

Sistema de análisis de la sismicidad sobre servidor Web

José Leonardo Álvarez-Gómez*

Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, Cuba. Email: leoalvar@cenais.cu

Recibido: enero 15, 2014	Aceptado: junio 30, 2014
--------------------------	--------------------------

Resumen

Se presenta un sistema de análisis de la sismicidad que funciona sobre un servidor web, compuesto de páginas web que pasan datos iniciales a aplicaciones “cgi” las cuales hacen uso de otras aplicaciones en “perl”, programas en FORTRAN, y programas de confección mapas y gráficos. Funciona sobre un servidor web en Linux. Todo está realizado sobre plataforma de código abierto (Open Source). Los mapas se confeccionan con el GMT, incluido total o parcialmente en las distribuciones de Linux más comunes (aunque es preferible su instalación a partir de las fuentes) que usan bases de topografía-batimetría, también son libres, así como mapas geofísicos. Los gráficos se construyen usando el “gnuplot” y los programas en FORTRAN son compilados con el compilador “gfortran”, que está presentes en todas las distribuciones de Linux. Se pueden obtener los siguientes resultados: (a) mapas de epicentros, liberación de energía, mecanismos focales y densidad de epicentros, (b) gráficos espacio-temporales, de terremotos en profundidad y de liberación de energía. Puede importar catálogos de terremotos y mecanismos focales, mapas geofísicos y otros. Los resultados son textos e imágenes en formato PS, EPS y GIF. El sistema puede ser montado sobre un servidor o sobre computadoras de mesa y portátiles.

Palabras clave: sismicidad, mapas, aplicación web

System of seismicity analysis on a Web Server

Abstract

A system for the analysis of seismicity is presented. It works in a Linux web server and it is composed from web pages that pass the initial data to CGI scripts that make use of perl scripts, FORTRAN programs and specialized programs for maps and graphics preparation. All the system is “open source”. The maps are prepared with GMT, that is totally or partially included in the more popular Linux distribution (although it is preferred its installation from sources). In maps' preparation there are used topographic-bathymetric data, also free, as well as geophysical maps. The graphics are constructed with “gnuplot” and the FORTRAN programs are compiled with “gfortran” compiler, that is present in all Linux distributions. The following results can be obtained: (a) maps of epicentres, energy release, focal mechanisms and epicentres' density, (b) graphics space-temporal, of epicentres in depth and energy release. It can import catalogues, geophysical maps, etc.. The results are text files and images in formats PS, EPS and GIF. The system can be installed in a server or in PC or laptops.

Key words: seismicity, maps, web application

1. Introducción

Siempre que se hace un análisis de la sismicidad de una región es necesario preparar cierta cantidad de materiales, como son los mapas de epicentros, de ubicación y tipo de mecanismos focales y de otras representaciones de la ocurrencia de terremotos. Es igualmente importante la preparación de perfiles, gráficos espacio-temporales y de liberación de energía, etc. Estos materiales simples constituyen la base de partida para estudios más detallados. Para obtener este tipo de material es necesario procesar la información básica con diferentes programas de cómputo o sistemas. No siempre esa información está disponible y es necesario hacer búsquedas de la misma. Esto resulta engorroso y normalmente lleva mucho tiempo. El reto de los sismólogos es disminuir al mínimo ese tiempo para poder dar una respuesta rápida ante solicitudes que puedan hacer los organismos interesados. El objetivo de este trabajo fue el preparar herramientas y recopilar datos primarios fundamentales, que ubicados en un servidor web, permitieran obtener los mapas o gráficos necesarios de forma rápida. Eso garantiza una respuesta inmediata con una buena calidad y la posibilidad de evitar el engorroso trabajo de recopilar datos y procesarlos con programas que no siempre están disponibles.

2. Materiales y métodos

La solución del problema planteado se enfoca a través de un sistema cliente-servidor. El servidor tiene algunos requerimientos: sistema operativo Linux (fácilmente adaptable a otros sistemas de base UNIX), servidor apache2 con perl y cgi, herramientas de código abierto (gfortran, gnuplot, GMT, utilitarios para manejo de ficheros en postscript) y todos los datos a emplear. El cliente no tiene requerimientos especiales: cualquier sistema operativo, cualquier navegador, al que se le añade el CGI-Lite (Gundavaram, 1997), el cual se descarga libremente de Internet.

Los materiales básicos sobre la sismicidad son los catálogos de terremotos y de mecanismos focales (ver anexo 1). Estos son de dos tipos: compilaciones mundiales y catálogos locales. Toda esa información se reduce a ficheros secuenciales con formatos específicos que pueden ser procesados con programas escritos en FORTRAN. Dichos materiales se deben actualizar periódicamente para garantizar un correcto análisis de la sismicidad. Los datos auxiliares son fundamentalmente de tipo topográfico-batimétrico que permiten confeccionar mapas de calidad. Los mismos se obtienen libremente en Internet y pueden ser utilizados directamente o con un preprocesamiento mínimo. Existen otros elementos auxiliares que a veces ayudan en la interpretación, como son: límites de placas, volcanes, puntos calientes y ubicación de ciudades, que se obtienen también de Internet y con un preprocesamiento simple se preparan para ser incluidos en la confección de mapas.

Los métodos de procesamiento consisten en:

- a) Reducción de datos a formatos estándar. Se realiza con programas en FORTRAN y guiones (“scripts”) en “awk”. Para cada catálogo o base de datos se realiza un procesamiento particular. Los catálogos de terremotos se preparan en formato SEISAN, mientras que para los de mecanismos focales se usan los formatos internacionales “ndk”, “SOPAR” y uno diseñado especialmente para los catálogos locales. Los datos topográfico-batimétricos (Becker et al, 2009) y geofísicos usan un formato “grd” del GMT y los otros auxiliares se convierten a formatos “xy” y “xyz” del GMT.
- b) Selección de datos de los catálogos y procesamiento específico sismológico. Se realiza con programas en FORTRAN (básicamente en FORTRAN 77 con algunos elementos de FORTRAN 90 o C).
- c) Preparación de gráficos y mapas. Para ello se usa software libre. En primer lugar el GMT (Wessel y Smith 1990). Este es un sistema formado por decenas de programas que van trazando los elementos de un mapa o gráfico desde el inicio hasta su conclusión. Debido a la complejidad del procesamiento, para realizar cada tipo de mapa o gráfico se prepara un guión en “perl” que controla los diferentes pasos del proceso. En segundo lugar el “gnuplot” (Williams y Kelley 2010). Este programa confecciona gráficos de calidad con una serie de comandos específicos que se leen de un fichero de control. Tanto los ficheros de datos para ambos casos, como los de control, son creados durante la ejecución de los programas en FORTRAN.
- d) Conversión de formatos de gráficos. Las salidas de ambos constructores de gráficos es en formato “postscript” (PS), un formato vectorial de alta calidad. Se usan utilitarios de Unix para transformarlos a otros formatos – EPS, PDF (vectoriales), JPG y GIF (“raster”).
- e) Gestión de los programas a utilizar. Conjunto de programas en “CGI” que gestionan la adquisición de datos de la interfase web, la ejecución de los programas, la representación en la interfase web de los resultados y la descarga de los mismos desde la interfase web inicial.
- f) Interfase de usuario. Cada aplicación tiene una página web donde se sitúan los datos para la petición. La misma

se realiza en un formulario que envía estos datos al programa en CGI que controla el proceso. Esta página web está en un directorio que contiene además un subdirectorio “dat” con los datos a usar, y uno “web” donde se ubicarán los resultados. El directorio “dat” requiere permiso de lectura, mientras que el “web” requiere permiso de escritura.

2.1 ¿Cómo funciona el sistema?

En primer lugar se necesita un servidor web sobre Linux (no se ha probado sobre otros sistemas UNIX, aunque debe ser semejante). Los programas básicos a instalar, son lógicamente el apache2, el perl, el Image-magic, el GMT, el gnuplot y el gfortran. Todos ellos vienen en las distribuciones estándar de Linux. El GMT puede no estar completo (a veces faltan los contornos de costas de alta definición) o no funcionar correctamente dentro del servidor web. En tal caso se recomienda desinstalarlo completamente e instalarlo de las fuentes (que facilitan los autores con descarga libre por Internet) sobre el directorio “/usr” GMT (2012). Son necesarios igualmente algunos utilitarios para procesar ficheros PS, como ghostscript, ghostview, ps2eps, etc., que normalmente se instalan al configurar una máquina en Linux.

Una vez instalados estos programas se buscan en el directorio “/etc” los ficheros de configuración del apache2. Se localiza la ubicación del directorio cgi-bin donde se pondrán todos los programas ejecutables (perl, cgi y FORTRAN). Si se desea pueden ser cambiadas esas ubicaciones, pero no se recomienda hacerlo si no se domina bien el funcionamiento del apache. El directorio “cgi-bin” debe tener permiso de escritura, pues en él se escribirán todos los ficheros temporales que crea el GMT.

Con este proceso se configura completamente el servidor web. El paso siguiente es crear en este los directorios donde se ubican los datos, los portales de cada aplicación y los directorios de trabajo, donde se colocarán también los resultados finales. Los portales de aplicación son en HTML simple con formularios (Vega 2003)

Por el lado del cliente se accede al servidor web y en él se busca la aplicación deseada. Cada aplicación tiene un formulario a llenar con datos que constituyen la “petición”. La misma se envía al servidor web como solicitud de ejecución de un guión CGI. Una vez realizada la petición, se borran los ficheros existentes en el directorio “web” de la misma (resultados de una petición anterior), se escriben en el mismo los resultados de la petición actual y cambia la web a una página de resultados. El proceso de obtención de resultados pasa por un guión en CGI que es el que controla el proceso. Lo primero que se hace es llamar a un programa en FORTRAN que realiza los cálculos y prepara los datos de entrada para el GMT y el gnuplot. A continuación se ejecutan los guiones en Perl para construir mapas con el GMT y se llama al gnuplot para construir gráficos. Los mapas y gráficos se convierten a formato GIF y se muestran en la página de resultados. Se analizan los mismos y se retrocede a la página de inicio con dos variantes de acción:

- ❖ repetir la petición cambiando algunos parámetros
- ❖ descargar los resultados de la misma (esto incluye ficheros de resultados parciales, ficheros de datos para gnuplot y GMT, así como figuras en formatos PS, EPS y GIF)

En la Fig. 1 se muestra el esquema de procesamiento del sistema.

Aparte del conjunto de catálogos y mapas topográficos que el sistema usa implícitamente, se pueden usar tanto catálogos, como mapas geofísicos suministrados por el usuario. Para ello se habilitan dos directorios: “tmp” para los catálogos y “grd” para los mapas. Estos catálogos y mapas pueden ser colocados en esos directorios por el administrador del sistema, pero también el usuario puede importarlos desde su aplicación de cliente. Los catálogos deben estar en formato SEISAN y los mapas en formato “grd” del GMT. Sin embargo, para importar los mapas deben presentarse en formato ASCII “xyz” y es el sistema el que convierte ese mapa al formato “grd” del GMT usando el “xyz2gmt”. En el momento de usar alguno de ellos el sistema da la opción de seleccionarlos entre los importados previamente y que se mantienen en los directorios mencionados. Le corresponde al administrador del sistema eliminar mapas y catálogos innecesarios si necesita liberar espacio en el servidor.



Fig. 1. Esquema de trabajo de la realización de una consulta en el sistema.

3. Resultados y discusión

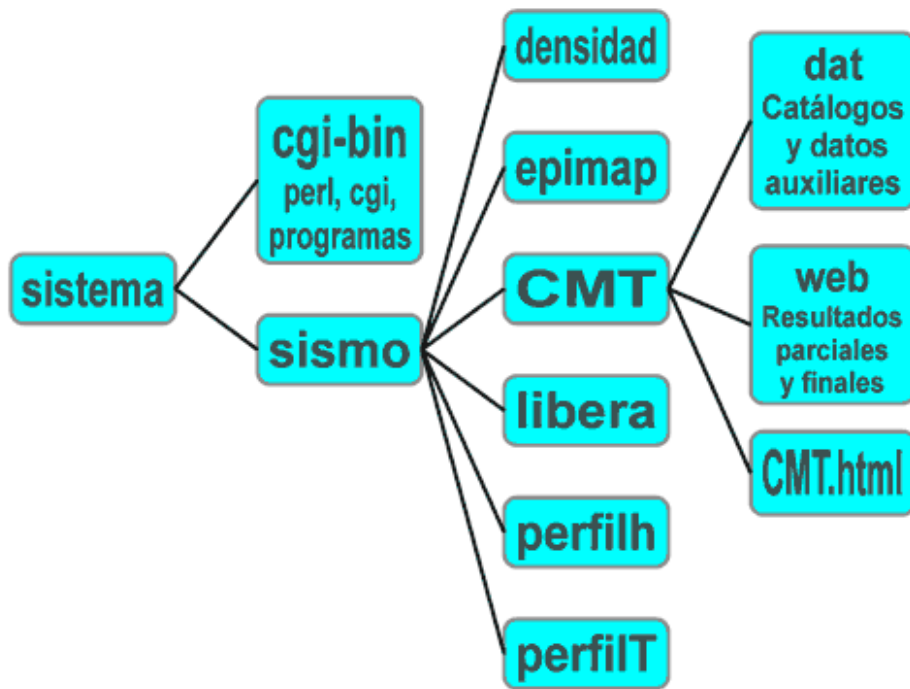
El sistema consta de un conjunto de guiones (“scripts” en inglés) en Perl y cgi. En ellos se hace referencia a la ubicación de los directorios de trabajo de cada aplicación, del directorio cgi-bin y del directorio de instalación del GMT propios del servidor web que se está utilizando. Para facilitar su modificación al ser instalado en otro servidor web se confeccionó un programa sencillo que lee las nuevas ubicaciones y transforma los ficheros .cgi y .pl correspondientemente. Por comodidad se decidió ubicar los directorios de cada aplicación bajo un mismo directorio (así es mucho más fácil la actualización de los ficheros .cgi y .pl). Por ejemplo, un directorio “sismo” que contiene los subdirectorios CMT, denepi, epimap, libera, perfilT y perfilh, mientras que cada uno de éstos contiene sus directorios “dat” y “web” (datos y trabajo respectivamente), así como la página web desde donde se hacen las peticiones y se descargan los resultados (CMT.html, denepi.html, epimap.html, libera.html, perfilh.html y perfilT.html). Ver Fig. 1. Los programas que realizan los cálculos se denominan: buscaCMT, cambiaLrup, denepiwww, libener1, libener, liberawww, topoLamb, wwwGMTepi, wwwGMTperf, wwwGMTperf_T (mas algunos utilitarios sencillos), todos en lenguaje FORTRAN. No se entra en detalles de los mismos, pues unos realizan solo selecciones en ventanas espacio-temporal-energéticas y otros realizan operaciones habituales cuya explicación se sale de los objetivos de este trabajo.

La importación de mapas y catálogos se realiza mediante procedimientos “cgi” escritos en “perl” that requires the use of CGI-Lite (Gundavaram, 1996) a través de dos páginas web (impMapa.html e importCata.html). Los mapas y catálogos importados por los usuarios se conservan en los directorios “grd” y “tmp” respectivamente y los mismos pueden ser seleccionados en otro momento a través de 2 páginas web adicionales (selecCata.html y selecMapa.html). Las aplicaciones desarrolladas son las siguientes (los nombres corresponden a los de la Fig. 2):

- densidad – Mapas de densidad de epicentros
- epimap - Mapas de epicentros (incluye la diferenciación en 3 intervalos de profundidad)

- CMT - Mapas de mecanismos focales y tensores de momento (permite elegir entre planos de falla y tensor de momento)
- libera - Mapas de liberación de energía y deformaciones
- perfilh - Perfiles de terremotos en profundidad (el clásico en 2D y otro en 3D)
- perfilT - Gráficos espacio-temporales

Sobre los mapas de densidad de epicentros puede consultarse (Medvedev, edit. 1968). El resto de los mapas y



gráficos que se obtienen en el sistema están descritos en cualquier texto de sismología general.

Fig. 2. Esquema de la estructura del sistema. En primer lugar el directorio **cgi-bin** donde se ubican los ficheros “.pl”, “.cgi” y los programas que realizan los cálculos, y en segundo lugar el directorio donde se ubican las aplicaciones, cada una de ellas con directorios de datos y trabajo y una página “.html” donde se hacen las peticiones y desde donde se descargan los resultados. En el esquema no se incluyen las opciones de importar y seleccionar catálogos y mapas.

El sistema como tal ha sido montado en un servidor de Intranet y se ha probado su funcionamiento desde cualquier máquina de la red. También ha sido probado sobre una PC no conectada a red, donde el servidor apache se monta en “localhost”. Como no es muy “pesado” se ha montado también sobre una computadora portátil (laptop) donde funciona correctamente. Ha sido utilizado en diversas ocasiones para obtener una respuesta rápida sobre la sismicidad de una región, y fue muy útil en las investigaciones desarrolladas en Nicaragua con posterioridad al sismo de $M=6.2$ ocurrido en el lago de Managua el 10/4/14. Actualmente se encuentra montado en la Intranet del Departamento de Sismología de La Habana y en la de la sede del CENAIIS en Santiago de Cuba. Los mapas que se obtienen son de una gran calidad (lo que es una característica del GMT); pueden ser usadas las proyecciones Lambert y Mercator para mapas regionales y para mapas globales se usa la de Ecker. En principio pudiera ser extendido al uso de otras proyecciones, pero hasta el momento no ha resultado necesario. Sobre ellos se puede representar una topografía-batimetría con distintos niveles de definición usando compilaciones globales así como mapas geofísicos compilados por el usuario o tomados de trabajos globales. Para algunas operaciones en la preparación de mapas en la proyección Lambert se realizan procesos de conversión de coordenadas, en los cuales se emplean los códigos de Williams (1995). Los ficheros básicos resultantes son en formato vectorial (PS), y aunque para su representación en la página web se transforman en formato gif, son accesibles en tal formato u otras variantes (EPS y PDF). En las Fig. 3-12 se muestran ejemplos de los resultados que se obtienen con las distintas

aplicaciones y en el anexo 2 se presentan las instrucciones de instalación del paquete.

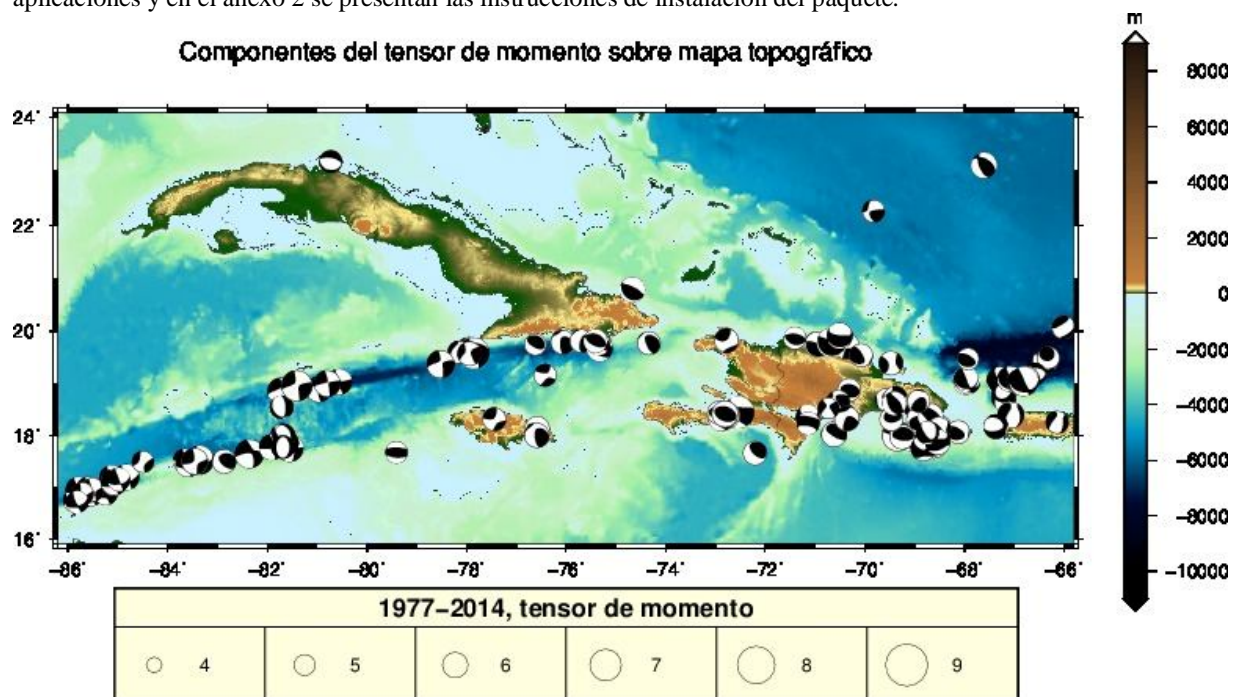


Fig. 3. Representación de las componentes del tensor de momento a partir del catálogo de la Universidad de Harvard para Cuba y regiones aledañas (topografía de alta resolución, proyección Mercator)

Epicentros sobre mapa topográfico

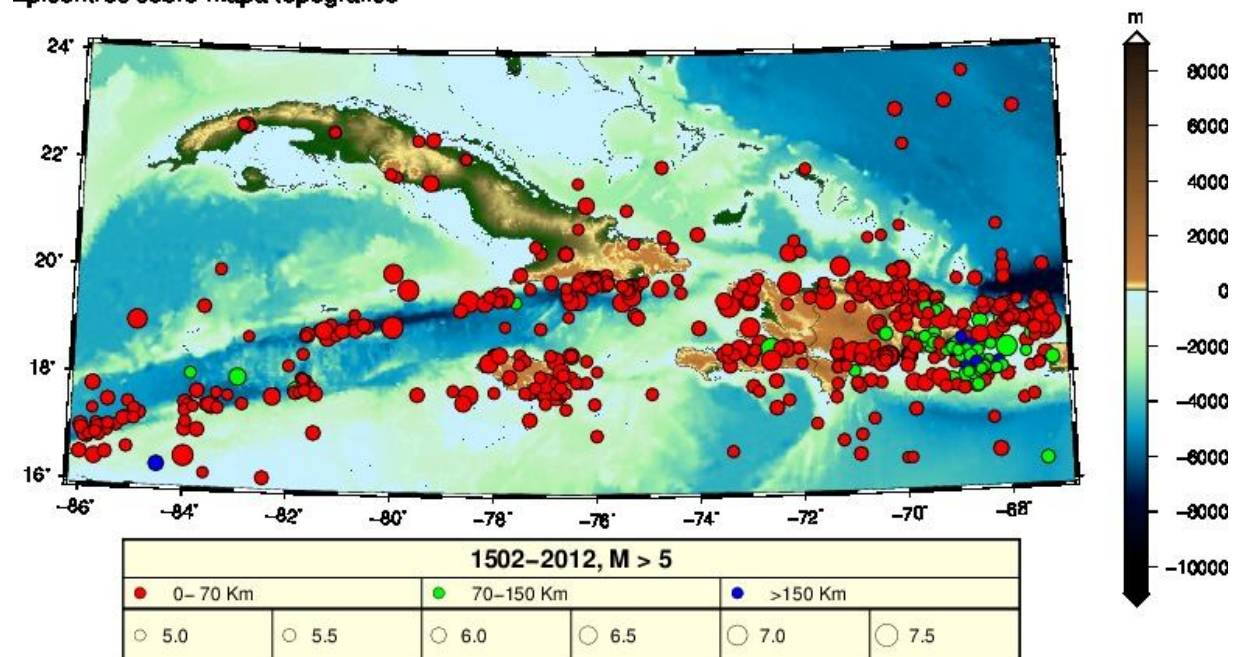


Fig. 4. Mapa de epicentros para Cuba y regiones aledañas a partir de un catálogo preparado con fines de estimación de la peligrosidad sísmica (topografía de alta resolución, proyección Lambert)

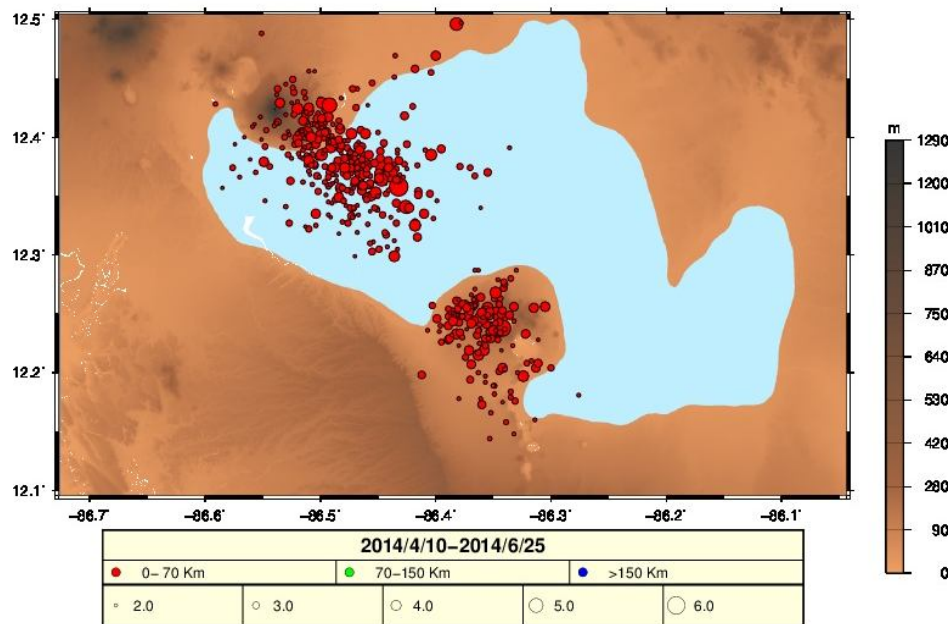


Fig. 5. Mapa de epicentros de un proceso terremoto principal – réplicas ocurrido en Nicaragua. Tanto el catálogo como el mapa base (modelo digital del terreno a 20m) fueron importados para hacer el mapa

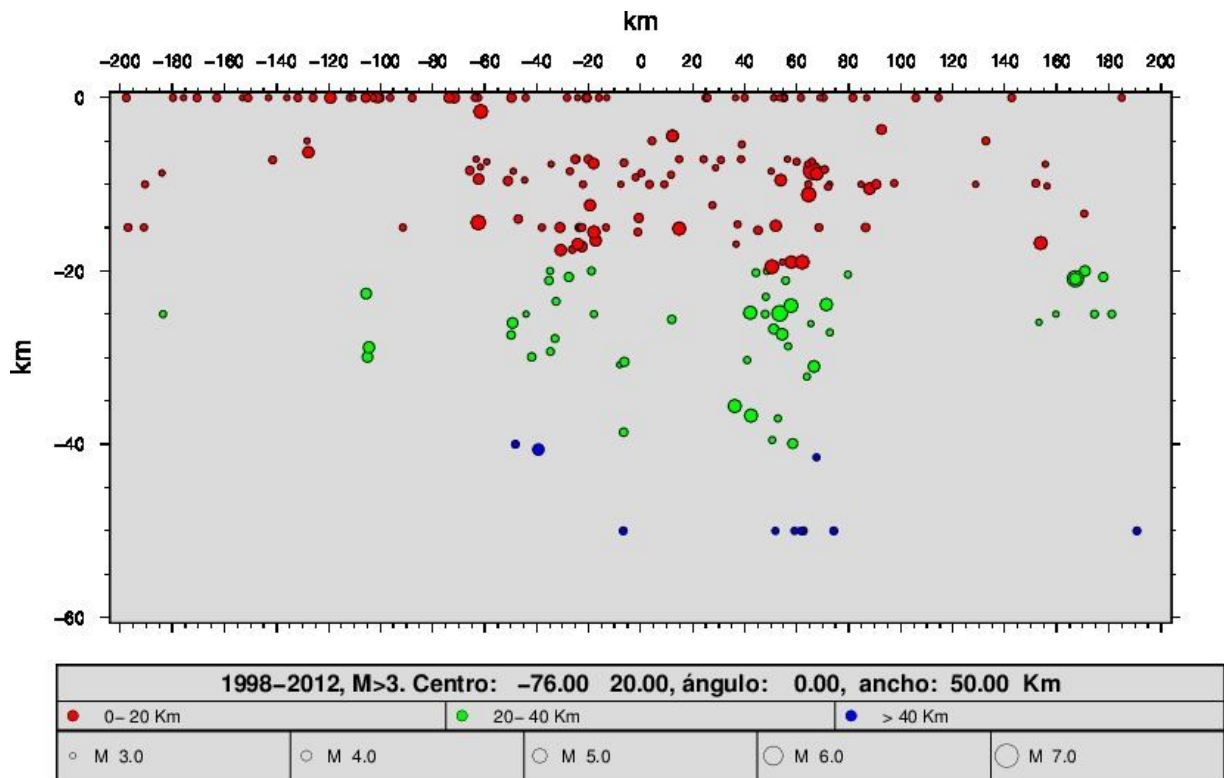


Fig. 6. Perfil de epicentros en profundidad a lo largo de la región oriental de Cuba, El centro está prácticamente bajo la ciudad de Santiago de Cuba. La selección corresponde al período en que se modernizó la red de estaciones

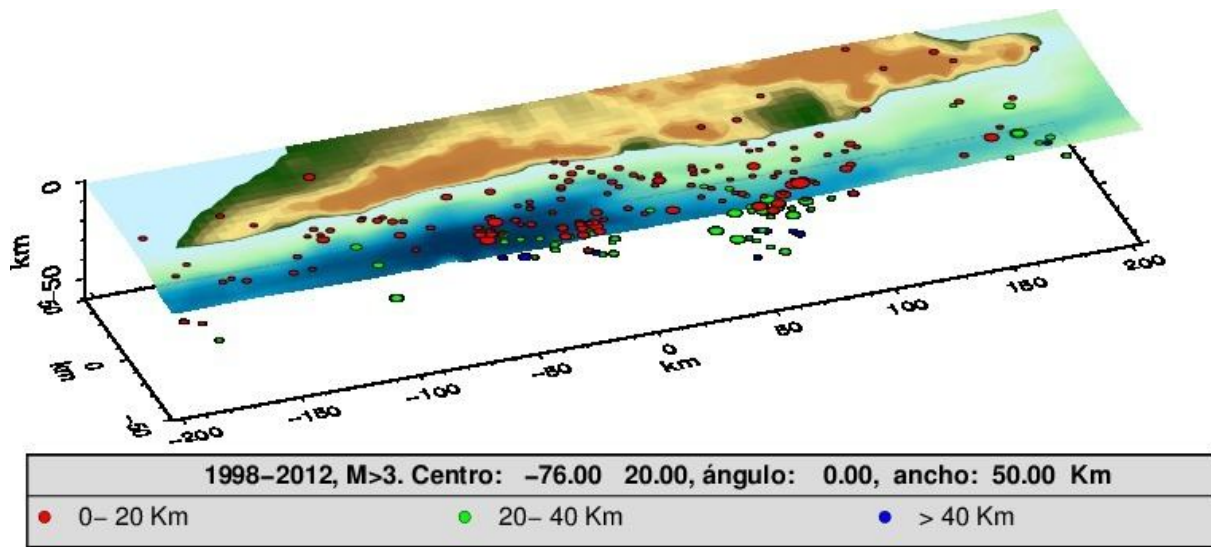


Fig. 7. Representación 3D del mismo perfil, topografía de baja definición. Este tipo de gráfico ayuda a interpretar el perfil de la figura anterior. Se ve que la zona con terremotos más profundos se encuentra en las cercanías de Santiago de Cuba en dirección a Guantánamo. Los epicentros se diferencian en profundidad por colores: rojo - $0 \leq h \leq 20$, verde - $20 < h \leq 40$, azul - $40 < h \leq 60$

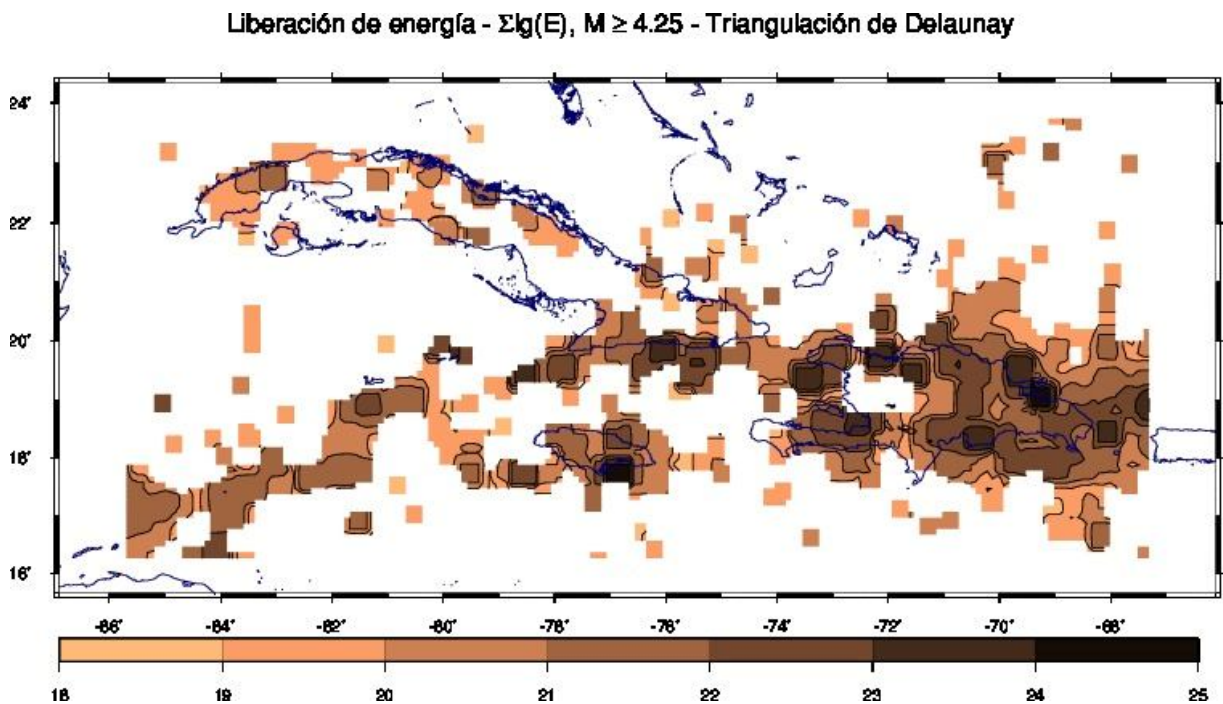


Fig. 8. Liberación de energía para Cuba y regiones aledañas. Los valores están normalizados a 10000 km^2 . Para evitar el efecto puntual que provoca el considerar cada terremoto como su epicentro, los valores ya normalizados se promedian en un área cuadrada deslizando formada por 25 celdas de $(0.1^\circ \times 0.1^\circ)$

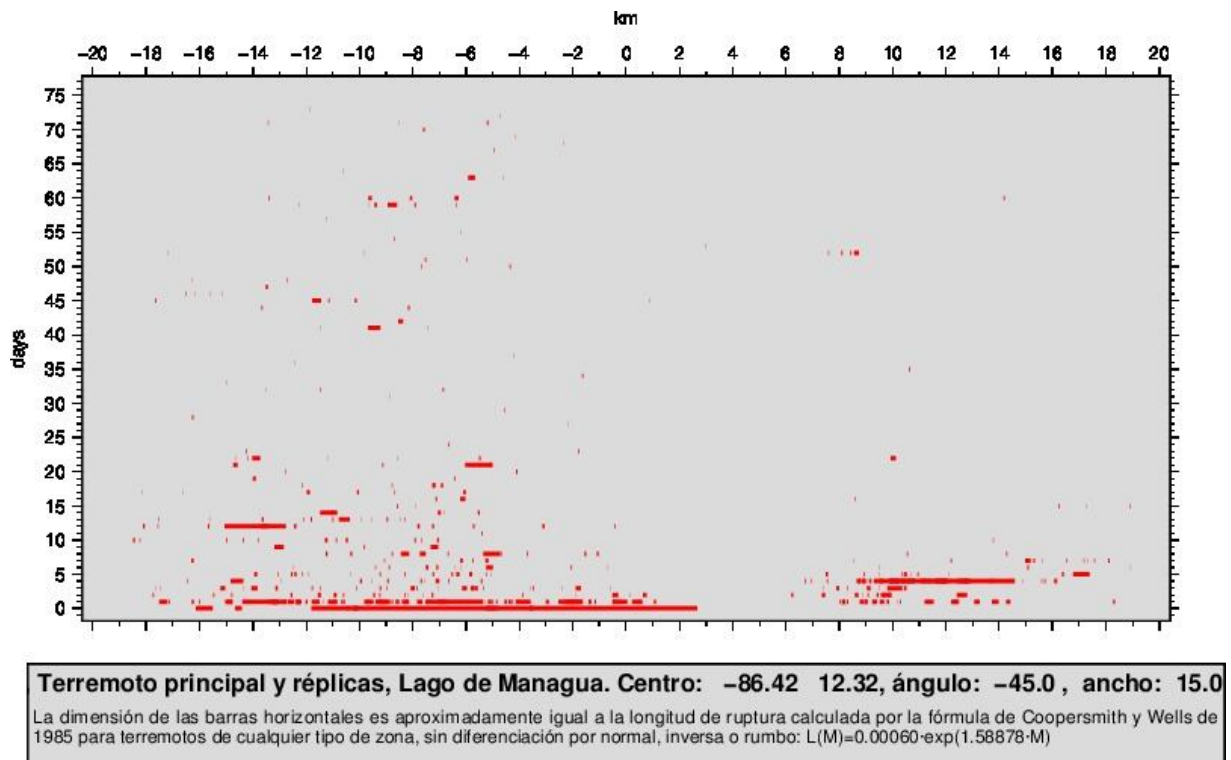


Fig. 9. Gráfico espacio-temporal de la actividad sísmica (Fig. 5) ocurrida en el lago de Managua a partir del terremoto del 10/4/2014 ($M=6.2$). Se notan varios agrupamientos espacio-temporales que permiten describir como fue el proceso. En particular es significativo el agrupamiento a la derecha del gráfico que pudiera ser considerado como un proceso premonitores-terremoto principal-réplicas independiente, pero disparado por el terremoto del 10/4

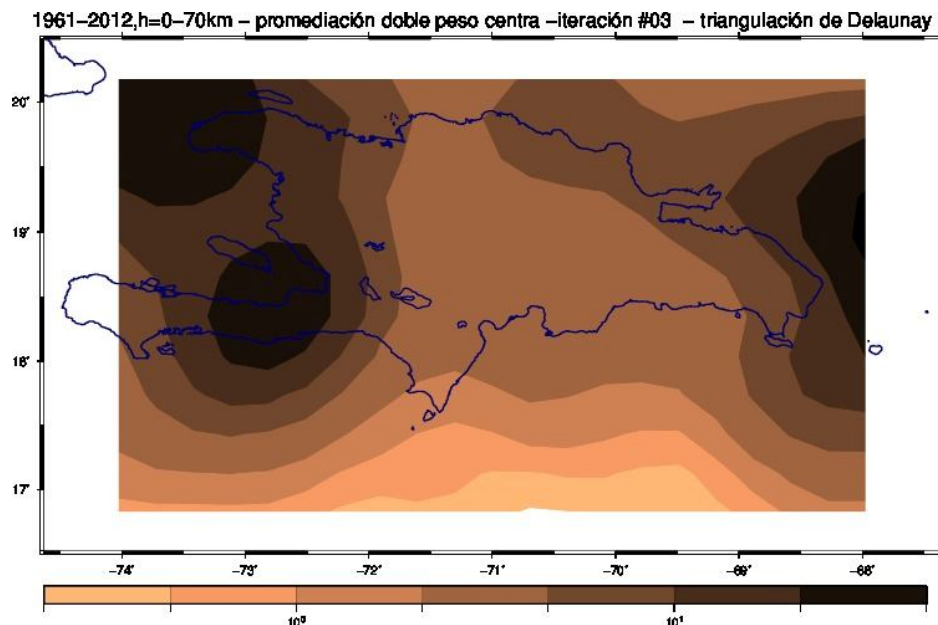


Fig. 10. Densidad de epicentros superficiales en la isla de la Española para el período 1961-2012. Se delimitan las principales zonas fuente, haciendo hincapié en los lugares donde han ocurrido terremotos fuertes. Si se eliminan las réplicas del catálogo puede cambiar significativamente el gráfico

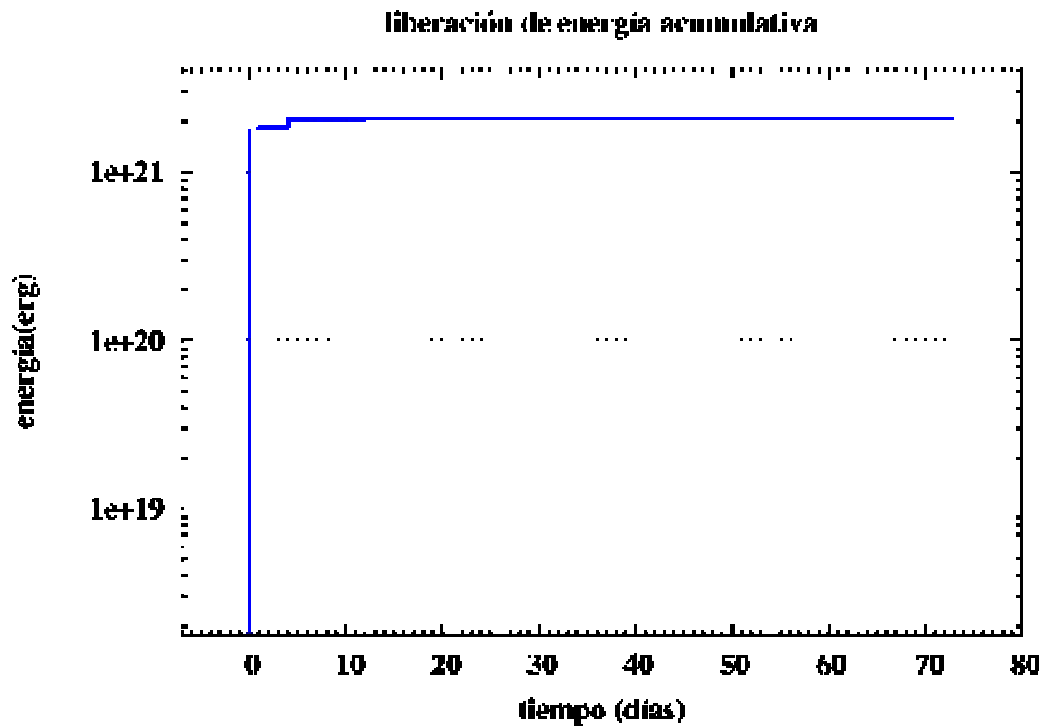


Fig. 11. Liberación de energía acumulativa correspondiente al proceso mostrado en la Fig. 9. Este gráfico muestra un patrón característico de los procesos terremoto-principal-réplicas, cuando no ocurren réplicas muy fuertes

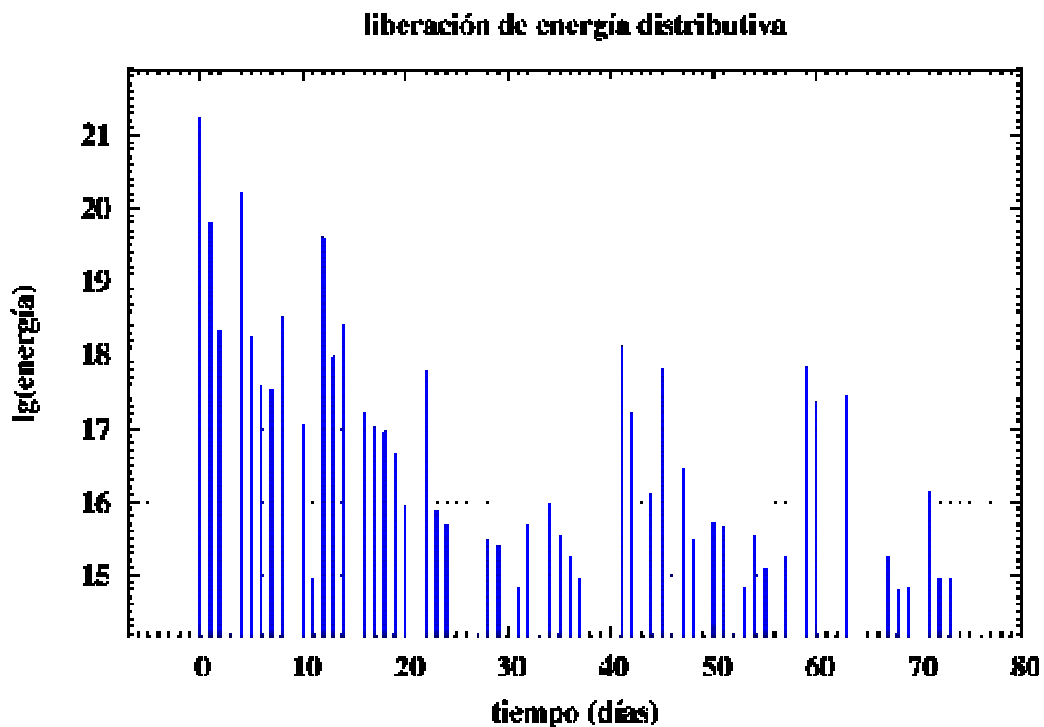


Fig. 12. Liberación diaria de energía correspondiente al proceso mostrado en la Fig. 9. Aquí se ven los diferentes agrupamientos temporales que se evidencian en la Fig. 9. Este gráfico y el anterior cubren el intervalo temporal

en que se espera que ocurran réplicas para un terremoto de $M=6.2$

3.1 Discusión

Como se dijo anteriormente, el sistema sólo ha sido probado en sistema Linux, donde se garantiza un 100 % de funcionalidad. Se supone que en otros sistemas UNIX funcione igualmente con facilidad (incluso en MACOS X). No se garantiza que funcione en Windows, pero no se consideró necesario invertir tiempo preparando una versión para tal SO, pues aunque funciona sobre máquinas individuales, está dirigido fundamentalmente a servidores. Por otra parte la instalación del GMT para Windows resulta trabajosa. De todas formas, este es un proyecto de código abierto, y si alguien está interesado en llevarlo a ese sistema operativo, puede hacerlo. La posibilidad de importar catálogos y mapas base por los usuarios le da una gran funcionalidad al sistema. Por ejemplo, los casos presentados de la actividad sísmica del lago de Managua fueron trabajados con un catálogo importado y un mapa base de topografía de alta definición, también importado.

Comparando este trabajo con otros anteriores se puede señalar que en diferentes servidores de Internet se dan opciones de hacer selecciones de datos de terremotos y representarlos en mapas, que dadas las características que presentan, parecen ser confeccionados con el GMT, y son bastante simples, sin poner topografía o algún campo geofísico como mapa de base. De los casos consultados, solo en uno se ofrece la posibilidad de preparar un mapa personalizado con GMT (Elliot, 2011). Lamentablemente, de esta aplicación solo se puede ver en estos momentos la “planilla” de entrada de datos, pues la aplicación en si (en PHP) no está accesible. Por otra parte, los objetivos del sistema presentado por nosotros difieren de los de ese trabajo, y su alcance es mucho mas amplio. Debe señalarse que no es un programa para funcionar como interfase entre el GMT y el usuario, como lo es por ejemplo el iGMT (Becker y Baum, 2004,), que prepara guiones en “ksh” para construir mapas con GMT; es una herramienta de trabajo sismológico que puede suplir el uso de sistemas de información geográfica en algunos casos y en otros realizar análisis sismológicos no incluidos en ningún programa o sistema de programas de uso habitual en sismología. Su gran ventaja es que funciona con un navegador simple (HTML4 + CGI-Lite) en el servidor y en el cliente solo con el navegador.

Una limitante que se tiene en la actualidad es que no se individualizan los usuarios, por lo que si accede mas de uno a la vez deben surgir complicaciones. Debido al uso relativamente esporádico de este sistema, no se ha trabajado en la solución de dicha limitación, que ya otros sistemas en uso en el CENAIIS (Moreno et al., 2002) la tienen instrumentada.

Conclusiones

El sistema presentado es aplicable para garantizar un análisis estándar de la sismicidad de cualquier región, tanto usando datos globales como locales. Es una herramienta de gran utilidad para el servicio sismológico, pues permite dar una respuesta rápida sin pasar trabajo en la preparación de datos para programas específicos y en la confección de mapas con sistemas de uso trabajoso, sobre todo en momentos en que se está solicitando información que se debe entregar de forma urgente. Puede ser mejorado en el futuro añadiendo otras aplicaciones, así como incluyendo la individualización de usuarios que evite errores al acceder varios a la vez.

Referencias

- Becker, T.W. Y Braun, A., 2004. IGMT: Interactive Mapping of Geoscientific Datasets. *User manual for version 1.2*. <http://op.gfz-potsdam.de/igmt>
- Becker, J. J., Sandwell, D. T., Smith, W. H. F., Braud, J., Binder, B., Depner, J., Fabre, D., Factor, J., Ingalls, S., Kim, S-H., Ladner, R., Marks, K., Nelson, S., Pharaoh, A., Sharman, G., Trimmer, R., VonRosenburg, J., Wallace, G., y Weatherall, P. 2009, Global Bathymetry and Elevation Data at 30 Arc Seconds Resolution: SRTM30_PLUS, *Marine Geodesy*, vol. 32 pp. 355-371
- Elliot, J., 2011. GMT Map Generator, <http://www.earth.ox.ac.uk/~johne/gmtmap/>
- Gundaravam, S., 1996. CGI Programming on the World Wide Web, O'Reilly, 433 pp.
- Gundaravam, S., 1997. CGI::Lite - Process and decode WWW forms and cookies, <http://search.cpan.org>
- GMT 2012. The Generic Mapping Tools data processing and display software package. Versión 4.5.8. Disponible: <http://gmt.soest.hawaii.edu>
- Medvedev, S.V. (edit.) 1968. Regionalización sísmica de la URSS(n ruso). Moscú, Nauka, 466 pp.
- Moreno, B., Ottemöller, L., Havskov J. y Olsen, K. A. 2002. SeisWeb: A client-server-architecture-based interactive processing tool for earthquake analysis, *Seis. Res. Lett.*, vol. 73, pp. 84-89.
- Vega, A. 2003: Aprenda WEB dinámico. La Habana, Editorial Científico-Técnica, 192 pp.
- Wessel, P. y Smith, W.H.F. 1990: New, improved version of Generic Mapping Tools released, *EOS Trans. Amer. Geophys. U.*, vol. 79 (47), pp. 579.
- Williams, R.T. 1995: Lambert and Mercator map projections in geology and geophysics. *Computers & Geosciences*, vol. 21, pp. 353-364.
- Williams, T. y Kelley, C. 2010. gnuplot 4.4, An Interactive Plotting Program, 222 pp. Disponible: <http://sourceforge.net/projects/gnuplot>

Nota: Las referencias a los datos libres en Internet se dan en los propios anexos donde se describen.

Acerca del autor:

José Leonardo Alvarez-Gómez. Licenciado en Física (1972). Doctor en Física (1985). Investigador del Instituto de Geofísica y Astronomía de 1973 a 1991 y del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas desde 1992. Investigador Titular (1985). Asociado regular del Centro Internacional de Física Teórica (ICTP) 1997-2002 y Asociado Titular 2003-2008. <http://users.ictp.it/~leoalvar>

Anexo A

Datos que utiliza el sistema

a) Mecanismos focales

- Catálogo de momentos sísmicos – centroides de la Universidad de Harvard. Usa un formato particular llamado “ndk”. Existen determinaciones definitivas desde 1976 hasta unos 6 meses anteriores a la fecha actual y provisionales hasta unos días antes. Se puede seleccionar uno de ellos o una combinación del primero con un completamiento del segundo. Deben ser actualizados periódicamente desde:

<http://www.globalcmt.org/CMTfiles.html>

- Catálogo de mecanismos focales – tensor de momento – energía de USGS. Conjunto de 3 catálogos que se descargan con algunas opciones de selección, cada uno con un formato diferente. Comienzan en 1977 y terminan unos 2 años antes de la fecha. Es una compilación de varias agencias (fundamentalmente USGS y Harvard). La descarga directa en estos momentos ya no es posible por reorganización en el sitio web del USGS.

- Mecanismos focales – tensores de momento compilados por el ISC; parece ser que es la compilación mas completa. <http://www.isc.ac.uk>

b) Epicentros de terremotos

I) Catálogos primarios:

- Cuba 1502-1995 (publicación del ICTP). Región: 15-24 N, 67-85 W. Catálogo preparado en el marco de investigaciones para amenaza sísmica.
- ISC (de los ISF) 1904-2003 (magnitudes desde 1964). Este es el catálogo clásico del ISC, tomado de uno de los CD en que se distribuye normalmente.
- terremotos fuertes 1900-2007 (Enghdal). Este es el catálogo denominado “centennial”, publicado por primera vez en el “International Handbook of Earthquake Engineering and Seismology”, y actualizado con posterioridad en el USGS. La última versión se descarga de:
<http://earthquake.usgs.gov/research/data/centennial.php>
- relocalizaciones ISC - EHB 1960-2008 (Enghdal). Estas relocalizaciones se publicaron por primera vez en el “International Handbook of Earthquake Engineering and Seismology”, usando un algoritmo denominado EHB, pero el ISC lo adoptó para sus localizaciones de rutina, por lo que se ha continuado extendiendo con los boletines anuales. Se descargan de: <ftp://www.isc.ac.uk/pub/ehb>
- relocalizaciones ISC-GEM 1900-2009 (Storchak). Esto es un proyecto del GEM, la aplicación del algoritmo EHB a todo el catálogo del ISC, con ciertos umbrales de magnitud por época. Trae una determinación única de magnitud M_w para cada terremoto. Es accesible por Internet en el portal del ISC.
- NEIC EHDF 1990-último (Monthly Hypocenter). Es un catálogo del USGS con sus determinaciones finales de epicentros.
- NOAA EQH-PDE 1638-1995 (Earthquake History + PDE). Este es otro de los catálogos que se encuentra en la base de datos del USGS. Se interrumpió en septiembre de 2013. La opción de completamiento en estos momentos para esto caso y el anterior es mediante selección interactiva en la web del NOAA
- ISC Compilación de todos los catálogos preparados por el ISC. Se presenta en 2 variantes: “completo” (con todas las localizaciones realizadas y “revisado” que contiene solo las localizaciones confiables.
<http://www.isc.ac.uk>

II) Combinaciones de catálogos:

- USGS: EQH-PDE 1638-1989 + EHDF 1990-último + PDE (hasta el presente). Esta parece ser la más completa versión que se pueda formar con los datos del USGS. Son determinaciones definitivas hasta unos 2 años antes de la fecha actual, seguido de los PDE hasta el presente, que no son definitivos y no están completos en los últimos 4 meses por lo general. Se debe actualizar periódicamente usando los ficheros mensuales definitivos y los PDE. Los ficheros mensuales se descargan de: <ftp://hazards.cr.usgs.gov/hdf>, y los PDE de <ftp://hazards.cr.usgs.gov/pde>
- ISC: ISF 1904-1959 + EHB 1960-2008. Este sería el catálogo del ISC a que se puede acceder en estos momentos. Incluye la etapa histórica sin magnitudes y la reciente EHB.
- Selección Caribe USGS(1502-1989) + EHDF 1990-último + PDE (hasta el presente), región: 9-26 N, 54.786-88

W. Aquí se usa una selección adicional de terremotos del Caribe más extensa que el EQH-PDE, tomada también de la base de datos del USGS, completada con una selección para la propia región de los boletines mensuales y los PDE.

- CENAI, catálogo para la región ($16^{\circ} - 24^{\circ}$, $-86^{\circ} - -67^{\circ}$) preparado en el marco de un proyecto en ejecución, que contiene todos los datos recopilados en el período 1502-2012
- CENAI, catálogo para la región ($16^{\circ} - 24^{\circ}$, $-86^{\circ} - -67^{\circ}$) mencionado en el punto anterior, del cual se han eliminado las réplicas
- INETER, catálogo 1520-2013. Catálogo de terremotos de Nicaragua.

Cada uno de estos catálogos viene en un formato particular, descrito en la documentación preparada por sus autores. Para ser usados en esta aplicación se convirtieron a formato SEISAN mediante programas simples confeccionados al efecto.

c) Topografía-batimetría y otra información auxiliar

- srtm30 - Topografía-batimetría con paso de 30 segundos de arco desde los 60° Lat. Norte hasta los 56° Lat. Sur. (Sandwell et al. Universidad de California). Son ficheros muy grandes y sólo se usa una subregión para el Caribe. Los ficheros, así como información adicional para su uso con el GMT se descargan de: ftp://topex.ucsd.edu/pub/srtm30_plus/topo30
- topo1 y topo2 - promedios del srtm30 a 1 y 2 minutos de arco preparados por los mismos autores. Se descargan de: ftp://topex.ucsd.edu/pub/srtm30_plus/topo1_topo2
- volcanes - Tomado del Global Volcanism Program (<http://www.volcano.si.edu>)
- puntos calientes y trazado de frontera de placas - Tomados de la instalación del iGMT (Becker y Braun, 2004): <http://geodynamics.usc.edu/~becker/igmt>
- ciudades - base de datos de coordenadas de ciudades importantes. Se han probado diversas, ahora se está usando una selección de la confeccionada por la organización "GeoNames" (<http://www.geonames.org>)
- otros mapas geofísicos - se ha hecho una recopilación de mapas geofísicos globales, disponibles en Internet para descarga libre que incluyen (espesores de corteza y sedimentos, evolución del fondo oceánico, gravimetría, forma del geoide, etc. Un listado de los servidores que mantienen estos datos, aunque no actualizado puede encontrarse en (Becker y Baum, 2004)

Anexo B

Instalación del sistema

a) Los programas base del sistema

- Instalar los programas gfortran, gnuplot, ImageMagic, psutils, perl, ps2eps y GMT. Los primeros vienen en todos los repositorios de Linux. El último no siempre está completo en los repositorios y al menos el Ubuntu instala los programas en forma diferente a la que recomiendan los autores, lo que puede incidir en que no funcione bien en un servidor web. Para este caso concreto es preferible instalar la versión de GMT que dan los autores, compilada desde sus fuentes.
- Instalar el servidor apache2. Asegurarse que están instalados los paquetes que permiten usar perl y cgi. Debe revisarse la configuración del servidor web, la cual se encuentra en alguno de los ficheros incluidos en el directorio /etc/apache2. Normalmente tanto la ubicación del directorio cgi-bin como el de la raíz del servidor se instalan implícitamente dentro del directorio raíz. Los lugares específicos se dan con las variables de configuración "ScriptAlias" y "DocumentRoot". Para que trabaje un servidor web, todas las aplicaciones deben estar accesibles en las direcciones determinadas por esas variables. Esto se hace de 3 formas diferentes: a) copiándolas en tales directorios, b) haciendo enlaces simbólicos a los mismos, c) cambiando los valores de esas variables en los ficheros de configuración del apache. La última es recomendable sólo para expertos, la segunda es de fácil realización, mientras que la primera no resulta conveniente, pues se pierde en caso de una reinstalación del sistema. Es siempre preferible que ambos se encuentren fuera del directorio raíz. Instalar el CGI-Lite que se descarga de <http://search.cpan.org>, aunque para algunas distribuciones de Linux se pueden instalar los binarios a partir de repositorios.

b) El paquete

La parte computacional del sistema contiene 3 ficheros: scripts.zip, programas.zip y datos.zip. Se debe crear un directorio (dentro del directorio raíz del servidor web), donde se pondrán las aplicaciones. En el mismo se descompacta el fichero datos.zip. Debe crear 6 directorios (uno por aplicación), cada uno de los cuales tendrá un directorio “dat” y otro “web” así como la página “.html” de la aplicación. Los catálogos de terremotos se deben poner en el directorio “dat” de “epimap” y en los directorios de las otras aplicaciones (excepto CMT) se ponen enlaces simbólicos a ese directorio (directorios “dat” de “denepi”, “perfilh”, “perfilT” y “libera”). Los catálogos de mecanismos focales se deben poner en el directorio “dat” de CMT. Los ficheros de topografía se pueden poner en el directorio “dat” de “epimap”, o se puede crear un directorio “topografía” y poner enlaces simbólicos a él desde los directorios “dat” de “epimap” y “CMT”. También se deben crear los directorios “tmp” y “grd” en los cuales se coloca un fichero que se usa para actualizar la listas de elementos contenidos en ellos. Una vez realizado esto se deben poner en la página “index.html” del servidor web los enlaces necesarios para acceder a las páginas web de cada una de las aplicaciones y a las de selección e importación de catálogos y mapas geofísicos. Se puede usar una página muy simple que se adjunta en datos.zip.

El fichero scripts.zip debe descompactarse en un directorio de trabajo. Se debe compilar el programa “actualiza.f” como “gfortran actualiza.f systemc.c -o actualiza”, y editar el fichero “actualiza.par” con las direcciones reales de los directorios cgi-bin, de ubicación de las aplicaciones y de instalación del GMT. Al ejecutar este programa se cambian los guiones “.cgi” y “.perl” para que corran en el servidor web particular. Los guiones modificados se copian en el directorio “cgi-bin”.

El fichero programas.zip por comodidad debe copiarse en el directorio “cgi-bin”. Al descompactarse creará un subdirectorio “src”. Debe moverse a ese directorio y ejecutar “sh compila”. Este realizará la compilación de todos los programas poniendo el resultado en el directorio “cgi-bin”, incluyendo el programa “actualiza”. De esa forma se tendrán los ejecutables en ese directorio y los fuentes en el subdirectorio “src” del mismo por si se desea modificarlos.

c) Algo imprescindible

Tanto el directorio “cgi-bin” como los directorios “web” de cada aplicación deben tener permiso de lectura y escritura para “todos”. Es aconsejable usar los comandos :

“chmod -R 777 cgi-bin” y “chmod -R 777 dir_aplicaciones”.

Probablemente ambos deban ser ejecutados como administrador (sudo o su->root). Por supuesto, si no se está en el directorio inmediatamente superior a ellos se debe poner la vía completa.

La ejecución de cualquier programa del GMT escribe en el directorio de trabajo los ficheros “.gmtcommands4” y “.gmtdefaults4”. Si durante la instalación se realizan pruebas con los guiones en “perl”, aparecerán en el directorio cgi-bin estos ficheros, que no podrán ser sobrescritos al ejecutar cualquiera de las aplicaciones desde un cliente web. Si tal es el caso, deben borrarse antes de pasar a ejecutar las aplicaciones desde el cliente. Esto es también válido para cualquier fichero temporal creado por los guiones mencionados.