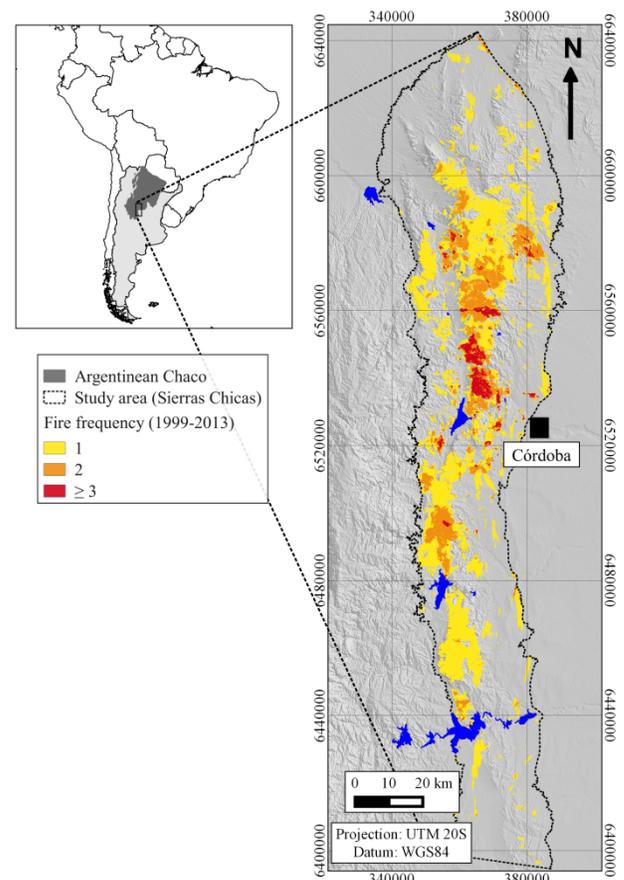


Figura 2. Área de estudio y frecuencia de incendios (1999-2013). Región de Sierras Chicas, provincia de Córdoba, Argentina.

Este modelo incorpora como entradas: temperatura (°C), humedad relativa (%), velocidad del viento (km/h) y el factor de sequía (DF). Este último se calcula sobre la base de la lluvia acumulada en las últimas 24 horas, el tiempo desde el último evento de precipitación [14] y el “Keetch-Byram Drought Index” (KBDI) [15]. El KBDI se calcula considerando la temperatura máxima, la lluvia diaria, la

precipitación anual media y el KBDI del día anterior. Todas estas variables meteorológicas son obtenidas del modelo WRF (*Weather Research and Forecasting*); ya operacional para un área que cubre Argentina, Chile, Uruguay y Paraguay desde 2014. Estas capas meteorológicas son calculadas una vez al día (a las 00:00 UTC) y proveen un pronóstico a 72 horas, con una resolución espacial de 15 km [10].

La precipitación media anual se obtiene del WorldClim (<http://www.worldclim.org/>). El KBDI se calcula una vez al día, utilizando la lluvia de 24 hs acumulada a las 9 am (hora local), mientras que el FFDI se obtiene automáticamente cada vez que se cuenta con una nueva salida del WRF. Siguiendo el requerimiento de generar un producto operacional y de libre acceso basado en software libre, toda la implementación de esta unidad ha sido hecha en GRASS GIS, [16].

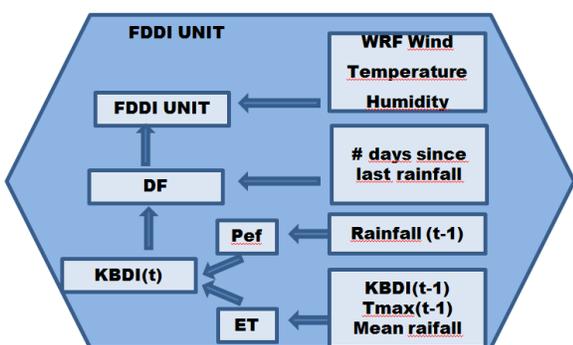


Figura 3. Unidad de cálculo del índice Meteorológico (FFDI). Pef: Lluvia efectiva, ET: evapotranspiración, KBDI: Índice de sequía de Keetch-Byram, Tmax: Temperatura Máxima.

Este software se eligió debido a que puede ejecutarse totalmente automatizado y embebido en cadenas de procesos como un “GIS backend” para los servicios Web [10]. Adicionalmente, éste se integra muy bien con lenguajes de programación como “R” o python (que permiten implementar una amplia variedad de herramientas y algoritmos) y se ejecuta bajo sistemas operativos (Linux, Windows). El producto final es accesible y descargable en formato GeoTIFF en varias plataformas, incluyendo un servidor de mapas construido también bajo tecnología de código abierto (geoserver y geoexplorer) en <http://meteo.caearte.conae.gov.ar/wrf/fuego.html> y <http://www.isagro.org/>.

C. El modelo de peligro de incendios LFMC

Como se describe con mayor detalle en [9], cuatro modelos lineales que relacionan la humedad del combustible vivo medida a campo y variables derivadas de imágenes de satélites, se construyeron con fines operacionales. Las variables tomadas remotamente incluyeron varios índices espectrales, derivados de la reflectancia superficial de la tierra, incluidos en el producto MODIS MYD09A1 (500 m de píxel y 8 días de frecuencia temporal), disponible en: <http://daac.ornl.gov/MODIS/modis.shtml>. A partir de cada

producto, se calculan cuatro índices espectrales: NDVI, EVI, GVMi e Integral. Básicamente los dos primeros son estimadores del contenido de clorofila de la vegetación y los dos últimos son estimadores del contenido de agua de la vegetación [17], [18], [19]. Las series de tiempo de cada índice se generaron para los píxeles asociados con cada uno de los puntos de muestreo. Luego, las series se suavizaron a través de la aplicación del filtro de Savitsky-Golay (SG) utilizando una ventana de ± 3 MYD09A1 fechas (24 días), con el fin de reducir el ruido típico de estas series de tiempo [20].

Para generar los modelos en [9], las muestras de combustible se recolectaron a campo durante las temporadas de incendios de 2012 y 2013 (junio-diciembre) en cuatro tipos diferentes de coberturas (pastizales, matorrales, bosques de Chaco Serrano y bosque de Siempreverde. Las muestras se secaron en horno hasta llegar a peso constante y el LFMC se calculó como: $100 * (Wf - Wd / Wd)$; Donde Wf y Wd son peso fresco y seco, respectivamente. La relación entre el LFMC estimado a campo y las variables independientes se estableció utilizando modelos lineales mixtos.

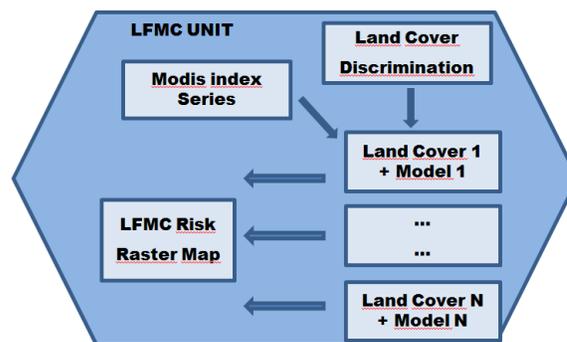


Figura 4. Estructura esquemática de la unidad de procesamiento para el cálculo del índice LFMC.

Los modelos de LFMC estimados para pastizales, Bosques del Chaco Serrano y de Siempreverde explicaron más del 80 % de la variabilidad total, pero el modelo de matorrales mostró una menor precisión (57 %). Los modelos finalmente implementados operativamente entonces son:

$$\text{LFMC-pastizal} = 540.09 * \text{EVI} - 31.16$$

$$\text{LFMC-Chaco Serrano} = 1.88 * \text{Integral} + 246.39 * \text{NDVI} - 63.06$$

$$\text{LFMC-matorral} = 334.53 * \text{EVI} - 305.98 * \text{GVMi} - 7.05 \text{ Integral} + 199.72$$

$$\text{LFMC-siempreverde} = 456.99 * \text{EVI} + 165.29 * \text{GVMi} - 20.23$$

En este caso, que estamos implementando el LFMC en tiempo real, no es posible aplicar una ventana de ±3 fechas

(pues las fechas siguientes todavía no existen). Por esta razón, aquí implementamos, para reducir el ruido, un filtro sólo hacia atrás considerando 6 fechas (48 días).

Esta unidad está desarrollada en Python 2.7 requiriendo de las librerías Gdal y Pymodis. Para el procesamiento de las imágenes, nuevamente Grass GIS 7 es utilizado. Para el servidor, se utilizó Apache Web Server versión 2 para Ubuntu 16.04. Apache es un HTTP server libre que provee seguridad, eficiencia y una fácil extensión para servicios HTTP. El sistema completo está concebido para ser ejecutado bajo un entorno Linux y éste requiere como mínimo una computadora con 500 GB de disco y al menos 4 GB de memoria RAM. El *frontend* de la aplicación esta implementada con *Bootstrap*, que es un entorno de desarrollo en HTML, CSS y JS el cual provee funcionalidades de alto nivel que permiten la visualización WEB en diferentes resoluciones y soporta la visualización en dispositivos móviles.

D. Integración de los modelos

Para la integración de los modelos FFDI y LFMC asignamos valores del 1 al 5 a las clases del FFDI y valores del 2 al 5 a los niveles de peligro del LFMC. Con estos valores construimos una tabla de doble entrada multiplicando estos índices numéricos. Así obtenemos valores del 2 al 25 los cuales son divididos en 5 clases para una asignación del índice integrado (Tabla 1).

TABLA I
CLASES DE PELIGRO DE INCENDIO INTEGRADO ENTRE FFDI Y LFMC

		Numeric value	FFDI				
			low	Moderate	High	Very high	Extreme
LFMC	low	2	2	4	6	8	10
	Moderate	3	3	6	9	12	15
	High	4	4	8	12	16	20
	Extreme	5	5	10	15	20	25
			Low (0-4)	Moderate (5-9)	High (10-14)	Very high (15-19)	Extreme (20-25)

III. RESULTADOS

El FFDI de dos días específicos donde ocurrieron importantes incendios se presentan en la figura 5. Uno de ellos fue en Argentina-Chubut (02/19/2015, <http://m.cba24n.com.ar/content/chubut-los-incendios-consumen-mas-de-4-mil-hectareas>); y el otro en Chile en la región de La Auracania (03/16/2015, <http://www.emol.com/noticias/nacional/2015/03/17/708293/incendio-destruye-700-hectareas-de-araucarias-en-reserva-nacional-en-la-araucania.html>). Sobre esta figura podemos observar el amplio dominio simulado en esta implementación, el cual está directamente relacionado con la baja resolución espacial de este producto.

En la figura 6 se presenta la interfaz WEB del índice de peligro derivado del LFMC. Esta interfaz muestra los siguientes *widjets*: a) Productos: acceso a los productos

humedad de combustible y FFDI, mostrando para cada caso las fechas disponibles. b) *Player*: muestra el mapa de peligro LFMC permitiendo una interfaz interactiva que incluye una animación con las fechas disponibles. c) Descarga: donde están incluidos los links a la documentación y los productos en sus diferentes formatos. Finalmente, la salida del producto integrado FFDI-LFMC es mostrado en la figura 7.

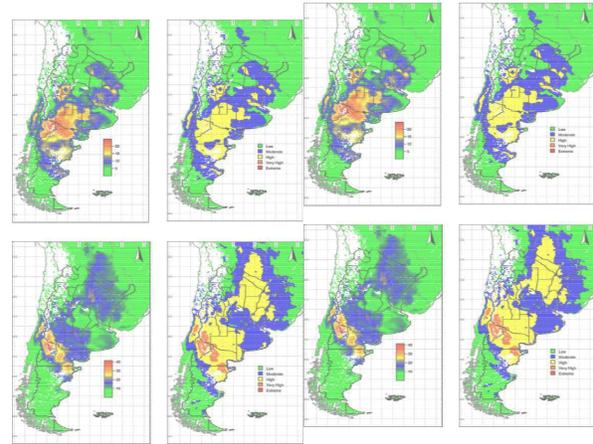


Figura 5. FFDI reclasificado para incendios ocurridos en Chubut (Argentina, 02/19/2015) y la Araucanía (Chile, 03/16/2015).

Ambos índices han sido validados separadamente en [8] y [9], produciendo resultados satisfactorios respecto a la presencia de incendios reales. Nuestros primeros resultados respecto al índice integrado, en análisis exploratorios muestran un desempeño aceptable de éste como un predictor de incendios de vegetación, considerando que éste deriva de variables meteorológicas y humedad de combustibles. Este sistema operacional, que comenzó a funcionar en 2014, se encuentra aún en una fase experimental y esperamos que en corto tiempo pueda incluir otros elementos geospaciales que puedan dar soporte a los encargados de combatir los incendios en las etapas pre incendio, durante la crisis y en la evaluación y recuperación de daños.

Modelo de Humedad de Combustibles

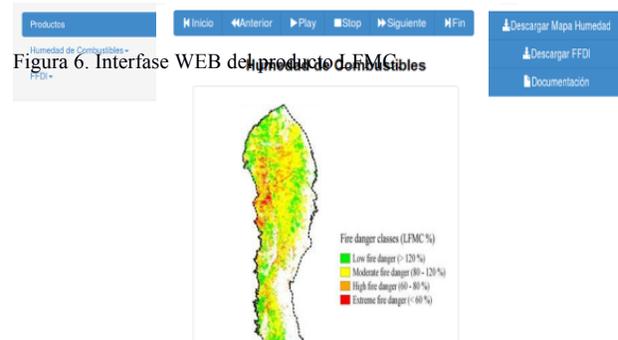


Figura 6. Mapa de peligro de incendios derivado de humedad de los combustibles vivos.

Tanto el FFDI como el LFMC tienen sus ventajas y limitaciones, pero su integración permite superar algunas de sus debilidades. Por ejemplo, el FFDI puede indicar peligro de incendio alto a extremo para días muy calurosos del verano (la temperatura máxima para enero y febrero entre 1999-2014 fue de 40.8 °C) después de unos días sin precipitaciones. Sin embargo, después de las primeras lluvias de la estación húmeda (generalmente en octubre / noviembre), la inflamabilidad del combustible disminuye considerablemente debido a la presencia de una alta proporción de tejidos primarios con alto contenido de agua (follaje), típico de un nuevo período vegetativo [21]. En este caso, el índice integrado indicará un menor peligro de incendios que el FFDI solo. Por otro lado, mientras que LFMC cambia relativamente lento y no da cuenta de diferencias que pueden ocurrir de un día a otro, el FFDI incorpora variables meteorológicas altamente dinámicas, que podrían reflejar los cambios diarios en el peligro de incendios. De esta manera, el índice integrado FFDI-LFMC será diferente para dos fechas cercanas (es decir, valores LFMC similares o aún iguales), pero con diferencias en las condiciones meteorológicas (nublado vs soleado, ventoso vs días sin viento, etc.). Por otro lado, el FFDI tiene una gran limitación relacionada con su pobre resolución espacial (unos 15 km) en contraste con el alto detalle espacial presente en el LFMC (unos 500 m). Es importante señalar que esta versión integrada no se encuentra disponible al acceso de público en general todavía.

Modelo de Humedad de Combustibles

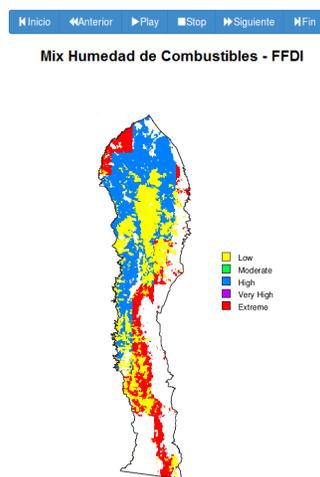


Figura 7. Producto de peligro de incendios integrado FFDI-LFMC para el 03/03/2017.

IV. CONCLUSIÓN

Como un nuevo escalón en el reto de la geociencias y el sensado remoto de atravesar las paredes del ámbito académico para generar productos que produzcan beneficios sociales directos [22], [23], [8], y con perspectiva operacional [24], en esta breve contribución presentamos un sistema de peligro de

incendios de vegetación de alta resolución operativo, basado en información espacial. En este documento tratamos de ofrecer detalles técnicos de este sistema con el objetivo de que este material pueda ser útil para implementaciones similares en otras instituciones gubernamentales de nuestra región (América Latina) promoviendo la cooperación regional en el área de la teledetección.

Los resultados preliminares indican una buena potencialidad de nuestro producto integrado de peligro de incendios para identificar áreas con mayores probabilidades de quemarse.

Este producto gratuito, operativo y automático (funciona sin un operador) será útil para enfocar las actividades de prevención de incendios en áreas de mayor riesgo y ayudará a prevenir fatalidades y daños estructurales en la interfaz urbano-rural de las Sierras Chicas de Córdoba, Argentina. Tenemos claro que es necesaria una validación rigurosa de este producto, incluyendo varios años de datos, y estamos empezando a trabajar en este sentido.

Creemos importante señalar que todo el desarrollo ha intentado llevarse adelante respetando las normas de desarrollo de software para proyectos espaciales de la Unión Europea [25]. De la misma forma consideramos relevante recalcar el carácter fuertemente interdisciplinario de este trabajo, típico de situaciones donde queremos resolver un problema real. Aquí interactúan la física de la atmósfera (pronósticos meteorológicos), las ciencias de la computación (ingeniería de software y programación), las geociencias (procesamiento de imágenes satelitales) y por supuesto la ecología de incendios.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la posibilidad de utilizar el producto MYD09A1, obtenido desde <http://daac.ornl.gov/MODIS/modis.shtml>, cortesía de NASA Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC), USGS/Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, Sioux Falls, South Dakota. Este trabajo fue financiado por subsidios otorgados a L. Bellis de la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de Córdoba y FONCyT (PICT 1147-2012). JPA realizó este trabajo con una beca postdoctoral del CONICET. LMB es investigadora del CONICET.

REFERENCES

- [1] Miles L. et al., "A global overview of the conservation status of tropical dry forests," *J. Biogeography*, vol. 33, no. 3, pp. 491–505, Mar. 2006, doi: 10.1111/j.1365-2699.2005.01424.x.
- [2] Naumann, M. *Atlas del Gran Chaco Sudamericano*. Sociedad Alemana de Cooperación Técnica (GTZ), Buenos Aires, Argentina: ErreGe & Asoc., 2006.
- [3] Adamoli, J.; Sennhauser, E.; Acero, J.M.; and Rescia, A. "Stress and disturbance: Vegetation dynamics in the Dry Chaco Region of Argentina," *J. Biogeography*, vol. 17, nos. 4/5, pp. 491–500, Jul. 1990, doi: 10.2307/2845381.
- [4] Argañaraz, J.P.; Gavier Pizarro, G.I.; Zak, M.; and Bellis, L.M. "Fire regime, climate, and vegetation in the Sierras de Córdoba, Argentina," *Fire Ecol.*, vol. 11, no. 1, pp. 55–73, Apr. 2015, doi: 10.4996/fireecology.1101055.

- [5] Cingolani, A.M.; Vaieretti, M.V.; Giorgis, M.A.; La Torre, N.; Whitworth-Hulse, J.I.; and Renison, D. "Can livestock and fires convert the sub-tropical mountain rangelands of central Argentina into a rocky desert?" *Rangeland J.*, vol. 35, no. 3, pp. 285–297, 2013, doi: 10.1071/RJ12095.
- [6] Bonansea, M. and Fernandez, R.L., "Remote sensing of suspended solids concentration in a reservoir with frequent wildland fires on its water-shed," *Water Sci. Technol.*, vol. 67, no. 1, pp. 217–223, Nov. 2013, doi: 10.2166/wst.2012.560.
- [7] Argañaraz, J.P.; Radeloff, V.; Bar Massada, A.; Gavier Pizarro, G.I.; Scavuzzo, C.M.; Bellis, L.M. Assessing wildfire exposure in the Wildland-Urban Interface area of the mountains of central Argentina. *Journal of Environmental Management*, vol. 196, pp. 499-510. Julio, 2017.
- [8] Bellis, L.M, Andreo, V.A.; Lighezzolo, A.; Argañaraz, J.P.; Lanfri, S.; Clemoveki, K., Scavuzzo, C.M., Design and implementation of an operational meteo fire risk forecast based on open source geospatial technology (2015) *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 2015-November, art. no. 7326230, pp. 2155-2158.
- [9] Argañaraz, J.P., Landi, M.A., Bravo, S.J., Gavier Pizarro, G.I.; Scavuzzo, C.M., Bellis, L.M. Estimation of Live Fuel Moisture Content From MODIS Images for Fire Danger Assessment in Southern Gran Chaco. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 9, no. 12, pp. 5339-5349. Dec., 2016.
- [10] Lighezzolo, A., Lanfri, M., García, F., Clemoveki, K., Bridera, D., Scavuzzo, C.M. Sistemas de alerta temprana a emergencias ambientales basados en modelos numéricos de predicción meteorológica (2016) *2016 IEEE Biennial Congress of Argentina, ARGENCON 2016*, art. no. 7585281.
- [11] Villalón Turrubiates, I.E.; Scavuzzo, C.M.; Feitosa, R.Q.; Frery, A.C.; and López-Martínez, C., "Special Issue on Applied Earth Observation and Remote Sensing in Latin America," in *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 9, no. 12, pp. 5287-5293, Dec. 2016.
- [12] McArthur, A.G. *Forestry and Timber Bureau Leaet 107*, Forest Research Institute, 1967.
- [13] Griffiths, D. Improved formula for the drought factor in McArthur's forest fire danger meter. *Australian Forest Journal*, vol. 62, pp. 202–206. 1999.
- [14] Noble, I.R.; Bary, G.A.B. and Gill, A.M., McArthur's fire danger meters expressed as equations. *Australian Journal of Ecology*, vol. 5, pp. 201-203. 1980.
- [15] Keetch J.J. and Byram G.M., *A drought factor index for forest fire control*. Research Paper SE 38, USDA Forest Service, 1968.
- [16] Neteler, M.; Bowman, M.H.; Landa, M. and Metz, M.; GRASS GIS 7: A multi-purpose open source GIS. *Environmental Modelling and Software*, vol. 31, pp. 124–130. 2012.
- [17] Chuvieco, E.; Riaño, D.; Aguado, I. and Cocero, D. "Estimation of fuel moisture content from multitemporal analysis of Landsat-TM reflectance data: Applications in fire danger assessment," *Int. J. Remote Sens.*, vol. 23, no. 11, pp. 2145–2162, 2002.
- [18] Davidson, A.; Wang, S. and Wilmshurst, J. "Remote sensing of grassland-shrubland vegetation water content in the shortwave domain," *Int. J. Appl. Earth Observ. Geoinf.*, vol. 8, no. 4, pp. 225–236, Dec. 2006, doi:10.1016/j.jag.2005.10.002.
- [19] Ceccato, P.; Flasse, S.; and Gregoire, J.M. "Designing a spectral index to estimate vegetation water content from remote sensing data—Part 2. Validation and applications," *Remote Sens. Environ.*, vol. 82, nos. 2/3, pp. 198–207, Oct. 2002.
- [20] Jönsson P. and Eklundh, L. "TIMESAT—A program for analyzing time series of satellite sensor data," *Comput. Geosci.*, vol. 30, no. 8, pp. 833–845, 2004.
- [21] Weise, D.R.; Hartford, R. A. and Mahaffey, L. "Assessing live fuel moisture for fire management applications," in *Fire in Ecosystem Management: Shifting the Paradigm from Suppression to Prescription*. Tall Timbers Fire Ecology Conference Proceedings, Tallahassee, FL, USA: Tall Timbers Res. Station, 1998.
- [22] Porcasi, X.; Rotela, C.; Introini, M.V.; Frutos, N.; Lanfri, S.; Peralta, G.; De Elia, E.A.; Lanfri, M. and Scavuzzo, C.M.. An operative dengue risk stratification system in Argentina based on geospatial technology. *Geospatial Health*, vol. 6, no. 3, pp. S31-S42, 2012.
- [23] Mari, N. "Diseño de un Sistema de Alerta y Respuesta Temprana a Incendios de Vegetación SARTiv, tesis de maestria MAEARTE, CONAE-FAMAF, UNC 2012.
- [24] Arrais de Freitas, N.C.; Reboucas Filho, P.P.; Gurgel de Moura C.D. and Pereira dos Santos Silva, M. "AgentGeo: Multi-Agent System of Satellite Image sMining," in *IEEE Latin America Transactions*, vol. 14, no. 3, pp. 1343-1351, March 2016.
- [25] ESA, "Esa software engineering standards", 1991.



Juan Pablo Argañaraz: Licenciado en Ecología y Conservación del Ambiente por la Universidad Nacional de Santiago del Estero, Santiago del Estero, Argentina, en 2007, Doctor en Ciencias Biológicas por la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, en 2016. De 2009 a 2011, tuvo una beca de investigación en el Instituto de Hidrología de Llanuras, Buenos Aires, Argentina. De 2011 a 2016 tuvo una beca doctoral del CONICET y desde 2016 tiene una beca postdoctoral de ese organismo en el Instituto de Diversidad y Ecología Animal (CONICET-UNC). Sus intereses de investigación incluyen la ecología del paisaje y el ordenamiento territorial en el contexto de los incendios de vegetación y la conservación de la vida silvestre. Cuadro de Honor de la Universidad de Santiago del Estero. Ha recibido becas y distinciones de la Fundación Carolina de Argentina, el Consejo Profesional de Mecánica e Ingeniería Eléctrica para la Mejor Actuación Académica de los estudiantes de Ciencias Naturales y Fulbright -Fundación Bunge y Born.



Lighezzolo Andrés: Licenciado en Física de la Universidad Nacional de Córdoba. Posee un Master en aplicaciones espaciales en alerta y respuesta temprana a emergencias desarrollado en el Instituto Gulich CONAE-UNCba 2013. Desde 2012 trabaja en la agencia especial Argentina CONAE en el área de emergencias. Su área de trabajo actualmente está centrada en la predicción numérica del tiempo aplicada a sistemas de alerta y respuesta ante emergencias.



Kevin Klemoveky: Licenciado en ciencias de la computación del FAMAF en la Universidad Nacional de Córdoba. Trabajó en el área de emergencias de la agencia espacial Argentina durante 2015 y 2016. Realizó una pasantía de especialización en la Universidad de Pavia, Italia por 6 meses. Actualmente se encuentra trabajando en una empresa privada dedicada al desarrollo de software.



Daniel Bridera: Licenciado en ciencias de la computación del FAMAF en la Universidad Nacional de Córdoba. Trabajó en el área de emergencias de la agencia espacial Argentina durante 2015 y 2016. Realizó una especialización en la Universidad de Genova, Italia. Actualmente se encuentra trabajando en una empresa privada dedicada al desarrollo de software. (Machinalis)



Juan M Scavuzzo: Estudiante avanzado de la carrera de ciencias de la computación del FAMAF en la Universidad Nacional de Córdoba. Secretario general del centro de estudiantes de la mencionada facultad durante 2015-2016 y Presidente durante 2016-2017. Participante del proyecto EXPOSURE financiado por la Unión Europea sobre el uso de sensores remotos para la evaluación de amenazas a la seguridad humana.



Laura Marisa Bellis Licenciada en biología en 1996 y doctora en biología (ecología) en 2004 ambos de la Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina. Ella es actualmente profesora de la Facultad de ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad de Córdoba e Investigadora Independiente del CONICET en el Instituto de Diversidad y Ecología Animal (CONICET-UNC). Sus áreas de trabajo incluyen actualmente la ecología del paisaje, manejo y conservación, así como los incendios forestales, bajo una aproximación que combina datos de terreno junto a datos satelitales y sistemas de información geográfica. Además ha incursionado en aspectos vinculados a la estadística espacial y modelos predictivos. Desde el 2007 ella ha estado estudiando los efectos de los incendios forestales en las zonas serranas del centro de la Argentina, siendo actualmente la jefa del grupo en la UNCba sobre esta temática.