

3° Encuentro de Jóvenes Investigadores

Título: *Recientes avances en el monitoreo sismológico de la República Argentina.*

Línea temática: *Estudio de la Tierra y el Espacio, Cambios Climáticos y Naturales. Catástrofes Naturales.*

Institución de pertenencia: *Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES)*

INTRODUCCION

Argentina es un país que posee un elevado grado de actividad sísmica, principalmente en la región Centro-oeste y Nor-oeste de su territorio (Figura 1). Este fenómeno natural constituye un riesgo calificado como de alta peligrosidad para las personas, bienes y construcciones realizadas. Los daños que puede provocar un sismo dependerán de la intensidad y la localización del mismo. Por ese motivo, el monitoreo, análisis y determinación de la actividad sísmica en todo el territorio nacional resulta una tarea fundamental para el Estado. En Argentina, el responsable de llevar a cabo esa función es el Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES) con sede en la ciudad de San Juan.

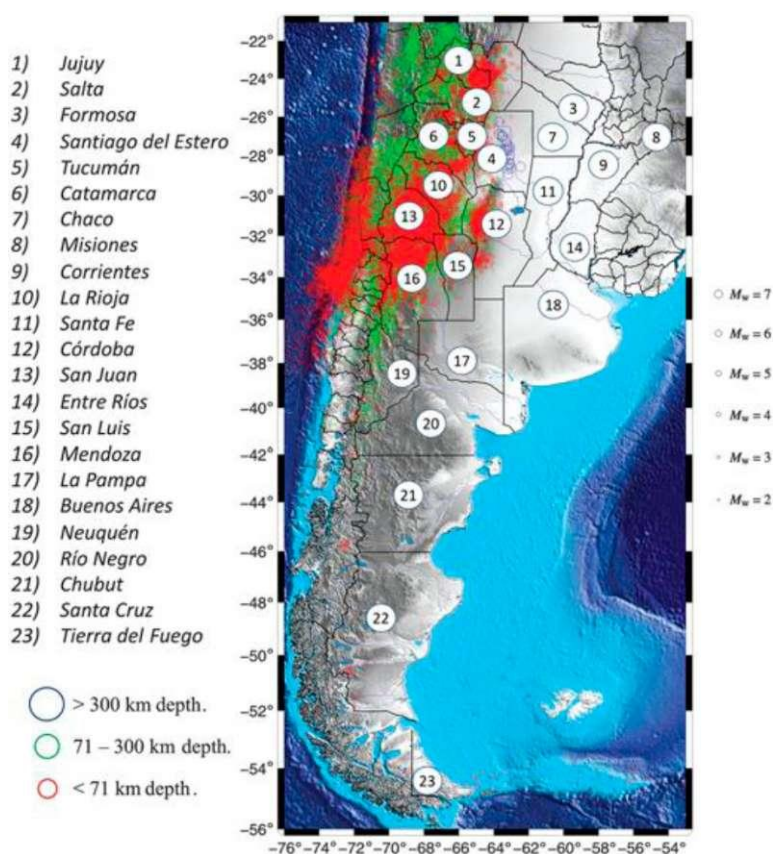


Figura 1: Sismicidad desde 1900 hasta 2012. (Tomado de Havskov, J., 2013)

Uno de los objetivos primordiales del INPRES es el de proveer información confiable en el menor tiempo posible ante la ocurrencia de un sismo. Para su cumplimiento, los sismólogos efectúan el estudio, identificación y localización de sismos a partir de las señales sísmicas enviadas en tiempo real por la Red Nacional

de Estaciones Sismológicas (RNES), compuesta de medio centenar de estaciones repartidas por toda la geografía argentina. En INPRES, estas señales son almacenadas y procesadas por una plataforma de procesamiento sísmico de código abierto denominada EarthWorm.

EarthWorm realiza la función de detección de sismos y asociación de señales provenientes de las distintas estaciones sismológicas que corresponden a un evento determinado. Posteriormente, en forma manual y utilizando la plataforma de análisis sísmico Seisan, los sismólogos procesan cada uno de los sismos detectados, lográndose de esta manera la localización (o determinación de un hipocentro), cálculo de magnitudes y otros parámetros de importancia. Finalmente, los datos son publicados en la página Web www.inpres.gov.ar en forma automática. El proceso detallado es seguro en cuanto a la confiabilidad de los resultados, no siendo necesario volver a realizar controles de calidad sobre los resultados obtenidos, pero introduce demoras propias de un proceso que incluye actividades con intervención manual, que impiden poder informar de los resultados en forma inmediata a la ocurrencia de un evento.

La solución para este tipo de problemas, implementada en diversos centros sismológicos internacionales, consiste en la utilización de Sistemas de procesamiento sísmico con capacidades de realizar Localización Automática. Estas plataformas están enfocadas en la rapidez de la localización y realizan las determinaciones de sismos en escasos minutos sin requerir, en una primera instancia, la intervención manual del sismólogo. Para la implementación de tales sistemas, se deben cumplir al menos los requisitos de calidad y densidad de la red:

- Calidad en la infraestructura de hardware tanto de los Sistemas de Adquisición de Datos (DAS) y de las comunicaciones, las que deben ser en tiempo real.
- Densidad de estaciones que cubren el área geográfica sujeta a monitoreo. Con el objeto de aumentar la densidad de estaciones, se realizaron convenios con institutos sismológicos de Chile, Bolivia, Paraguay y Brasil para el intercambio de señales sísmicas, aumentando con esto la cantidad de estaciones disponibles.

En Enero de 2013 se implementó, a modo de prueba, un sistema de procesamiento con localización automática denominado EarlyBird (desarrollado por: West Coast and Alaska Tsunami Warning Center's -WC/ATWC, dependiente del National Oceanic and Atmospheric Administration's -NOAA-, Departamento de Comercio de

los Estados Unidos). Como era lógico esperar por el problema de la baja densidad de estaciones, los resultados obtenidos han sido dispares y vinculados al tamaño de los sismos, a la cantidad de estaciones que lo detectan y a la zona geográfica donde ocurren.

FUNDAMENTACION Y METODOLOGIA

Si bien el INPRES no es un organismo dedicado a las emergencias, es fuente permanente de consulta de diversos organismos dedicados a emergencia en Argentina, para los cuales es de relevancia la información de todos los eventos de importancia y obtener localizaciones precisas en forma inmediata, con estimaciones de magnitud coherentes, preferiblemente con alguna interpretación de la importancia del evento (intensidad). Entre esos organismos están el Sistema Federal de Emergencias (SIFEM) y el Consejo Federal y Gestión de Riesgos de la República Argentina. Asimismo, el INPRES es objeto de consulta permanente por parte de diversos organismos de protección civil como oficinas municipales, bomberos y policía pertenecientes a distintas provincias argentinas.

Desde el punto de vista científico, las prioridades se centran menos en la notificación rápida, pero si en actividades de apoyo a la investigación, tales como mantener un catálogo de sismicidad actualizado y de alta calidad para la totalidad de los sismos registrados, incluyendo los de baja magnitud, archivos de forma de onda y metadatos relacionados. Para estos fines, la Argentina es signatario del tratado para la prohibición completa de explosiones atómicas CTBT que depende de Naciones Unidas y del cual el INPRES es el organismo nexo de Argentina para temas sismológicos. Desde 2011 es miembro del Centro Sismológico Internacional (ISC por sus siglas en inglés) organismo al que envía periódicamente los catálogos de la sismicidad completa de Argentina, y también es miembro del CERESIS (Centro Regional de Sismología de América del Sur). Considerando lo mencionado, la solución que se plantea será altamente beneficiosa para el monitoreo sísmico en Argentina dado que logrará reducir los tiempos de demora en proveer información confiable, acortando la brecha de tiempo entre la ocurrencia de un sismo y el momento de publicar la información, garantizando la completitud del catalogo y posibilitando que diversos organismos puedan beneficiarse teniendo la información inmediatamente después de la ocurrencia de un evento. Esto genera, en consecuencia, un aporte de relevancia social para una gran parte de la población

argentina que habita zonas con alto grado de peligro sísmico, como también para organismos científicos que requieran información rápidamente.

DESARROLLO

Este trabajo consiste en un software entre EarlyBird y Seisan, que toma las localizaciones de EarlyBird, usando como datos de entrada, un archivo oldquakex.dat y archivos de lecturas .dat (los cuales están detallados en el anexo), dejando estas localizaciones, en la base de datos Seisan, junto con la forma de onda asociada (waveform). Este software se implementa en forma de dos procesos distribuidos: erb2db y db2seisan, sin interfaz grafica de usuario, ejecutándose en el servidor de EarlyBird y en el servidor de Seisan respectivamente. El motivo de elegir procesos distribuidos es que sus componentes deben ejecutarse en EarlyBird y en Seisan, y estas plataformas se corren en servidores diferentes, con diferentes Sistemas Operativos. Por esto, y porque el software debe controlar los estados de desconexión que pudieren ocurrir entre esos servidores, es que los procesos del software son complementarios entre ellos de manera que deben funcionar juntos, pero son independientes ya que si alguno falla por algún motivo (o fallan ambos), el otro componente puede seguir trabajando y, al momento de sincronizarse nuevamente, pueden recuperarse automáticamente desde el último punto seguro de sincronización antes de la falla y proceder a la recuperación.

Para posibilitar ese proceso de sincronismo y recupero, la comunicación entre los dos procesos se hace por intermedio de una base de datos MySQL, utilizando las tablas de la bases de datos para almacenar datos intermedios. Este modelo permite que todas las localizaciones automáticas de EarlyBird estén disponibles inmediatamente en Seisan, y a partir de allí, publicarse aquellas que resulten confiables en términos de calidad. Posterior a la publicación pueden ser revisadas por un sismólogo. Aquellas soluciones que no sean confiables, serán publicadas solo después de haber sido revisadas y/o corregidas por el sismólogo.

Una localización se considera confiable siempre que el sismo tenga un azimut alto (o, lo que es lo mismo, un gap bajo) y que actualmente está configurado a un valor mayor o igual a 180 grados, es decir que este rodeado por las estaciones sísmicas que lo detectaron.

Para el desarrollo de los procesos del software se utilizaron scripts escritos en Lenguaje Perl.

Temporizadores en la localización automática

Se establecen tres temporizadores que gobiernan el comportamiento del modelo presentado. Se define a $t0$ como el tiempo de ocurrencia del sismo, a $t1$ como el tiempo que se espera a EB para que logre una mejor localización posible (recibiendo la máxima cantidad posible de señales) y que será el momento de registrar el s-file (archivo que contiene toda la información relativa a un sismo) en la base de datos Seisan, $t1$ es un incremento en segundos respecto de la hora del sismo $t0$ y no debe ser tan grande como para que el proceso demore mucho tiempo, actualmente en 2 minutos a partir de $t0$ y es configurable. En tanto que $t2$ es un incremento en segundos respecto de la hora del sismo $t0$ y es el tiempo de espera necesario para que se pueda formar y recuperar la forma de onda, y que será el momento también de registrarla en la base de datos de formas de onda de Seisan. Actualmente $t2$ está definido en 5 minutos a partir de $t0$ y es configurable.

A los efectos de la publicación, no es necesario esperar a $t2$ para publicar un sismo ya que cuando se vence $t1$ ya se tienen los resultados iniciales de la localización realizada por EB. Cuando se vence $t2$, el sismólogo tiene a su disposición la forma de onda completa para ese sismo.

Proceso erb2db

Este proceso se ejecuta en el mismo servidor de EarlyBird (SO Windows) y utiliza dos tablas de una base de datos MySQL (*sfiles* y *oldquakes*) para almacenar datos del sismo y para llevar un control de sus tareas. Se encarga de monitorear cualquier cambio en el archivo *oldquakex.dat* (ya sea por la ocurrencia de un nuevo sismo o porque EB en una etapa temprana de un evento ya localizado y conforme va recibiendo nuevas señales sísmicas, proceda a la relocalización con una nueva solución), que cuando ocurre, lo refleja en la tabla *oldquakes* y controla el vencimiento de los temporizadores $t1$ y $t2$. Cuando vence el temporizador $t1$, con la información almacenada en la tabla *oldquakes*, y los datos de picadas del archivo de lecturas *.dat* para ese sismo, genera el s-file y lo almacena en la tabla *sfiles*. En ese momento, también agrega datos de estaciones que por algún motivo no han sido picadas por EB, pero que pertenecen a estaciones cercanas al epicentro, para darle al sismólogo la posibilidad de generar algunas lecturas adicionales en la etapa de

revisión manual. Vencido el temporizador t_2 , registra en la tabla *oldquakes* que ha finalizado su proceso para ese sismo.

Proceso db2seisan

Este proceso se ejecuta en el mismo servidor de Seisan (SO Linux) y sus funciones son para cada sismo, generar el archivo s-file a partir de la información de la tabla *sfiles* y la forma de onda asociada, en ambos casos para registrarlo en la base de datos Seisan y finalizar el proceso automático para ese sismo.

Para realizar esta función lee constantemente todos los registros con el campo *cerrado*=0 en la tabla *oldquakes* (detallada en el anexo). Con los registros (sismos) que cumplan esa condición mantiene un arreglo en memoria y para cada uno de ellos controla si se ha vencido el temporizador t_1 (registros que tengan el campo *pt1*=1), en cuyo caso obtiene la información del s-file de la tabla *sfiles*, lo genera en la base de datos de Seisan y pone el campo *pt1*=2. Paralelamente, también controla si se ha vencido el temporizador t_2 (registros que tengan el campo *pt2*=1), en cuyo caso genera el archivo de forma de onda desde la base de datos continua del servidor EarthWorm, con todas las señales de las estaciones para ese sismo que están indicadas en la tabla *sfiles*, lo registra en la base de datos de formas de onda de seisan, pone *pt2*=2 y *cerrado*=1, con lo que finaliza el proceso automático para ese sismo.

RESULTADOS

De acuerdo al análisis del modelo propuesto con datos reales durante seis meses de ejecución, entre Octubre de 2013 y marzo de 2014, se puede expresar que los resultados han sido satisfactorios, considerándose alcanzado el objetivo primordial propuesto, el cual se refiere a lograr una reducción en las demoras incurridas en el proceso de localización de sismos.

Se pudo analizar que el 30 % de la totalidad de los sismos registrados por INPRES se han localizado y publicado en menos de 4 minutos posterior a su ocurrencia. Esto permitió lograr una mayor capacidad de respuesta ante eventos sísmicos en argentina. Además se logró diseñar e implementar un modelo simple que permite integrar EarlyBird con Seisan, lo que constituye un aporte a todos aquellos organismos sísmicos que tengan necesidades similares a las del INPRES.

Al mismo tiempo, con el aporte realizado por este trabajo se logró reducir el trabajo de rutina del sismólogo, debido a que todos los sismos ya procesados por EarlyBird son pasados a Seisan (catálogo INPRES) con lecturas de fases y con las formas de onda de las estaciones cercanas disponibles, por lo que el sismólogo ya tiene una parte de su trabajo realizado.

DISCUSION O CONSIDERACIONES FINALES

Si bien en este trabajo se plantea que todos los sismos que determina EarlyBird sean incorporados inmediatamente a la base de datos Seisan, es claro que no todos afectaran la reducción de tiempos que se pretende lograr, ya que muchos de esos sismos no pasarán los filtros de calidad para publicación. Por lo tanto a la reducción de tiempos contribuyen únicamente aquellos que se envíen desde EarlyBird a Seisan y que pasen los filtros de publicación, ingresando en forma directa a la página Web.

BIBLIOGRAFIA Y ANEXOS

Bibliografía

Havskov, J., Recio, R., Sanchez, G., Marcuzzi, O.; Moreno, M., Araujo, et. al. (2013) "The Argentinean National Network of Seismic and Strong-Motion Stations". *Seismol. Res. Lett.* Vol 84 N° 5, 729-736.

Havskov, J., and Ottemoller, Lars, (2000). "SEISAN earthquake analysis software". *Seismol. Res. Lett.* 70, 532-534.

Johnson, C. E., A. Bittenbinder, B. Bogaert, L. Dietz, and W. Kohler (1995). "Earthworm: a flexible approach to seismic network processing", *IRIS Newsl.* 14, N° 2, 1-4.

Anexo

El instituto Nacional de Prevención Sísmica

El 15 de enero de 1944, la ciudad de San Juan fue destruida casi en su totalidad por un terremoto que se reconoce como el más catastrófico ocurrido en la República Argentina, con un saldo de aproximadamente 10.000 muertos y ocasionando un enorme impacto en la economía Argentina. Este acontecimiento puso de manifiesto

la imprevisión con que se había actuado hasta entonces frente a la amenaza sísmica, a pesar de sus antecedentes. Consecuentemente, surgió la necesidad de adoptar adecuadas medidas en salvaguardia de la vida y bienes de los habitantes, partiendo de la certeza de que se está frente a un fenómeno natural cuya ocurrencia a través del tiempo, se produce en forma reiterativa, inesperada e inevitable.

Es así como el Gobierno Nacional de aquella época tomó a su cargo la tarea de reconstruir lo devastado por dicho terremoto, para lo cual creó, por Decreto N° 17.432 del 1 de julio de 1944, un organismo autárquico dentro de la órbita del Ministerio del Interior, denominado Consejo Nacional de Construcciones Antisísmicas y de Reconstrucción de San Juan (CONCAR). El 8 de Mayo de 1972 por Ley 19616, el CONCAR se transforma en el Instituto Nacional de Prevención Sísmica. Actualmente depende del Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios, a través de la Secretaría de Obras Públicas. Los objetivos principales y atribuciones conferidas a este organismo se enmarcan dentro de la política nacional de prevención sísmica que establece el Poder Ejecutivo Nacional.

Además de las funciones de monitoreo, análisis y determinación de la actividad sísmica en territorio Argentino, INPRES es además, el organismo facultado para la elaboración del Código de Construcciones Sismo resistentes (INPRES-CRISOC- 103), de carácter obligatorio para todas las obras nacionales que se realicen dentro del territorio argentino. La difusión de sus estudios, investigaciones y conclusiones, se realiza a través de publicaciones técnicas, cursos, conferencias y también son publicados en la página Web oficial.

Archivo oldquakex.dat

En este archivo, cada fila es el dato de la localización de un sismo, los campos están separados por un espacio en blanco. Una fila cualquiera de oldquakex.dat puede ser:

```
1396532840.468545 -21.338425 -66.425106 3.249390 3 1 245 012304 5 8 0.573437  
109.000000 0.000000 0 3.249390 3 0.000000 0 2.372419 2 0.000000 0 1396532876.380000 3
```

En la tabla 1 se muestra el significado de los campos de cada línea de oldquakex.dat. Los campos están separados por el carácter espacio " " y numerando desde cero.

Campo	Significado
0	Fecha y hora del ocurrencia del sismo en formato ephoc (cantidad de segundos desde las 0 horas del 1 de Enero de 1970). Es el valor tomado por t0, mencionado en el desarrollo.
1	Latitud
2	Longitud
6	Profundidad
7	id_old. Identificador que EarlyBird asigna al sismo
9	cantidad de estaciones leídas
11	Azimut
14	magnitud ML
18	magnitud MWP

Tabla 1. Significado de los campos de oldquakex.dat.

Para la descripción anterior, se ha omitido información no relevante para este trabajo, como los campos 3,4,5,7,8,10,12,13,14,15,16 y 17.

Archivo .dat

En este archivo, cuyo nombre está dado por el identificador id_old de la fila relacionada en oldquakex.dat, con el cual tiene vínculo tipo Maestro-Esclavo. Para continuar con el ejemplo anterior (valor del campo 7) el nombre del archivo para las lecturas del sismo sería 12304.dat Un archivo completo tiene el conjunto de lecturas para un solo sismo dado. Una fila del archivo 12304.dat es una lectura de de una estación, por ejemplo la lectura de la estación YJA SHZ RI - para el sismo N° 12304 es:

```
YJA SHZ RI -- 1396532876.380000 eP 64.881328 0.300000 1396532876.980000
34.779646 0.300000 1396532877.680000 0.000000 0.000000 0.000000 1.302590E-
008 3.000000 -0.350937 1 4833 ? 0.000000 0.000000 0.000000 2.261809
```

En la tabla 2 se muestra el significado de los campos relevantes utilizados para el presente trabajo para una fila, considerando que están separados por el carácter espacio " " y numerando desde cero.

Campo	Significado
0	sigla de la estación
1	Componente
2	Identificador de la red sísmica (Para la RNES es RI)
4	fecha y hora del valor de la lectura para esa estación

Tabla 2: Significado de los campos del archivo de lecturas.

Para la descripción anterior, se ha omitido información no relevante para este trabajo.

db2seisan

Monitorea permanentemente la tabla oldquakes de la base de datos mysql. Para cada uno de los sismos que están con el valor de campo cerrado igual a 0.

Siguiendo el ejemplo del sismo 12304, controla el campo pt1, cuando ese campo tiene valor =1 (es decir que se ha vencido), toma de la tabla sfiles el campo fila y genera el s-file respectivo en seisan con el nombre físico de archivo indicado en el campo Nombre. Si el proceso fue completado sin errores, pone pt1=2 para indicar que el s-file respectivo ya está en Seisan. En la figura siguiente se observa el estado

id_old	Línea	t0	t1	t2	pt1	pt2	Cerrado
12304	1396532840.468545 - 21.338425 -66.425106 3.249390 3 1 245 012304 5 8 0.573437 109.000000 0.000000 0 3.249390 3 0.000000 0 2.372419 2 0.000000 0	2014-04- 03 13:47:25	2014-04- 03 13:49:25	2014-04- 03 13:53:25	2	1	0

1396532876.380000 3

Cuando db2seisan detecta que pt2=1 (ya se venció el momento de generar la forma de onda) procede a extraer la forma de onda, y registrar esa forma de onda en la base de datos seisan de formas de ondas. Si el proceso fue completado sin errores, pone pt2=2 para indicar que la forma de onda asociada al s-file registrado en el momento t1, ya está en Seisan y cerrado=1 para finalizar el proceso automático de ese sismo. En la siguiente figura se observa el estado final para el sismo 12304.

id_old	Línea	t0	t1	t2	pt1	pt2	Cerrado
12304	1396532840.468545 - 21.338425 -66.425106 3.249390 3 1 245 012304 5 8 0.573437 109.000000 0.000000 0 3.249390 3 0.000000 0 2.372419 2 0.000000 0 1396532876.380000 3	2014-04- 03 13:47:25	2014-04- 03 13:49:25	2014-04- 03 13:53:25	2	2	1

Si en el tiempo t1, el sismo pasa los filtros de publicación, se encuentra también en la página Web oficial. Este es el fin de ese proceso, de ahora en más el sismo puede ser modificado eventualmente por un sismólogo en forma manual.