

# DyCEI: Software para la Detección y Caracterización de Eventos de Incendio mediante Imágenes Satelitales

Iván Meyer<sup>1</sup>, y Daniel Alejandro Martelliti<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Facultad Regional Buenos Aires, Universidad Tecnológica Nacional, Argentina

{ivan.meyer00, danielmartelliti}@gmail.com

**Abstract.** Conocer factores como la vegetación, la temperatura terrestre, el viento, las precipitaciones y el relieve, es clave para ayudar a determinar índices de la ocurrencia, severidad y propagación de incendios existentes y así, realizar una correcta toma de decisiones para el control y rehabilitación de las áreas afectadas. Presentamos un software de procesamiento de información satelital que determina eventos de incendio, calcula perímetro y área de las zonas afectadas por cada evento, sentido y velocidad máxima de propagación, y duración del incendio, generando información para análisis estadísticos de incendios. Permite el análisis y representación gráfica de productos MODIS disponibles de algunos de los factores nombrados. Dentro del territorio continental americano de la República Argentina, el software está enfocado a reservas naturales, zonas forestales y rurales, donde los incendios son difíciles de controlar y también rutas cercanas a donde el incendio pueda propagarse.

**Keywords:** ocurrencia, propagación, duración, productos MODIS, reservas naturales

## 1 Introducción

Las características de un incendio pueden estar vinculadas a diversos factores como la vegetación, la temperatura terrestre, el viento, entre otros. Conocerlos resulta clave para la determinación de índices que relacionen las condiciones ambientales con la ocurrencia de incendios, como así también la severidad y propagación de incendios existentes [1]. De esta manera se permitiría establecer criterios que mejoren las políticas de gestión en materia de prevención, control y rehabilitación de áreas afectadas por estos disturbios. En el caso de Argentina, se ha incrementado la cantidad de estudios sobre la determinación de patrones de fuego relacionados con el clima, la vegetación y la cobertura de la superficie [1] [2] analizando información satelital. Algunos estudios derivaron en conclusiones opuestas al analizar la relación entre la ocurrencia de fuegos y el uso y cobertura de la superficie de las zonas afectadas [3] [2].

En Argentina, el diseño de herramientas automatizadas suele abordarse en un contexto interinstitucional como es el caso de SARTiv (“Sistema de Alerta y Respuesta Temprana a incendios de vegetación”) [4]. Disponer de dichas herramientas permitiría agilizar las investigaciones y la implementación de las metodologías adecuadas para

el manejo del fuego, protocolos de control, protocolos de emergencia de entidades públicas y privadas, etc. Con estos objetivos, presentamos un software open source, gratuito y multiplataforma que puede ser usado como herramienta para estudios de esta índole, tanto de institutos públicos como privados.

Nuestro software, llamado **DyCEI** (“Detección y Caracterización de Evento de Incendio”), realiza el procesamiento de información satelital como imágenes MODIS (Moderate Resolution Image Spectroradiometer) de Temperatura de Superficie Terrestre (MOD/MYD 11), Índices de Vegetación (MOD/MYD 13) y Anomalías Térmicas y Fuegos (MOD/MYD 14), al igual que imágenes vectoriales (Shapefiles) y coberturas (GLC2000). DyCEI detecta y caracteriza eventos de incendio pasados y actuales, indicando información útil que permitiría detectar las causas que los provocaron e identificando las zonas afectadas. A diferencia del concepto presentado en [5], consideramos como “evento de incendio” a la agrupación de 3 o más focos de calor detectados, que mantienen una proximidad espacial y temporal limitadas por el usuario. El software obtiene las siguientes características por cada evento de incendio: ubicación de sus focos, dirección y sentido de propagación, velocidad máxima de avance, fecha de inicio y de fin del evento, y su duración.

El software se enfocó al análisis de zonas forestales y rurales del territorio continental americano de la República Argentina, y ofrece la posibilidad de consultar si los eventos de incendio detectados afectaron áreas protegidas cargadas en su base de datos. Además, permite consultar las rutas y localidades cercanas a los focos de los eventos.

## 2 Licencia

DyCEI se diseñó como un software libre y gratuito que se ofrece bajo Licencia Apache 2.0. La Licencia se encuentra disponible en <http://www.apache.org/licenses/LICENSE-2.0>

La Licencia Apache 2.0 es una licencia permisiva cuyas condiciones principales requieren de preservación de avisos de derechos de autor y licencias. Los contribuyentes proporcionan una concesión expresa de derechos de patente. Las obras licenciadas, modificaciones y obras grandes pueden ser distribuidas bajo diferentes condiciones y sin código fuente.

## 3 Repositorio

Se creó un repositorio para que incluya el software, un conjunto de archivos de focos e imágenes Ráster como base de datos inicial y el Manual de Usuario. El Manual de Usuario se diseñó para introducir al usuario a las herramientas que ofrece DyCEI a la vez que lo capacita en el manejo de la interfaz de usuario y la utilización de metodologías de trabajo mediante ejemplo e imágenes. También se indicaron los requisitos mínimos del sistema, los pasos para la instalación, el tipo de licencia utilizado y datos de contacto de los autores.

El programa se encuentra disponible en el repositorio:  
<https://bitbucket.org/ivanmeyer/dycei>

## 4 Requisitos

Para que el programa se ejecutara satisfactoriamente se debió tener instalado el intérprete de Python 2.7 (<http://www.python.org>). Esta distribución debió contener los siguientes paquetes utilizados por nuestro programa.

- Scipy (<http://www.scipy.org>)
- PyQt4 (<http://www.riverbankcomputing.com/software/pyqt>)
- GDAL (<http://www.gdal.org>)
- Fiona (<http://toblerity.org/fiona>)
- Shapely (<http://toblerity.org/shapely>).

El programa funcionó sobre los sistemas operativos: Windows 7, Windows 10 y las distribuciones de Ubuntu (Kernel 14.04 o superiores) de GNU/Linux.

En la base de datos de DyCEI, se incluyeron imágenes Shapefiles (vectoriales) del territorio continental americano de la República Argentina con el fin de extraer la ubicación geográfica, reservas naturales y localidades disponibles. Sin embargo, se requirió de conexión a internet a fin de obtener la información de rutas cercanas y pertenecientes a cada foco.

## 5 Prestaciones y metodologías del software

Se desarrolló un programa con diferentes procesamientos distribuidos en fases. Las mismas fueron pensadas a fin de que se vayan habilitando en orden, a medida que finalizan los procesos anteriores. Las fases involucradas se mencionan a continuación:

### 5.1 Apertura de archivos de focos

El programa fue desarrollado para que tenga la capacidad de importar información de Anomalías Térmicas y Fuegos (MOD14 y MYD14) de tres tipos de archivos distintos. Las extensiones admisibles de los archivos fueron TXT, CSV y SHP. La estructura interna de cada uno de los tipos de archivo es distinta, dependiendo de la fuente de información de dónde se obtenga. Las estructuras compatibles con el programa fueron las obtenidas a través de SEPA (Herramientas satelitales para el seguimiento de la producción agropecuaria) (<http://sepa.inta.gob.ar>) como se aprecia en el siguiente cuadro:

Latitud ; Longitud ; Lugar ; Cobertura ; ANP ; FRP ; Fecha ; Satélite ; Hora ;
---

Y también a través del formato utilizado por la NASA (National Aeronautics and Space Administration) (<http://earthdata.nasa.gov>) como se aprecia en el siguiente cuadro:

```
latitude , longitude , brightness , scan , track , acq_date ,
acq_time , satellite , confidence , version , bright_t31 ,
frp , daynight
```

Se desarrolló un algoritmo extra para el caso en el que la fuente fuese la NASA, consultando mediante una imagen Shapefile la provincia a la que corresponde cada foco.

## 5.2 Filtro de datos

En el programa se incluyó dos tipos de filtros: espacial, conformado por la selección del territorio continental americano de las 23 provincias de la República Argentina, y temporal, ajustable por el usuario mediante una fecha inicial y una fecha final. De esta manera el programa fue capaz de manejar una gran cantidad de información y de procesar solo lo requerido.

## 5.3 Detección de eventos de incendio

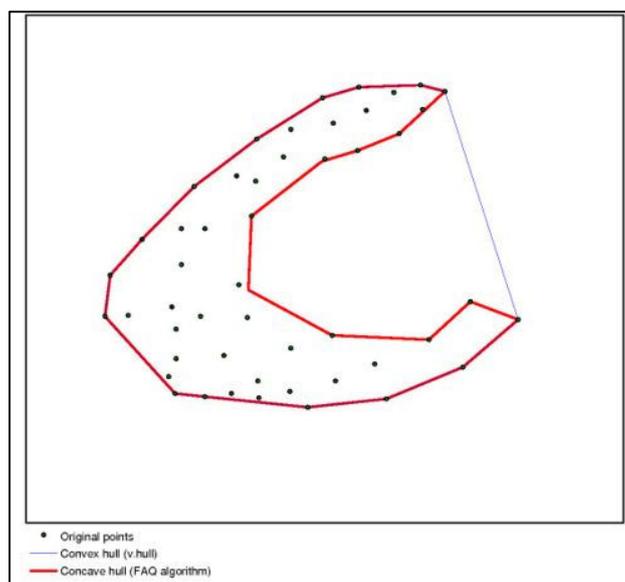
El programa se desarrolló para que tenga la capacidad de detectar eventos de incendio aplicando una lógica en base a una ventana espacial y otra temporal. Estos parámetros fueron pensados a fin de que fuesen definidos según el criterio requerido. El algoritmo se realizó mediante un doble bucle, comparando la distancia espacial y temporal entre cada uno de los focos, permitiendo detectar eventos de 3 o más focos.

Para cada evento detectado se implementaron métodos de caracterización que involucran: superficie afectada, perímetro, sentido y velocidad máxima de propagación, cantidad de focos, fecha inicial y final, y duración. El resumen de las características de los eventos se indica en la interfaz gráfica (Fig. 1).

	ID Evento	N° Focos	Área (ha)	Perímetro (km)
1	AAA	10	329	7.2
2	AAB	21	1304	15.5
3	AAC	3	51	6.1
4	AAD	3	53	3.5
5	AAE	6	153	5.5

Fig. 1. Resumen de características de los Eventos de Incendio detectados.

Las características fueron estimadas a partir de la distribución y el orden de los focos en que fueron detectados. Para la estimación de la superficie afectada y el perímetro se utilizó el algoritmo de Envoltente Convexa (Convex Hull) [6], realizando el procesamiento en función de la ubicación de los focos y la resolución espacial de la imagen satelital correspondiente. De esta manera, se trabajó con una sobreestimación del área y una subestimación del perímetro que se acrecentaba cuanto más cóncava fuera la distribución de la ubicación de los focos. La Fig. 2 ilustra en azul la Envoltente Convexa y en rojo una de las Envoltentes Cóncavas posibles, denotando la diferencia de área y perímetro.



**Fig. 2.** Ejemplo de sobreestimación de área y subestimación de perímetro de la Envoltente Convexa [7].

#### 5.4 Análisis de información Ráster

El software se programó para tener la capacidad de abrir imágenes Ráster en formato IMG (ERDAS Imagine) y GeoTIFF (Georeferenced Tagged Image File Format) y procesarlas en base a los eventos de incendio detectados. Los tipos de Ráster compatibles que fueron implementados se detallan a continuación:

- Temperatura de la Superficie Terrestre (MOD11 y MYD11)  
(<http://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/mod11.php>)
- Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) (MOD13 y MYD13)  
(<http://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/mod13.php>)
- Cobertura de la Superficie Global (GLC2000)  
(<http://forobs.jrc.ec.europa.eu/products/glc2000/glc2000.php>)

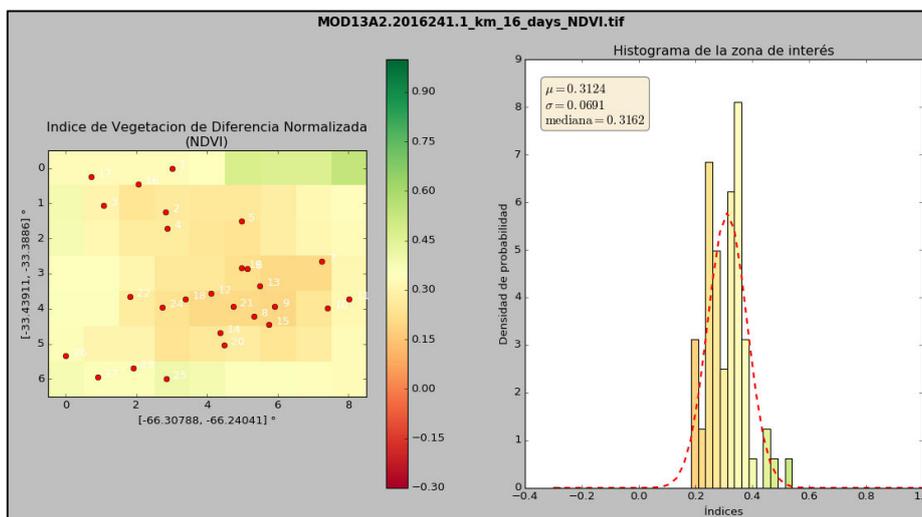
El procesamiento se emplea para uno o más eventos seleccionados, especificando las cantidades de fechas anteriores y posteriores (fecha de captura de las imágenes satelitales) que se requieran analizar respecto de los períodos en los que transcurrieron dichos eventos. El programa funciona de forma independiente a la frecuencia de adquisición de las imágenes MODIS que se utilicen.

Como resultado se generó una tabla de información Ráster para a la ubicación de los focos, con el fin de tener las características ambientales del período anterior, simultáneo y posterior a la ocurrencia del evento de incendio, como se muestra un ejemplo en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Formato de la tabla Ráster para NDVI.

	día -2	día -1	día 0	día +1	día +2
Foco1	NDVI	NDVI	NDVI	NDVI	NDVI
Foco2	NDVI	NDVI	NDVI	NDVI	NDVI
Foco3	NDVI	NDVI	NDVI	NDVI	NDVI
Foco4	NDVI	NDVI	NDVI	NDVI	NDVI

En la Tabla 1 se puede apreciar que en “día 0” hace referencia a la imagen adquirida justo antes de que se origine el evento de incendio. A través de las herramientas graficas del programa los resultados se ilustraron como se muestra en la Fig. 3 (ejemplo MOD13) involucrando la imagen Ráster y la ubicación de los focos del evento, junto con el histograma y cálculos estadísticos (mediana, media y desviación estándar) de la información de la zona de interés; uno por cada imagen Ráster analizada.



**Fig. 3.** Representación de NDVI en Evento de Incendio mediante DyCEI.

## 5.5 Análisis de cercanías

El programa se desarrolló con la capacidad de realizar el análisis de cercanías siendo ésta una fase optativa debido a su alto costo computacional. Las opciones son: reservas naturales, rutas y departamentos, y localidades.

Tanto las reservas naturales como las localidades son analizadas a través de una base de datos en formato SHP y utilizando algoritmos de comparación de coordenadas. En el caso del análisis de rutas y departamentos, se consulta una base de datos de Google a través de internet.

## 5.6 Almacenamiento de los resultados

Se implementó una fase que almacena los resultados obtenidos. Se incluyen las siguientes opciones: la documentación con la identificación y caracterización de los eventos de incendio y sus focos, la generación de un archivo Shapefile compatible con programas GIS, y la tabla de información Ráster.

## 6 Interfaz de Usuario

La interfaz de usuario del programa se ilustra en la Fig.4.

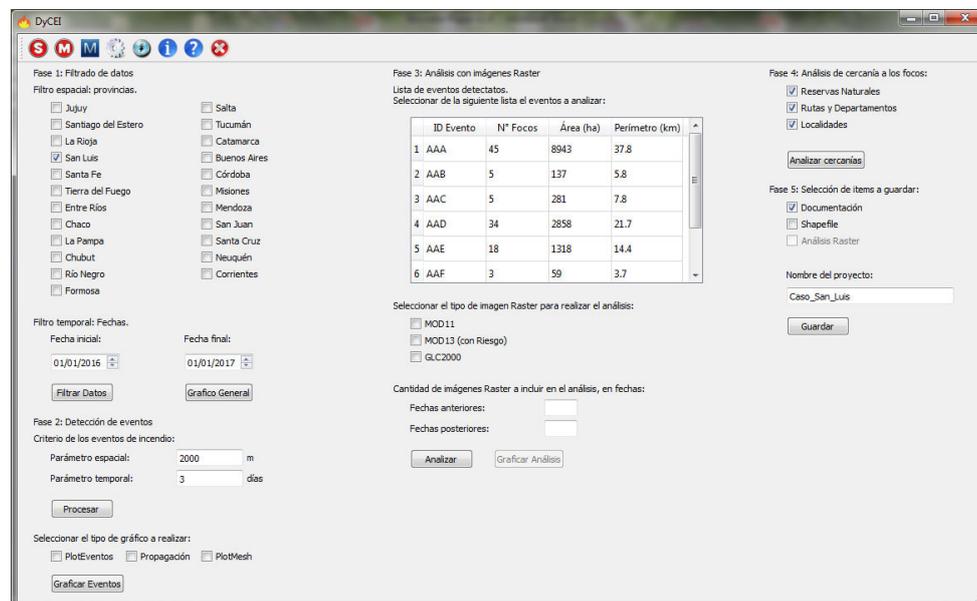


Fig. 4. Interfaz gráfica de DyCEI.

La interfaz se diseñó a fin de que contenga las fases en orden secuencial del procesamiento, y también incluyendo una barra de herramientas las siguientes acciones.

1. Apertura de archivo de texto con focos de calor, obtenido de SEPA.
2. Apertura de archivo de texto con focos de calor, obtenido de NASA.
3. Apertura de archivo Shapefile con focos de calor.
4. Modificaciones en el cuadro de configuración.
5. Verificación rápida del software y su configuración.
6. Lectura de la licencia y datos de contacto de los autores.
7. Apertura del Manual de Usuario.
8. Cierre del programa.

## 7 Caso de estudio

### 7.1 Incendio en San Luis

Se tomó un caso de estudio para la verificación de todos los algoritmos. Se comparó los resultados obtenidos de un Evento de Incendio ocurrido en la localidad de Villa de la Quebrada, provincia San Luis, del 18/08/2016 al 26/08/2016, con la nota periodística del diario *La Nación* [8].

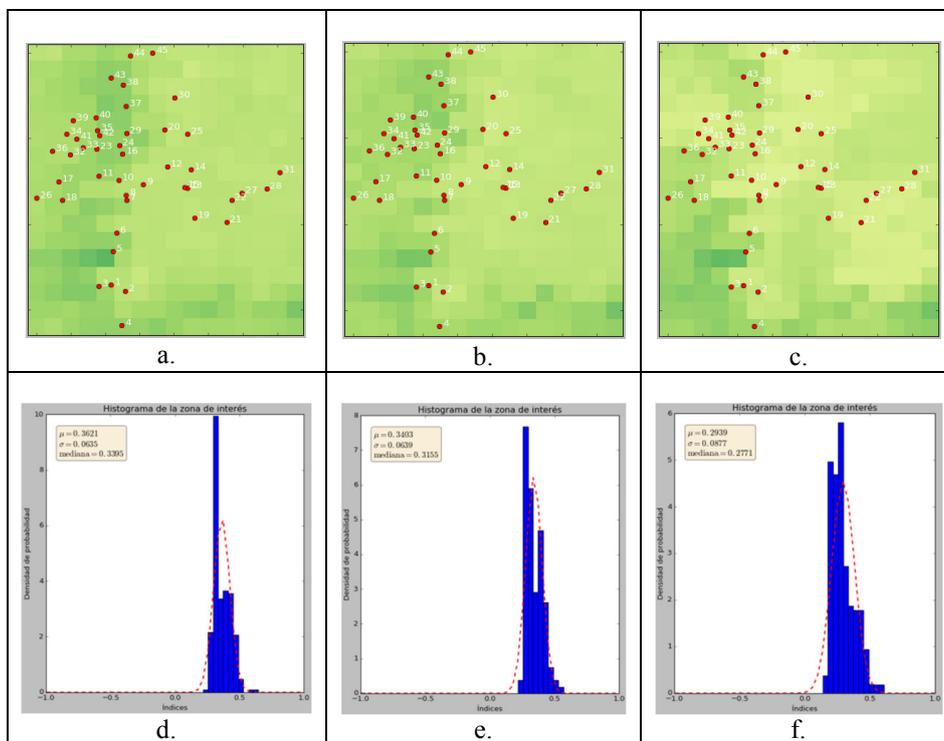
El resultado obtenido por DyCEI del cálculo de área fue 8943 ha y corresponde al evento AAA que se observa en la Tabla 2. Esta figura muestra parte de los resultados generados en la documentación del Evento de Incendio.

**Tabla 2.** Extracto de los resultados documentados por DyCEI.

Evento ID	Focos	Fecha Inicial	Fecha Final	Área (ha)	Perímetro (km)	Duración (d)	Vel (m/d)	Sentido
AAA	45	18/08/2016	26/08/2016	8943	37.8	9	1992	N
AAB	5	18/08/2016	18/08/2016	137	5.8	1	0	-
AAC	5	18/08/2016	18/08/2016	281	7.8	1	0	-
AAD	34	21/08/2016	25/08/2016	2858	21.7	5	1982	O
AAE	18	24/08/2016	24/08/2016	1318	14.4	1	0	-
AAF	3	24/08/2016	24/08/2016	59	3.7	1	0	-
AAG	9	25/08/2016	26/08/2016	576	9.5	2	1693	SSO

En la nota periodística se estimó un área de 8500 ha, por lo tanto nuestro resultado tiene menos de un 10% de error (en este caso un 5,3%), debido al método matemático utilizado para el cálculo: Envoltente convexa.

Para este Evento de Incendio se consultaron los índices NDVI de dos fechas anteriores (28/07/2016 y 13/08/2016) y una fecha posterior (26/08/2016) y se muestran en la Fig. 5. La barra de color de la Fig. 3 también se corresponde con los valores de NDVI de la Fig. 5, la cual ilustra la pérdida del vigor de la vegetación durante el período indicado.



**Fig. 5.** Deterioro del NDVI por la presencia de un Evento de Incendio, mediante ilustración de las imágenes Ráster (a., b. y c.) e histogramas (d., e. y f.). (a. y d.) Día 28-07-2016. (b. y e.) Día 13-08-2016. (c. y f.) Día 29-08-2016

## 7.2 Incendio en Parque Nacional Río Pilcomayo

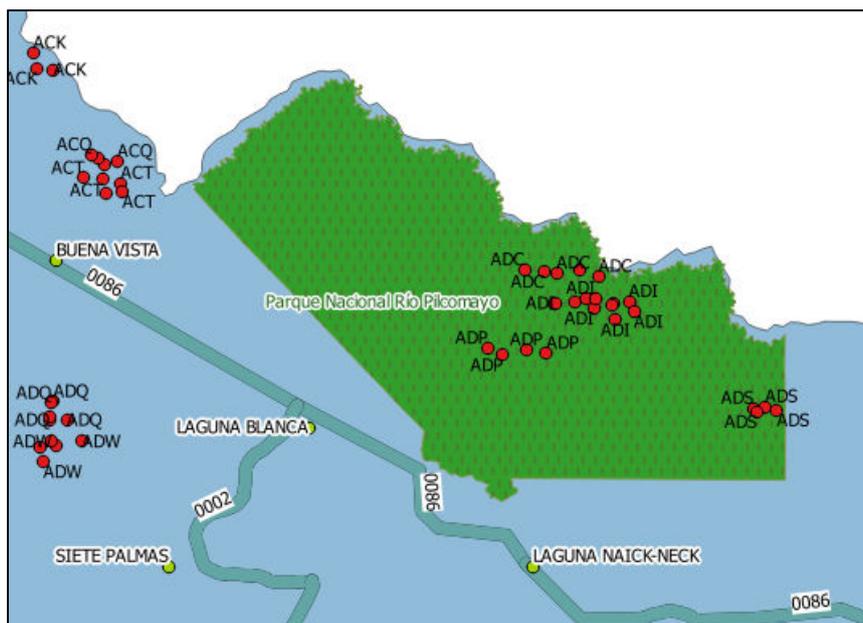
Se tomó otro caso de estudio para la verificación de los algoritmos de consulta de cercanías. Se comparó los resultados obtenidos de un Evento de Incendio ocurrido el 12/09/2015 en el Parque Nacional Río Pilcomayo, provincia Formosa, con el artículo publicado en el sitio web de la Administración de Parques Nacionales de Argentina [9]. Se utilizó el programa QGIS [10] a fin de corroborar e ilustrar los resultados obtenidos por DyCEI.

En uno de los documentos que se almacenaron se puede apreciar el resultado del procesamiento como se ilustra en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Resultados obtenidos del procesamiento de análisis de cercanías

Evento ID	Focos	Localidades	Rutas	Reservas Afectadas
ADC	5	LAGUNA BLANCA - LAGUNA NAICK-NECK	12	Parque Nacional Río Pilcomayo
ADI	11	LAGUNA NAICK-NECK - LAGUNA BLANCA	12	Parque Nacional Río Pilcomayo
ADP	4	LAGUNA BLANCA - LAGUNA NAICK-NECK	No hay informacion	Parque Nacional Río Pilcomayo
ADS	4	LAGUNA NAICK-NECK	12	Parque Nacional Río Pilcomayo

En la Fig. 6 puede observarse la corroboración de dichos resultados utilizando el programa QGIS. Se aclara que, para la búsqueda de las rutas cercana, el resultado obtenido de la base de datos de Google no siempre pertenece al territorio argentino; en este caso hace referencia a la Ruta Nacional 12 Vice Presidente Sánchez ubicada en Paraguay.



**Fig. 6.** Corroboración de los resultados al superponer los eventos detectados con los Shapefiles de reservas naturales, rutas y localidades, mediante el programa QGIS.

## **8 Discusión**

En la nota periodística del incendio de San Luis (sección 7.1) se estimó un área de incendio de 8500 ha, lo que corresponde a una diferencia del 5,3% al compararlo con el resultado de DyCEI. Asumiendo las 8500 ha como valor patrón, podría mejorarse el resultado utilizando información sobre Productos de Área Quemada (MOD/MYD 45) y/o implementando algoritmos como Envolvente cóncava (Concave hull) que permitan obviar con mayor precisión áreas no afectadas para el cálculo de la zona de incendio.

Como se evidencia en el segundo caso de estudio (sección 7.2), no se puede filtrar por país al realizar consultas de rutas cercanas en la base de datos de Google. Estos resultados podrían modificarse mediante consultas a otra base de datos online o local más adecuada.

## **9 Conclusiones**

El programa DyCEI se encuentra disponible en internet de manera libre y gratuita. El programa detecta Eventos de Incendio de más de 2 focos. La caracterización de los Eventos de Incendio es exhaustiva, pero puede expandirse fácilmente por cualquier programador.

El software funciona perfectamente para la obtención y representación de imágenes MOD11, MOD13 y GLC2000 para el territorio continental americano correspondiente a las provincias de la República Argentina. El programa es una herramienta para investigar y/o mejorar el cálculo de índices de riesgo, entre otros, gracias a la obtención y representación gráfica de datos de imágenes Ráster y su exportación para programas GIS. A la vez, realiza los siguientes cálculos estadísticos: media, mediana, desviación estándar e histograma de la zona del Evento de Incendio y sus alrededores.

Desde un punto de vista de programación, la arquitectura del software permite la expansión de la caracterización de los Eventos de Incendio y el agregado de más imágenes MODIS y/o de cobertura de manera sencilla. También puede ser adaptado por programadores para ampliar su campo de aplicación.

## **Agradecimientos**

Damos las gracias a Mg. Ing. Alfredo Nicolás Campos y Mg. Ing. María Ángeles Fischer, miembros del Equipo SEPA del Instituto de Clima y Agua (INTA Castelar), por las contribuciones aportadas a este trabajo. También agradecemos a Mg. Ing. Silvio Abel Tapino e Ing. Juan Pablo González, miembros del equipo docente de la Facultad Regional Buenos Aires de la Universidad Tecnológica Nacional, por las recomendaciones y el seguimiento en este trabajo.

## Referencias

1. Fischer, M.A., Di Bella, C.M., Jobbágy, E.G.: Influence of fuel conditions on the occurrence, propagation and duration of wildland fires: A regional approach. *Journal of Arid Environments*, vol. 120, pp. 63-71, ISSN 0140-1963 (2015)
2. Argañaraz, J.P., Gavier Pizarro, G.I., Zak, M., Bellis, L.M.: Fire Regime, Climate, and Vegetation in the Sierras de Córdoba, Argentina. *Fire Ecology Journal*, vol. 11, nro. 1, pp. 55-73, ISSN 1933-9747 (2015)
3. Argañaraz, J.P., Gavier Pizarro, G.I., Zak, M., Landi, M.A., Bellis, L.M.: Human and biophysical drivers of fires in Semiarid Chaco mountains of Central Argentina. *Science of The Total Environment*, vol. 520, pp. 1-12, ISSN 0048-9697 (2015)
4. Mari, N.A., Scavuzzo, M.C., Morelli, F.: Diseño de un Sistema de Alerta y Respuesta Temprana a incendios de vegetación (SARTiv). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (2013)
5. Fischer, M.A., Di Bella, C.M., Jobbágy, E.G.: Fire patterns in central semiarid Argentina. *Journal of Arid Environments*, vol. 78, pp. 161-168, ISSN 0140-1963 (2011)
6. Weisstein, E.W.: Convex Hull. From MathWorld--A Wolfram Web Resource. Recuperado de <http://mathworld.wolfram.com/ConvexHull.html> (2017)
7. GRASS-Wiki: Create concave hull. Content is available under GNU Free Documentation License 1.2 unless otherwise noted. [https://grasswiki.osgeo.org/w/index.php?title=Create\\_concave\\_hull&oldid=21530](https://grasswiki.osgeo.org/w/index.php?title=Create_concave_hull&oldid=21530) (2015)
8. Agencia Télam. San Luis: el incendio forestal arrasó 8500 hectáreas y sigue latente. *El Tiempo*. Recuperado de <http://www.lanacion.com.ar/1932390-san-luis-el-incendio-forestal-arraso-8500-hectareas-y-sigue-latente> (2016)
9. Administración de Parques Nacionales: Incendio de pastizales en el Parque Nacional Río Pilcomayo. Recuperado de <https://www.parquesnacionales.gob.ar/2015/09/incendio-de-pastizales-en-el-parque-nacional-rio-pilcomayo> (2015)
10. QGIS Development Team: QGIS. Todos los contenidos están licenciados bajo la licencia Creative Commons Attribution-ShareAlike 3.0 licence (CC BY-SA) <http://www.qgis.org> (2017)