

# **Red SERENA: Plataforma de Datos Espaciales MODIS para Latinoamérica y el Caribe.**

**Melchiori, Arturo E., Banchemo, Santiago y Marí, Nicolás A.**  
*Instituto de Clima y Agua, INTA Castelar, Buenos Aires, Argentina*

## **Resumen**

El seguimiento y estudio de los recursos naturales resulta de importancia estratégica para los países de América Latina debido a la relevancia de nuestros suelos en la producción de alimentos para el mundo y al rol de nuestros ecosistemas en los procesos reguladores naturales. Los fenómenos de cambio que ocurren y que afectan al medioambiente son una temática de activa de investigación con la necesidad constante de datos actualizados que representen la realidad y que permitan concluir respecto de los cambios que se producen. El fuego se presenta como uno de los principales agentes catalizadores de cambios en la naturaleza y por ello toma un rol preponderante en las actividades de seguimiento y estudio. La Red SERENA se gesta como un esfuerzo conjunto de varias instituciones de Latinoamérica y El Caribe para aportar información regional al estudio del uso del suelo y de los cambios que se producen en forma natural o antrópica mediante el procesamiento y estudio de datos de sensores remotos adecuados para los objetivos que se plantean. *Se presenta en este trabajo el diseño e implementación de la arquitectura computacional de la Red SERENA concebida como un sistema distribuido aplicado a la gestión, elaboración y distribución de información relacionada con el uso del suelo a partir de datos del sensor MODIS para Latinoamérica y el Caribe. Se mencionan los planes futuros de la Red, con ideas factibles de materializar dentro de un marco de acciones previamente establecido.*

**Palabras clave:** Red SERENA, puntos de calor MODIS, sistemas distribuidos.

## **Introducción.**

Existen diversos motivos por los cuales el fuego y sus efectos sobre la cobertura vegetal, son estudiados en diversas líneas de investigación alrededor del mundo como ecología, agronomía, ciencias forestales, biología, geoquímica, ciencias de la atmósfera, entre otros [1]. En la actualidad, el hombre incide fuertemente en la presencia de fuego sobre los ecosistemas terrestres y las quemadas y los incendios forestales que suceden a gran escala en Latinoamérica, están íntimamente relacionados al avance de la frontera agrícola, a menudo en forma ilegal, para la producción de cultivos industriales, biocombustibles y tradicionalmente a la expansión de actividades ganaderas en zonas marginales [3] (ver Figura 1).

No solo de esta manera incide el hombre, existe evidencia también respecto de los efectos que resultan del uso o supresión indiscriminada del fuego y la conversión del tipo y uso del suelo, tradicionalmente sobre la estructura y funcionamiento de los ecosistemas y a distintos niveles de organización y a diferentes escalas, locales, regionales y continentales [4]. Actualmente existe un gran interés en el estudio de las reacciones fisicoquímicas que suceden en la atmósfera como resultado de la incorporación de grandes volúmenes de gases con efecto invernadero, aerosoles y partículas de carbón producto de la combustión de biomasa vegetal [5].



*Figura 1. Imagen MODIS<sup>1</sup> de color real de una zona de Brasil, con puntos de calor en color rojo. Se observa las quemaduras relacionadas con actividades de deforestación.*

Uno de los aspectos más relevantes, que ha posibilitado un entendimiento más completo sobre los efectos del fuego sobre los ecosistemas, está relacionado al avance y desarrollo de nuevas capacidades de observación de la tierra de la mano de la información satelital [6]. El nivel de cobertura y la alta frecuencia de adquisición de información han posibilitado responder a muchos interrogantes, en particular sobre aquellos fenómenos dinámicos en el tiempo y el espacio [3]. Desde el año 2000 y hasta la actualidad uno de los principales sensores que funcionan en forma operacional para la detección de incendios es el MODIS (Moderate resolution Imaging Spectroradiometer) a bordo de las plataformas satelitales Aqua y Terra. El sensor MODIS fue diseñado para incluir características específicas para la detección de fuegos proveyendo capacidades únicas en relación a otros sensores en términos de seguimiento de incendios entre otras aplicaciones [7]. Existen 44 productos MODIS disponibles, de los cuales el MOD14 es el denominado “Thermal Anomalies, Fires and Biomass Burning” (Anomalías térmicas, fuegos y quema de biomasa). Se trata de un producto destinado a la detección de anomalías de temperatura del suelo, normalmente asociadas a la presencia potencial de un fuego o incendio [8].

Existen productos globales de detección de puntos de calor como es el caso de “Fire Information for Resource Management Systems” (FIRMS) de la Universidad de Maryland [9]. Estos productos permiten llevar a cabo estudios a gran escala y se han establecido a nivel internacional como bases, aunque hay evidencias de sobre estimaciones en la detección de fuegos [10]. También se han llevado a cabo esfuerzos por cuantificar en toda Latinoamérica los efectos del fuego, particularmente el área quemada, como el proyecto AQL2004 [6], aunque la discontinuidad temporal de este tipo de trabajos no permite evaluar la dinámica de estos procesos.

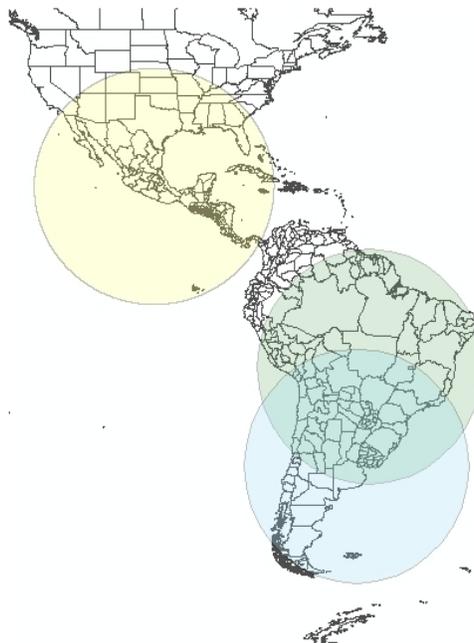
En Latinoamérica existen varios sistemas de detección de incendios que se encuentran operando en tiempo real conducidos por instituciones que cuentan con antenas de recepción satelital propias,

---

<sup>1</sup> Imagen provista por NASA (Jeff Schmaltz), MODIS Rapid Response Team. Goddard Space Flight Center.

además de capacidad operativa y personal experto en el objeto de estudio. En Brasil, el INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), tiene su sistema “*Queimadas*” que integra, desde 1989, información de MODIS, AVHRR, GOES y Meteosat en una misma plataforma brindando un producto muy completo para todo tipo de usuarios [11]. El producto de puntos de calor MODIS de Brasil se elabora en base a un algoritmo diseñado por INPE siendo esta la principal diferencia con el producto de FIRMS [12]. Existe también en la CONABIO de México (Comisión Nacional por el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad) el “*Programa para detección de Puntos de Calor mediante técnicas de percepción remota*” que utiliza información de los sensores AVHRR y MODIS en forma complementaria desde el año 1999 [10]. CONABIO elabora el producto MOD14 versión 4.3.2 en forma idéntica a la sugerida en [8] y posee un alto nivel de intercambio con los usuarios. En Argentina, el Instituto de Clima y Agua de INTA Castelar tiene experiencia en el estudio del fuego a partir de sensores remotos [3][6], y ha incorporado a partir de comienzos del año 2009 los productos elaborados a partir de información MODIS recibida en su antena propia, en base al producto estándar MOD14 versión 4.3.2. Antes de esta fecha los únicos productos de fuegos utilizados por el Instituto para la región eran los de la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) [13] y FIRMS.

El proyecto SERENA (Red Latinoamericana de Seguimiento y Estudio de los Recursos Naturales) [14] surge como una necesidad para llenar el vacío existente en cuanto a redes regionales en Latinoamérica y el Caribe para el seguimiento diario de los recursos naturales. La red SERENA tiene como objetivo principal llevar a cabo el seguimiento, estudio y difusión de información asociada a la quema de biomasa por incendios, y a los cambios producidos en el uso y cobertura del suelo en el continente americano desde México hasta el extremo más austral del continente, maximizando la transferencia de información a los usuarios finales aprovechando la cobertura que proporcionan las 3 antenas disponibles y aprovechando las posibilidades de validación a nivel local de cada institución (Figura 2).



*Figura 2. Cobertura aproximada de las antenas de recepción ubicadas en Buenos Aires, Argentina; Mato Grosso, Brasil y en el Distrito Federal de México.*

Los objetivos específicos de la red SERENA son:

- Diseñar y desarrollar un sistema regional de procesamiento de información satelital y complementaria para la detección de incendios, la cuantificación de áreas quemada, la elaboración de índices de peligrosidad y de severidad de incendios y la validación local de los resultados obtenidos.
- Diseñar y desarrollar un sistema regional de procesamiento de información satelital para la clasificación de usos y coberturas del suelo
- Diseñar y desarrollar un sistema de comunicación y transferencia de tecnologías con el sector público y privado.

Evaluar todas estas variables, a nivel continental, y en base a imágenes de sensores remotos satelitales, es un objetivo ambicioso y posible solo gracias el esfuerzo y cooperación de las instituciones participantes.

La disponibilidad de esta información de manera segura, confiable y rápida es la cara visible de todo el esfuerzo que significa llevar adelante esta red. El presente trabajo pretende describir la arquitectura computacional que se implementó para la transferencia, procesamiento, almacenamiento y publicación de los datos de puntos de calor para toda América Latina en Internet, pretendiendo que sirva, como un ejemplo de integración internacional entre instituciones que enfocan esfuerzos de investigación en una misma temática. Actualmente, forman parte de la red SERENA instituciones de Argentina, Chile, Brasil, Paraguay, Perú, Bolivia, Colombia, Cuba, México y España [12].

### **Materiales y métodos**

El área de interés es el territorio que se ubica desde el extremo norte de México, hasta la Patagonia, representando una superficie total aproximada de 18 millones de km<sup>2</sup>. Toda la superficie se cubre con 37 escenas del sensor MODIS. Debido al volumen de información que se genera a diario, se plantea la necesidad de implementar un sistema distribuido de procesamiento para hacer frente a las exigencias de los objetivos. Esto significa, que cada centro de recepción y procesamiento tiene la tarea de llevar a cabo el análisis de las imágenes diarias del sensor MODIS que corresponden a su área de cobertura (ver Figura 2), y disponer de los resultados para que sean transferidos al centro de operación de la red, actualmente en instalaciones del Instituto de Clima y Agua de INTA Castelar. Esta modalidad, de sistema distribuido de procesamiento, utiliza entonces la capacidad de cada centro reuniendo los resultados en un mapa único continental.

La información de puntos de calor generada por cada centro de procesamiento tiene un formato propio que fue diseñado de acuerdo a las necesidades de cada institución. De esta manera, fué necesario unificar el formato de los datos a una estructura común que se adecue a los objetivos de la red y almacenarlos en un medio que permita la fácil disposición de los mismos. A continuación se describe el proceso diseñado para llevar a cabo tal objetivo.

### **Diseño del esquema de datos espaciales**

Un concepto fundamental y necesario para el análisis de datos espaciales en un Sistema de Información Geográfico (SIG) es determinar y comprender de qué manera se relacionan cada uno de los objetos espaciales [15]. Es importante contar con un modelo lógico consistente y realizar un

relevamiento exhaustivo de coberturas, proyecciones y de los datos que van a conformar el modelo.

Entre los datos espaciales que actualmente se utilizan en la red SERENA podemos mencionar:

- Mapa continental
- División política principal de cada país
- Mapa de áreas protegidas
- Puntos de calor

Los 3 primeros conjuntos de datos espaciales se presentan como datos estáticos permaneciendo invariantes en el tiempo y funcionando como marco de referencia para nuestro estudio, mientras que los datos de puntos de calor tiene una frecuencia de actualización asociada al paso de los satélites AQUA y TERRA.

Para los objetivos de procesamiento de la Red SERENA se realizó un modelado siguiendo el paradigma orientado a objetos, donde cada punto representa una instancia de una clase y tiene información espacial, temporal y metadatos. Siguiendo esta línea se definió un esquema de datos y se modeló utilizando el diagrama de clases de la Figura 3. El pensamiento orientado a objetos sirve para entender y documentar cómo se relacionan cada una de las entidades que componen el sistema.

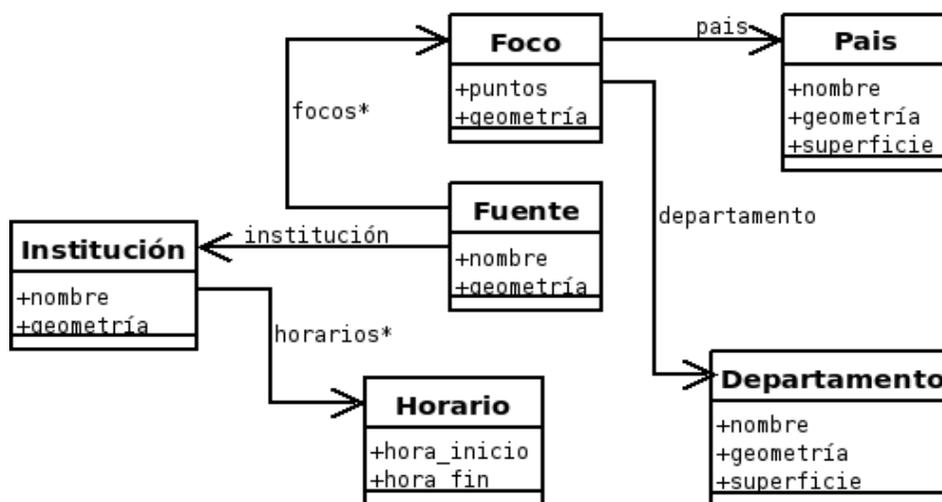


Figura 3: Modelo de datos del proyecto SERENA

## Arquitectura de la Red SERENA

Gran parte de los esfuerzos dedicados a la arquitectura computacional de la Red SERENA fueron aplicados al diseño e implementación de una herramienta que facilite la integración de los datos provenientes de las distintas fuentes. En este sentido, se desarrollaron un conjunto de procesos, herramientas y modelos que ayudan a integrar de forma homogénea los datos.

En este proyecto interactúan varios componentes de software, por un lado servicios para intercambio de archivos (FTP), *Web mapping*, *Web services*, entre otros. La interacción entre cada uno de estos componentes se ilustra en la Figura 4 representando la arquitectura computacional de la Red SERENA. La misma se corresponde con el modelo de un sistema distribuido donde cada uno de sus componentes se relaciona con otro a través de una red de datos.

Los componentes que forman esta arquitectura son: en primer lugar, los nodos o centros de procesamiento que generan productos de puntos de calor a partir de las imágenes MODIS recibidas. En la actualidad existen tres nodos conformando la red: INTA<sup>1</sup>, CONABIO<sup>2</sup> e INPE<sup>3</sup>, cada uno de ellos sirve, a través de servidores ftp, los productos generados de puntos de calor en diferentes formatos (texto plano, xml, etc.).

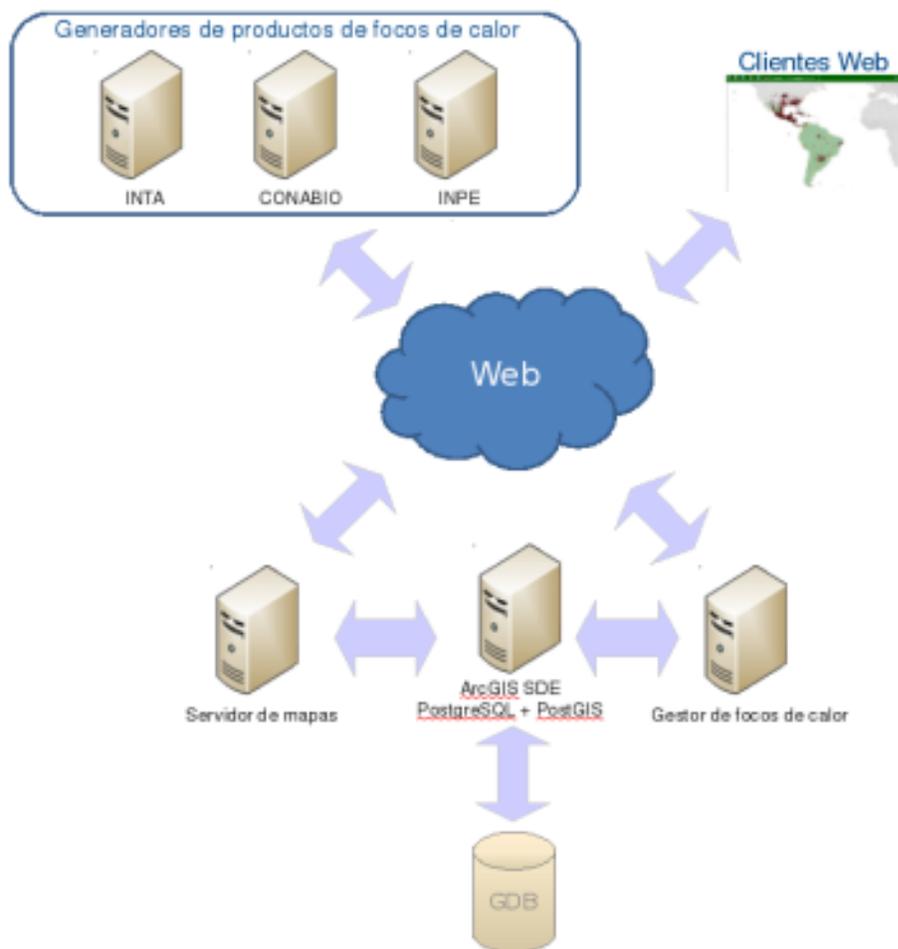


Figura 4: Arquitectura del sistema SERENA

En segundo lugar, existe un “Servicio de Gestión de Focos de Calor” que se encarga de recuperar los datos desde cada uno de los centros o nodos de procesamiento para ingresarlos en la base de datos geográfica como objetos. La geometría utilizada para los datos de focos de calor es el punto. El módulo de gestión se desarrolló en lenguaje Python 2.5. El núcleo principal de esta aplicación consta de dos clases principales: *Focos* que contiene toda la lógica relacionada con el procesamiento específico de los puntos de calor y *Fuentes* que implementa la lógica necesaria para poder recuperar los datos desde cada uno de los centros de procesamiento de la Red SERENA. El módulo de gestión

1 [www.inta.gov.ar](http://www.inta.gov.ar)

2 <http://www.conabio.gob.mx>

3 <http://www.inpe.br>

actúa como un calendario (*scheduling*), utilizando una agenda que contiene los horarios de los pasajes de los satélites para cada una de las antenas. De esta manera es posible optimizar el proceso de recuperación de los datos ejecutándose únicamente en un horario establecido por el pasaje y un tiempo prudencial para el procesamiento de los datos y elaboración de los productos.

El tercer componente de la arquitectura es el “Sistema de Gestión de Base de Datos” (SGBD), para este proyecto se utilizan varias herramientas que complementarias entre si. Por un lado, se cuenta con un gestor de datos geográficos de licencia propietaria ArcSDE 9.3<sup>1</sup> que permite integrar dentro del sistema las consultas a la información geoespacial, mapas, análisis espaciales, entre otras alternativas [16].

El gestor de datos geográficos funciona con soporte para el motor de software libre PostgreSQL<sup>2</sup>, de esta manera todos los objetos son guardados dentro una base de datos tradicional con soporte para datos espaciales. Es necesario aclarar que los todos datos son guardados en formato no propietario bajo el estándar de PostGIS<sup>3</sup>. De esta manera, resulta posible acceder a la base de datos geográficos desde cualquier cliente de visualización que soporte dicho formato estándar. Se implementaron filtros de fechas para los datos de puntos de calor, permitiendo la consulta histórica de la base de datos, y se están desarrollando los filtros para todos y cada uno de los campos que tiene la base de datos: país, estado, tipo de cobertura, satélite, fuente de los datos, etc.

Por último, se desarrolló un módulo de visualización utilizando tecnología Web 2.0. Se incorporaron herramientas de *Web mapping* (Figura 4) para desplegar los focos en un mapa dinámico, realizar filtrado según diferentes atributos y proveer herramientas de análisis, generación de gráficos dinámicos, exportación a Shape File<sup>4</sup> de ARCGIS, KML para Google Earth, etc. Para servir los mapas en la Web se utilizó ArcGIS Server 9.3 y se canalizaron los datos hacia cliente el cliente Web a través de la API REST que viene implementada en la misma aplicación.

De esta manera queda definida la arquitectura computacional de la Red SERENA, que vincula componentes heterogéneos y exige una eficiente coordinación entre estos. Donde la incorporación de la tecnología de SIG para la integración de los datos consolida la aplicación como una robusta solución de software con infinitas posibilidades de crecimiento y escalabilidad.

El resultado de la implementación de esta plataforma se puede ver en el sitio de Internet <http://geointa.gov.ar/serena/>, aunque al día de la fecha no se ha incorporado en el sitio de la Red SERENA (ver Figura 5).

---

1 <http://esri.com/software/arcgis/arcscde>

2 <http://www.postgresql.org/>

3 <http://postgis.refrations.net/>

4 Esri Shape File (<http://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/shapefile.pdf>)

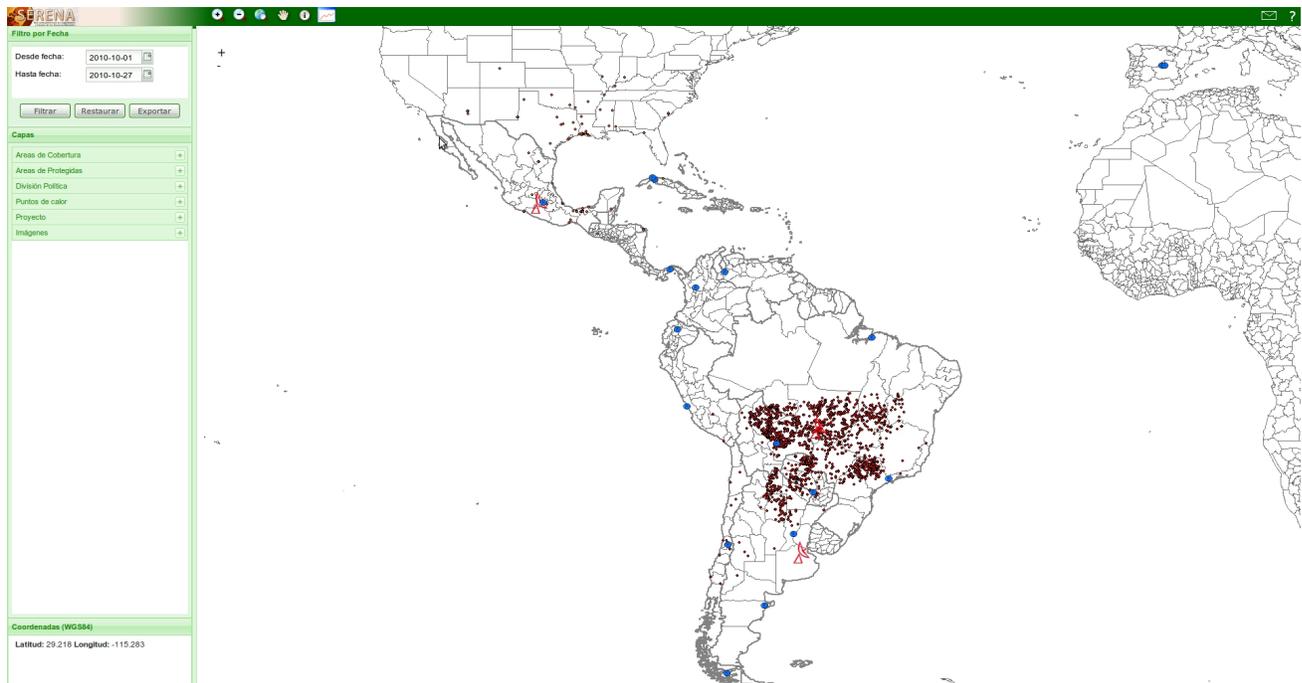


Figura 5: Versión actual del servidor de mapas de la Red SERENA

En este portal es posible observar el mapa de Latinoamérica y el Caribe con la evolución temporal y espacial de los puntos de calor detectados por los centros de recepción y procesamiento a partir de las imágenes MODIS de acuerdo a lo antes descrito. Las funcionalidades implementadas actualmente son acotadas, aunque están en desarrollo las restantes para cumplir con los objetivos planteados por los responsables del proyecto. En un futuro cercano será posible apreciar el servidor de mapas del proyecto SERENA en toda su plenitud, ofreciendo productos que se habrán validado de acuerdo a los objetivos de la red, para que sean utilizados por los diferentes tipos de usuarios que encuentren esta información valiosa para sus actividades.

### Perspectivas futuras

El diseño de la plataforma informática de la Red SERENA se encuentra en gran parte implementada sobre herramientas de código abierto y gratuito lo que permitiría la transferencia a otros usuarios pero el componente fundamental de SIG y generación de mapa para Internet permanece bajo un tipo de licencia restrictiva dificultando este objetivo. Con la filosofía de que la plataforma informática desarrollada para esta red sea transferible a otros usuarios en un 100% se plantea la necesidad de encontrar alternativas de código abierto para todos los componentes. Las posibilidades para el cambio son varias de acuerdo a lo que se manifiesta en el portal de la Open Source Geospatial Foundation [19] (OSGEO).

De la misma manera que con los productos comerciales, las opciones de código abierto presentan herramientas bastante pulidas para la elaboración de mapas para servicios WEB. En este caso particular las herramientas seleccionadas para la elaboración del proyecto son: Quantum GIS, MapServer y OpenLayers. Quantum GIS se utiliza para combinar la información de entrada en el mapa que luego será publicado utilizando tecnologías de MapServer y OpenLayers para los aspectos visuales y las funcionalidades básicas.

### Consideraciones finales

El sistema diseñado para reunir, procesar, almacenar y distribuir la información relativa a los puntos de calor sobre la superficie Latinoamericana se implementa complementando tecnologías diversas en una herramienta pensada a medida de las necesidades. La red SERENA, se vale de nodos formantes para cumplir sus objetivos mostrando la importancia de las redes regionales de estudio de los recursos naturales.

Las tecnologías empleadas hasta el momento presentan una alternativa de tantas disponibles. En la actualidad se presentan diversos casos de proyectos con sistemas basados completamente en herramientas de código abierto y la Red SERENA pretende ir en esa dirección aunque siendo consecuente con los objetivos de distribución de datos y además distribución de tecnologías con la que fue concebida.

### **Agradecimientos**

La Red SERENA es financiada mediante el Proyecto CYTED 508AC0352. Los autores de este trabajo, miembros estables del proyecto de la Red SERENA agradecen a CYTED por la financiación otorgada. Agradecemos la colaboración del Dr. Pablo Mercuri, quien puso a disposición de la Red SERENA la infraestructura informática del proyecto Infraestructura de datos geoespaciales del INTA AERN 4641, necesaria para la generación de los mapas en Internet a través del proyecto. Agradecemos también a todas las personas que participaron ideológicamente en la formulación de este proyecto y que colaboran en su ejecución.

### **Referencias**

- [1] LENTILE, L. B.; HOLDEN, Z. A.; SMITH, A. M. S.; FALKOWSKI, M. J. HUDAK, A. T.; MORGAN, P.; LEWIS, S. A.; GESSLER, P. E. and BENSON, N. Remote sensing techniques to assess active fire characteristics and post-fire effects. *International Journal of Wildland Fire*. 2006. 15, 319-345.
- [2] BOND, J. W. & KEELEY, J. E. Fire as a global 'herbivore': the ecology and evolution of flammable ecosystems. *TRENDS in Ecology and Evolution*. 2006. Vol. 20. No. 7
- [3] DI BELLA, C. M.; JOBBAGY, E. G.; PARUELO, J. M. and PINOCK, S. Continental fire density patterns in South America. *Global Ecology and Biogeography*. 2006. 15, 192-199.
- [4] OESTERHELD, M.; LORETI, J.; SENMARTIN, M. and PARUELO, J.M. Grazing, fire and climate effects on primary productivity of grasslands and savannas. *Ecosystems of Disturbed Ground*. 1999. Ed. L.R. Walker. Elsevier. New York. pp. 287-306.
- [5] BOSCHETTI, L.; EVA, H. D.; BRIVIO, P. A. and GRÉGOIRE, J. M. Lessons to be learned from the comparison of three satellite-derived biomass burning products. *Geophysical Research Letters*. 2004. Vol. 31. L21501.
- [6] CHUVIECO, E.; OPAZO, S.; SIONE, W.; DEL VALLE, H.; ANAYA, J.; DI BELLA, C.; CRUZ, I.; MANZO, L.; LOPEZ, G.; MARI, N.; GONZALEZ-ALONSO, F.; MORELLI, F. ; SETZER, A; CSISZAR, I.; KANPANDEGI, J.; BASTARRIKA, A.; LIBONATI, R. Global burned-land estimation in Latin-America using MODIS composite data. *Ecological Applications*, 18(1), 2008, pp.64-79.
- [7] JUSTICE, C. O.; VERMOTE, E.; TOWNSHED, J. R. G.; DEFRIES, R.; ROY, D. P.; HALL, D. K.; SALOMONSON, V. V.; PRIVETTE, J. L.; RIGGS, A. S.; LUCHT, W.; MYNENI, R. B.; KNYAZIKHIN, Y.; RUNNING, S. W.; NEMANI, R. R.; WAN, Z.; HUETE, A. R.; VAN LEEUWEN, W.; WOLFE, R. E.; GIGLIO, L.; MULLER, J. P.; LEWIS, P. and BARNSLEY, M. J. The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): Land remote sensing for global change research. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 1998. Vol. 36. N° 4.
- [8] GIGLIO, L.; DESCLOITRES, J.; JUSTICE, C. O. and KAUFFMAM, J. B. An enhanced contextual fire detection algorithm for MODIS. *Remote Sensing of Environment*. 2003. 87, 273-282.

- [9] JUSTICE, C. O.; GIGLIO, L.; KORONTZI, S.; OWENS, J.; MORISETTE, J. And ROY, D. The Modis Fire Products. Remote Sensing of Environment. 2002. 83, 244 – 262.
- [10] RESSL, E.; LÓPEZ, G.; CRUZ, I.; COLDITZ, R. R.; SCHMIDT, m.; RESSL, S. and JIMÉNEZ, R. Operational fire mapping and burnt area identification applicable to Mexican Nature Protection Areas using MODIS and NOAA-AVHRR direct redout data. Remote Sensing of Environment. 2009. 113, 1113-1126
- [11] INPE. 2009. Queimadas – Monitoramento de focos. <http://www.cptec.inpe.br/queimadas>
- [12] RUDORFF, B. F. T; SHIMABUKURO, Y. E y CEBALLOS, J. C. O Sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil. Editora Parêntese. 2007. ISBN 978-85-60507-00-9.
- [13] CONAE. 2009. Gestión de emergencias. <http://www.conae.gov.ar/emergencias/emergencias.html>
- [14] Proyecto SERENA. 2009. <http://www.fuego.org.ar/serena/inicio/inicio.html>
- [15] ARCTUR, D and ZEILER, M. Designing Geodatabases: Case Studies in GIS Data Modeling. AÑO. REVISTA. NUMERO.PAGINAS
- [16] WEST, R. ArcGIS 9 – Understanding ArcSDE. 2004. ESRI press. ISBN.
- [17] INPE DPI. 2009. Divisão de Processamento de Imagens. <http://www.dpi.inpe.br>
- [18] Projeto TerraView. 2009. <http://www.dpi.inpe.br/terraview/index.php>
- [19] Open Source Geospatial Consortium: <http://www.osgeo.org>