

## **APLICACIONES DE TELEDETECCIÓN EN EL SEGUIMIENTO DEL PELIGRO SÍSMICO**

por:  
Patricio Zavala Ortíz

Recibido el 10 de marzo de 2004  
Aprobado el 07 de junio de 2004

## **APLICACIONES DE TELEDETECCIÓN EN EL SEGUIMIENTO DEL PELIGRO SÍSMICO**

**Dr. Patricio Zavala Ortiz**

Departamento de Antropología, Geografía e Historia,  
Universidad de Tarapacá,  
18 de Septiembre N°2222, Arica-Chile  
e-mail: pzavala@uta.cl

### **RESUMEN**

El presente artículo, resume algunos de los aportes de la Teledetección en el área del seguimiento de los efectos de un sismo. Para ello, se revisan algunos estudios desarrollados con imágenes ópticas, y se desarrolla una breve reseña de la evolución de las aplicaciones de la interferometría diferencial de radar en esta área temática.

### **ABSTRACT**

The present paper, seek to summarize the contributions of the Remote Sensing in the monitoring of the effects of a seismic event. For this reason, some studies developed with optic images are revised, and a brief review of the evolution of the applications of interferometry in this thematic area, is carried out.

**Palabras clave:** *Interferometría, imagen óptica, clasificación.*

### **INTRODUCCION**

Si bien, tal cual lo hemos manifestado en artículos anteriores (Zavala, Chuvieco: 2000; Zavala, 2002; Zavala, Chuvieco: 2003), nuestra línea de estudio se orienta principalmente al análisis espacial de la vulnerabilidad sísmica, en el intento de comprender la dinámica del riesgo sísmico, en el presente artículo hemos creído pertinente revisar

algunas de las principales aplicaciones de Teledetección en el área del peligro sísmico, que se han desarrollado, fundamentalmente, en la evaluación de daños, mediante imágenes ópticas, y en la identificación de los movimientos de suelo derivados de estos fenómenos, a través de imágenes obtenidas por radares de apertura sintética (SAR).

Según Walters (1991) un aspecto importante en términos de aplicación de tecnología espacial en el área sísmica, involucra especialmente a la evaluación del daño ocurrido durante el desastre, así como en la identificación de rutas de escape y localización de albergues (áreas de resguardo). De esta forma, las aplicaciones desarrolladas en el área del peligro sísmico se han orientado, principalmente, a la evaluación de daños, mediante complejos algoritmos que persiguen la comprensión del post-evento, a partir de las técnicas de detección de cambios, aplicadas fundamentalmente en imágenes continuas, donde es factible utilizar técnicas cuantitativas.

Debido al carácter que tienen las imágenes ópticas, que las diferencian desde el punto de vista espectral de aquellas obtenidas por radar, y por lo tanto originan tratamientos digitales distintos, hemos creído pertinente abordar sus distintas aplicaciones a partir de esta clasificación, que pensamos típica de manera eficiente el potencial de ellas en el área temática señalada.

### **Aplicaciones de imágenes ópticas**

Desde la ocurrencia del huracán *Camille* en 1969, las imágenes obtenidas por sensores localizados a bordo de satélites, han visto aumentar su uso para investigar los riesgos naturales. Esfuerzos como el *Hazus GIS and Quakes* y el Programa *RADATT (Rapid Damage Assesment Telematic Tool)* son reflejo de lo recién señalado.

El primero, desarrollado por el *Western Disaster Center* en conjunto con *NASA*, la Agencia Federal

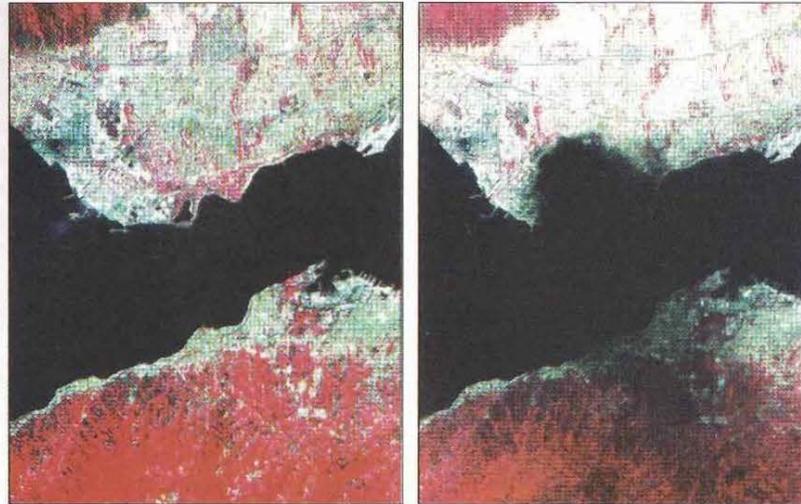
para el Manejo de Emergencias de los Estados Unidos (*FEMA*), y el Instituto Nacional de Ciencias de la Edificación (*NIBS*), es una propuesta metodológica para la estimación de las pérdidas generadas por un desastre de origen sísmico, fundamentada en información derivada de imágenes de alta resolución (entre las que destacan las imágenes desclasificadas del satélite militar Corona) y análisis espacial mediante un sistema de información geográfica (S.I.G.). Con tal objeto, los municipios de las zonas de los Estados Unidos que presentan una alta peligrosidad, entendida ésta como la probabilidad de ocurrencia de un evento sísmico con características desastrosas, formaron una red para la estimación de las pérdidas por terremotos, basada en un sistema de información geográfica, que se sustenta en la actualización permanente de inventarios relativos a características de los edificios, calles y carreteras, datos demográficos y económicos, obtenidos de distintas fuentes, entre las que destacan los sensores remotos.

El segundo trabajo fue desarrollado por Gamba y Casciati (1998), quienes crearon este proyecto financiado por la Comisión Europea, cuyo objetivo es la reducción de los efectos de eventos sísmicos, de cara a lograr una rápida y confiable detección de daños y la extensión del área sujeta a peligro. Los resultados son alcanzados mediante la integración en una única interfase, de acceso de datos y estandarización técnica, herramientas de procesamiento de imágenes, y tecnología SIG. Ha sido concebido en dos etapas: en el pre-evento, las imágenes y datos relativos a edificios e infraestructura son analizados aprovechando las capacidades de los SIG y procesadores de imágenes. En este caso se trabaja con imágenes de los satélites *Landsat* y *Spot* en modo Pancromático. En el post-evento, luego de la ocurrencia del terremoto, el sistema está preparado para recibir imágenes de la zona afectada en tiempo real.

Dentro de los numerosos trabajos en que se han aplicado imágenes ópticas al estudio de los efectos de un sismo, destaca el de Matzuoka y Yamazaki, quienes en 1999 realizaron un estudio en la ciudad de Kobe, Japón, para evaluar los efectos del terremoto que afectó a esta ciudad el año 1995. Su objetivo era establecer el efecto que había tenido el sismo sobre las construcciones. Para ello, se valieron del análisis de imágenes ópticas (*Landsat TM*) y de radar (*JERS* y *ERS*), captadas antes y después de la ocurrencia del terremoto.

Los resultados fueron analizados espacialmente con un sistema de información geográfica (S.I.G.), con el que se pudo cuantificar la superficie impactada, así como las áreas en que las construcciones presentaban una mayor vulnerabilidad.

En este mismo sentido, autores como Kockelman, 1983; Bischof, 1992; Jensen, 1994; Maskrey, 1997, han desarrollado modelos que persiguen evaluar el impacto de eventos naturales desastrosos sobre las zonas pobladas. Todo ello, basado en la posibilidad de obtener imágenes sucesivas que brindan los satélites de investigación, en las cuales se puede comparar una zona afectada antes y después de la ocurrencia de un sismo de proporciones, tal y como se demuestra en la siguiente figura, que corresponde a dos imágenes de la zona de Ismit, Turquía, de los días 9 de julio y 20 de agosto de 1999, captadas por el satélite francés *Spot 4*. Como es sabido, el 17 de agosto del mismo año, la zona noroeste de Turquía fue impactada por un sismo de 7.4 grados de magnitud (Richter), cuyos daños se pueden apreciar en alguna medida en estas imágenes, donde tres días después de haber ocurrido el terremoto, la ciudad presentaba sectores de hundimiento en la zona costera, y se encontraba aun parcialmente cubierta por el humo producido por los incendios de su refinería.



**Figura 1** Imágenes captadas con anterioridad y posterioridad al terremoto de Turquía del año 1999 (Fuente: *Imaging Notes*).

Para Jayaraman y Chandrasekhar (1997) la tecnología espacial puede y debe estar presente en todas las etapas de gestión de un riesgo geológico, apoyando en la disminución del riesgo potencial, en el desarrollo de estrategias de respuesta temprana, en la movilización de recursos tales como servicios de comunicación y de telemedicina, y en la rehabilitación y reconstrucción post-desastre. Según su planteamiento, los satélites de observación terrestre proveen el soporte básico en tareas tales como programas de preparación pre-desastre, respuesta de desastre y seguimiento, así como en reconstrucción post-desastre.

#### **Aplicaciones de imágenes de Radar**

Otra línea de investigación que está siendo desarrollada en el área del peligro sísmico, se orienta a extraer información relevante del radar de apertura sintética (*SAR*), y, en concreto, comienzan a ocupar un lugar destacado las técnicas de interferometría diferencial, que se están aplicando para identificar movimientos derivados de la manifestación de un sismo.

Las técnicas de interferometría fueron estudiadas por primera vez en la década de los sesenta, por autores como Gabor (1965) y Haines (1967). El año 1974 Graham aplicó esta técnica en la generación de mapas topográficos, demostrando que la interferometría de radar de apertura sintética podía ser una técnica apropiada para la confección de modelos digitales de terreno. Este trabajo fue continuado por autores más recientes como Prati (1989), Li (1990), Massonnet y Rabaute (1993), Ishikawa (1994), y Stevens (1994).

Massonnet y Zebker el año 1986 propusieron el uso de esta técnica para medir pequeños cambios de elevación que inducen a variaciones en los patrones ópticos, y que denominaron desplazamientos. Básicamente, se trata de observar la diferencia entre la localización de los puntos de una superficie, con una precisión igual a una fracción de la longitud de onda utilizada, la que se basa en tres imágenes de radar (*SAR*) de la misma zona, obtenidas en fechas sucesivas. El objetivo es confeccionar dos modelos digitales de terreno, que permitan apreciar desplazamientos del suelo (Zebker, 1986).

A principios de los noventa aparecen los trabajos de interferometría de radares aerotransportados de Gray y Farris-Manning (1993), y de Stevens (1994), apoyados por el *Canada Center for Remote Sensing (CCRS)*. De forma paralela en Japón se realizaban estudios similares, dentro de los que destacan los trabajos de Ishikawa (1994). Los resultados de estas investigaciones fueron evaluados mediante imágenes de radar del satélite *SEASAT* (banda L) en *Death Valley*, California el año 1995.

Massonnet y Rabaut (1993, 1994) con el apoyo de *CNES* de Francia, aplicaron esta técnica para estimar los desplazamientos de terreno causados por el terremoto de California del año 1992, por lo que se utilizaron imágenes del satélite *ERS-1* obtenidas antes y después de ocurrido el sismo. Se logró estudiar una región de 125 x 275 kilómetros, estableciendo su campo de desplazamiento, con una frecuencia de muestreo espacial de 100 x 100 mts<sup>2</sup>, y con una precisión de 9 milímetros.

Así, mediante la interferometría diferencial es posible obtener un mapa de desplazamientos del terreno, lo que depende principalmente de la topografía del área, que se manifiesta en distintos grados de rugosidad.

El hecho de que las aplicaciones de interferometría de radar en el área sísmica avancen tan rápidamente, se debe a la extensa superficie que cubren estas imágenes (100 x 100 kms<sup>2</sup>) y a la exactitud geográfica que permiten alcanzar. Sin embargo, es importante considerar aspectos como la precisión y la resolución temporal de las imágenes, que no siempre son las óptimas. Al respecto, Inggs y Lord (2003), realizaron un estudio de los requerimientos necesarios para la medición de deformaciones originadas por sismos, lo que queda reflejado en la siguiente tabla.

**Tabla 1** Requerimientos para medir deformación de la superficie

	Mínimo	Meta
Exactitud de desplazamiento	25 mm	5 mm
Exactitud de desplazamiento 3D	50 mm	10 mm
Ritmo de desplazamiento	2 mm/año	1 mm/año
Accesibilidad temporal	1 día	2 horas
Resolución espacial	50-100 mt	3 - 30 mt
Exactitud de puntos	25 mt	3 mt

Fuente: adaptada de Inggs y Lord (2003)

Como puede apreciarse, aun existe, según estos autores, una brecha entre la meta óptima para este tipo de aplicaciones y lo que se puede lograr con la tecnología disponible. Sin embargo, esto se ve minimizado, ante la gran precisión de la información generada, aun con estas aparentes falencias. Al respecto en el Centro *Goddard de Nasa*, se lograron medir los desplazamientos originados por el terremoto de Hector Mine, ocurrido en California el 16 de octubre de 1999, combinando dos imágenes de radar del satélite *ERS 2 (ESA)* de los días 15 de septiembre y 20 de octubre. La imagen resultante, y que se presenta en la figura 2, refleja el complejo patrón de desplazamiento originado por este sismo de 7,1 grados de magnitud.



**Figura 2** Desplazamientos producidos por el terremoto de Hector Mine. Fuente: *Imaging Notes*.

## CONCLUSIÓN

Como señalamos, en artículos anteriores hemos destacado aquellas técnicas de Teledetección que permiten generar información útil para el análisis espacial de la vulnerabilidad sísmica, en la búsqueda de la comprensión del riesgo sísmico. En este sentido, debemos señalar que hemos definido riesgo natural, como el producto de vulnerabilidad y peligro natural (Zavala, Chuvieco: 2000).

Desde esta perspectiva, los avances alcanzados por la tecnología espacial en el área del riesgo sísmico, algunos de los cuales hemos presentado con fines estrictamente pedagógicos, permiten proyectar un avance cualitativo en la búsqueda de modelar la presencia de los probables efectos de un sismo en un centro poblado, pues ante la imposibilidad de predecir el momento de ocurrencia de un evento de esta naturaleza, estimamos que los esfuerzos deben orientarse a pronosticar a establecer cómo debiese afectar un sismo a un centro poblado, para lo cual la información obtenida por sensores remotos ocupa un lugar cada vez más privilegiado.

## BIBLIOGRAFIA

- Bischof, K. (1992)** Multispectral classification of Landsat images using Neural Networks. En: IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. Vol. 30, N° 3.
- Gabor, D. (1965)** Optical image synthesis (Complex amplitude addition and subtraction) by holographic Fourier transform. Physics Letter N°18, 116-118.
- Gamba, P.; Casciatti, F. (1998).** GIS and image understanding for near real time earthquake damage assessment. En: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 64 (10): 987-994.
- Graham, L. (1974).** Synthetic Interferometer for Topographic Mapping. En: Proceedings, IEEE, 62: 763-768.
- Gray, A. L.; Farris-Manning, P.J. (1993).** Repeat-Pass Interferometry with Airborne Synthetic Aperture Radar. IEEE-TGRS. N° 31, 180-191.
- Haines, K.A. (1967)** Multiple wavelength and multiple source holography applied to contour generation. Journal Optical Society of America N° 57, 155-162.
- Inggs, M; Lord, R. (2003)** Applications of Satellite Imaging Radar. University of Cape Town. South Africa.
- Ishikawa, Y. (1994)** Measurement of Topography Used by Synthetic Aperture Radar at Mt. Unzen, Japan. Proceedings, The First Workshop on SAR Interferometry. Tokyo, 17-24.
- Jayaraman, V.; Chandrasekhar, M. (1997)** Managing the natural disasters from space technology inputs. Acta Astronautica. Vol 40,2-8:291-325.
- Jensen, J. (1994)** Improved urban infrastructure mapping and forecasting for BellSouth using Remote Sensing and GIS technology. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. American Society for Photogrammetric and Remote Sensing. Volumen LX, N' 3.
- Kockelman, W.J. (1983)** Examples of use of geologic and seismological information for earthquakes hazards reduction in Southern California. U.S. En: Geological Survey Report 82-83. Virginia, U.S.A.
- Li, B. (1990)** Application of Remote Sensing Techniques for the Seismo-Tectonic Study of Nahanni Earthquake Area, Northwest Territory, Canada. University of Manitoba, Winnipeg, 213 páginas.

**Maskrey, A. (1997).** Early Warning Programme Report on National and Local Capabilities for Early Warning. IDNDR. Geneva, Italia.

**Massonnet, D.; Rabaute, T. (1993).** The displacement field of the Landers earthquake mapped by radar interferometry. *Nature* N°364, 138-142.

**Massonnet, D.; Rabaute, T. (1993).** Radar Interferometry: Limits and Potential. En: *IEEE-TGRS*, 31, 455:464.

**Massonnet, D.; Zebker, A. (1986).** The displacement field of the Landers earthquakes mapped by Radar Interferometry. *International Astronautical Federation*. Washington. 325 páginas.

**Matsuoka, M. ; Yamazaki, F. (1999).** Characteristics of satellite images of damaged areas due to the 1995 Kobe earthquakes. *Earthquake Disaster Mitigation Research Center*. Hyogo. 225 páginas.

**Prati, C. (1989)** Effects of Speckle and Additive Noise of the Altimetric Resolution of Interferometric SAR survey. *Proceedings IGARSS*, p.p.2469-2472

**Stevens, D. R. (1994)** Motion Compensation for Airborne Interferometric SAR," *Proceeding of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. Pasadena, California.

**Walters, L. (1991).** The role of space technology in disaster mitigation. *United Nations/ UNDR0*. Beijing. 230 páginas.

**Zavala, P.; Chuvieco, E. (2000)** Análisis de la vulnerabilidad sísmica mediante teledetección y S.I.G. *Publicación SELPER Internacional*.

**Zavala, P.; Zavala, C. (2001)** Estimación de la altura de las construcciones como variable de

vulnerabilidad sísmica: propuesta metodológica mediante imágenes satelitales de alta resolución. *Revista Facultad de Ingeniería*, Volumen 10, pp. 35 a 43. *Universidad de Tarapacá*. Chile

**Zavala, P.; Chuvieco, E. (2003)** Analysis of the seismic vulnerability, applying remote sensing and GIS. *International Journal of disaster management*. Vol. 1, No. 4, pp.319-331.

**Zebker, T. (1986).** Topographic mapping from interferometric SAR observations. *Journal of Geophysics*. Vol. 91, N° 5.