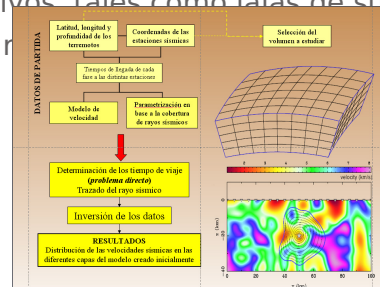


## Tomografía Sísmica

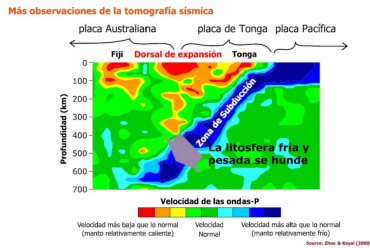
- **Módulo:** Geofísica
- **Créditos:** 5
- **Profesores:** Inmaculada Serrano Bermejo, Antonio Villaseñor Hidalgo
- **Guía docente (PDF)**

## Contenidos

Gran parte del conocimiento que poseemos de la estructura interna de la Tierra ha sido proporcionado mediante el análisis de las Ondas Sísmicas. La estructura de los materiales que conforman nuestro planeta es reflejada en el campo de ondas que se propaga en su interior al ocurrir un terremoto o al generarse un campo de ondas mediante una fuente artificial. Las imágenes tridimensionales, obtenidas mediante la inversión de los tiempos de llegada de las ondas sísmicas, han contribuido de forma espectacular a un mayor conocimiento de las propiedades y composición de los materiales que constituyen la corteza, manto y núcleo terrestres, así como a la determinación precisa de anomalías ó discontinuidades a escala local y global. El objetivo de este curso es mostrar a los alumnos el alcance de las técnicas de inversión y como en la actualidad es posible obtener imágenes directas de numerosos procesos geodinámicos activos, tales como laias de subducción, arcos magmáticos, puntos calientes y deshidratación de las litas. El curso

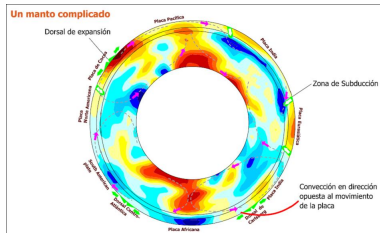


consta de dos partes, teoría y práctica.



## Teoría

1. Introducción. Modelos de velocidad sísmica. Teoría y métodos del trazado del rayo sísmico. Problema inverso y algoritmos de inversión.
2. Métodos de estimación de la resolución. Diferentes tipos de tests sintéticos.
3. Relación entre las propiedades y el comportamiento de las rocas y la velocidad sísmica.
4. Imágenes sísmicas obtenidas a partir de la inversión de tiempos de llegada de terremotos locales, regionales y telesísmos.
5. Imágenes de alta resolución: obtención del coeficiente de Poisson y porosidad. Densidad de fracturación y razón de saturación en regiones sísmicamente activas. Relación entre velocidad sísmica y parámetro b. Heterogeneidades estructurales de la corteza: asperezas. Estado de esfuerzos y velocidad sísmica. Existencia de fluidos como origen de los terremotos.
6. Inversión de Ondas Superficiales.
7. Tomografía de Atenuación en regiones volcánicas ó intensamente fracturadas.
8. Imágenes sísmicas, modelización gravimétrica y flujo térmico. Velocidad sísmica, magnetismo, conductividad eléctrica y detección de fluidos.
9. Tomografía global: Lajas de subducción y arcos magmáticos, origen de los puntos calientes, deshidratación a grandes profundidades. Estructura y dinámica de las grandes discontinuidades terrestres.
10. Imágenes sísmicas en la Península Ibérica y la Cadena Alpina.



## Prácticas

1. La primera práctica consistirá en una visita a las instalaciones del Instituto Andaluz de Geofísica, donde un técnico especialista explicará a los alumnos el proceso de adquisición de datos sísmicos registrados por la Red Sísmica de Andalucía.
2. En la segunda práctica los alumnos deberán aprender a diseñar la geometría de una red sísmica mediante la instalación de un conjunto de sensores que la simulen. Para ello se utilizarán estaciones sísmicas, con alimentación mediante baterías, GPS, sistema de almacenamiento de datos y router wifi emisor para comunicar con las dependencias del Instituto donde está instalado el router receptor. El registro de las señales sísmicas y su correcto funcionamiento se podrá observar en un ordenador portátil destinado a ese fin y conectado al Sistema de Adquisición de Datos.
3. La tercera práctica se desarrollará en el aula de Informática del Instituto andaluz de Geofísica, donde los alumnos aprenderán el mecanismo del procesado de la señal, mediante programas de localización de terremotos, que les permitirán vislumbrar los “residuos de tiempos de viaje” utilizados en la inversión para la obtención de las imágenes sísmicas. En esta práctica el alumno “picará” las fases P y S de terremotos locales, calculará la magnitud y será capaz de obtener los parámetros hipocentrales de los eventos. Posteriormente, mediante el programa SES2002 (Simulación de Escenarios sísmicos, IGN) será capaz de simular los efectos que producirían los terremotos localizados en el entorno próximo (número de viviendas afectadas, número de heridos, etc.)



## Evaluación y calificación

En la evaluación se tendrá en cuenta la participación activa de los estudiantes en las clases teóricas, y sobre todo en el desarrollo de las clases prácticas en el aula de informática. Al principio del curso se le asignará a cada alumno un trabajo de investigación individual, consistente en un artículo científico en inglés. En principio la elección del trabajo será por parte del alumno, entre una serie de artículos seleccionados por el profesor de acuerdo con su perfil científico-profesional.

La misión del alumno será leer, comprender y asimilar el contenido de dicho artículo y posteriormente enriquecer su contenido con informaciones de tipo geofísico, externas al artículo asignado. Esta búsqueda de información se hará siempre bajo la tutela del profesor. El examen final consistirá en la exposición en clase del contenido del trabajo global. La calificación final tendrá en cuenta el grado de entendimiento alcanzado en el trabajo asignado inicialmente, y el desarrollo y enriquecimiento del tema.

## Bibliografía básica

Los alumnos dispondrán, desde el inicio del curso, del material gráfico utilizado por el profesor, de un resumen de la bibliografía esencial, así como de los vínculos de páginas web donde pueden encontrar material relacionado con cada tema. Además, existirá una comunicación continua con el profesor, a través del correo electrónico, especialmente en el periodo de desarrollo de sus trabajos individuales. Los alumnos dispondrán de un aula de informática, ubicada en el Instituto Andaluz de Geofísica, donde podrá acceder a los diferentes recursos utilizados durante el curso (material para prácticas, referencias bibliográficas y demás material de apoyo). Así mismo, estará a su disposición la base de datos de terremotos locales utilizada en el desarrollo de las prácticas, la cual pueden consultar libremente, lo cual se considera importante para el desarrollo de sus trabajos individuales.

- Ondas superficiales
  - Badal, J., Corchete, V., Payo, G., Pujades, L. and Canas, J.A., 1996. Imaging of shear wave velocity structure beneath Iberia, *Geophys. J. Int.*,

124, 591-611.

- Chen Y., Hu, J. and Badal, J., 2006. Surface wave group velocity tomography of the Qinghai-Tibet Plateau, *Geophys. J. Int.* (submitted).
- Corchete, V., Badal, J., Serón, F.J. and Soria, A., 1995. Tomographic images of the Iberian subcrustal lithosphere and asthenosphere, *J. Geophys. Res.*, 100, 24133-24146.
- Martínez, M.D., Lana, X., Canas, J.A., Badal, J. and Pujades, L., 2000. Shear-wave velocity tomography of the lithosphere-asthenosphere system beneath the Mediterranean area, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 122, 33-54.
- Mitra, S., Priestley, K., Gaur, V.K., Rai, S.S. and Haines, J., 2006. Variation of Rayleigh wave group velocity dispersion and seismic heterogeneity of the Indian crust and uppermost mantle, *Geophys. J. Int.*, 164, 88-98.
- Mishra, O.P., Zhao, D. and Singh, D.D., 2005. Northwest Pacific fundamental mode Rayleigh-wave group velocity and its relationship with tectonic structures, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 95, 2125-2135.
- Pasyanos, M.E., and Walter, W.R., 2001. A surface wave dispersion study of the Middle East and North Africa for monitoring the comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty, *Pure appl. Geophys.*, 158, 1445-1474.
- Ritzwoller, M.H., Levshin, A.L., Ratnikova, L.I., and Egorkin, A.A., 1998. Intermediate-period group-velocity maps across Central Asia, Western China and parts of the Middle East. *Geophys. J. Int.*, 134, 315-328.
- Ritzwoller, M.H., Shapiro, N.M., Levshin, A.L. and Leahy, G.M., 2001. The structure of the crust and upper mantle beneath Antarctica and the surrounding oceans. *J. Geophys. Res.*, 106, 30645-30670.
- Vdovin, O.Y., Rial, J.A., Levshin, A.L. and Ritzwoller, M.H., 1999. Group-velocity tomography of South America and the surrounding oceans, *Geophys. J. Int.*, 136,324-340.
- Villaseñor, A., Ritzwoller, M.H., Levshin, A.L., Barmin, M.P., Engdahl, E.R., Spakman, W. and Trampert, J., 2001. Shear velocity structure of central Eurasia from inversion of surface waves velocities, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 123, 169-184.
- Vuan, A., Robertson Maurice, S.D., Wiens, D.A. and Panza, G.F., 2005. Crustal and upper mantle S-wave velocity structure beneath the Bransfield Strait (West Antarctica) from regional surface wave tomography, *Tectonophysics*, 397, 241-259.
- Yanovskaya, T. B., Antonova, L.M. and Kozhevnikov, V.M., 2000. Lateral variations of the upper mantle structure in Eurasia from group velocity of

surface waves, *Phys. Earth Planet Inter.*, 122, 19-32.

- Yanovskaya, T. B. and Kozhevnikov, V. M., 2003. 3D S-wave velocity pattern in the upper mantle beneath the continent of Asia from Rayleigh wave data, *Phys. Earth Planet Inter.*, 138, 263-278.
- Ondas internas
  - Aki, K. and W. H. K. Lee, 1976. Determination of the three-dimensional velocity anomalies under a seismic array using first P arrival times from local earthquakes, Part. 1. A homogeneous initial model. *J. Geophys. Res.*, 81, 4381-4399.
  - Aki, K. and B. Chouet (1975). Origin of coda waves: source, attenuation and scattering effects. *J. Geophys. Res.* 80, 3322-42.
  - Ammon, C.J. The isolation of receiver function effects from teleseismic P waveforms, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 81 (1991), pp. 2504-2510.
  - Babuska, V. and M. Cara (1991). *Seismic anisotropy in the Earth*. Kluwer Academic, Dordrecht, 217 pp. Cassidy, J.F., 1992. Numerical experiments in broadband receiver function analysis. *Bull. Seism. Soc. Am.* 82, pp. 1453-1474.
  - Bohoyo, F., J. Galindo-Zaldivar y I. Serrano. Main features of the basic rock bodies of the Archidona Region from geophysical data (External Zones, Betic Cordillera). *C. R. Acad. Sci. Paris*, 330, 1-8, 2000, ISSN: 1251-8050, 2000.
  - Granet, M. and J. Trampert, 1989. Large-scale P-velocity structures in the Euro-Mediterranean area. *Geophys. J. Int.*, 99, 583-594.
  - Humphreys, E. and R.W. Clayton, 1988. Adaptation of back projection tomography to seismic travel time problems, *J. Geophys. Res.*, 93, 1073-1085.
  - Inoue, H., Y. Fukao, K. Tanabe and Y. Ogata, 1990. Whole mantle P wave travel time tomography, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 59, 294-328.
  - Langston, C.A. The effect of planar dipping structure on source and receiver responses for constant ray parameter, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 67 (1977), pp. 1029-1050.
  - Marek Grad, Timo Tiira and ESC Working Group. The Moho depth map of the European Plate. *Geophys. J. Int.* (2009), doi: 10.1111/j.1365-246X.2008.03919.x
  - Serrano, I., J. Morales, D. Zhao, F. Torcal y F. Vidal. P-wave tomographic images in the Central Betics-Alborán Sea (South Spain) using local earthquakes: contribution for a continental collision. *Geophysical*

Research Letters, Vol. 25, No. 21, 4031-4034, November 1, 1998. , ISSN: 0094-8276, 1998.

- Serrano, I., D. Zhao y J. Morales. 3-D crustal structure of the extensional Granada Basin in the convergent boundary between the Eurasian and African plates. *Tectonophysics*, 344/1-2 (61-79), 2002, ISSN: 0040-1951, 2002.
- Serrano, I., Bohoyo, F., Galindo-Zaldívar, J., Morales, J. y Zhao, D. Geophysical signatures of a basic-body rock placed in the upper crust of the External Zones of the Betic Cordillera (Southern Spain). *Geophysical Research Letter*, Vol. 29, NO. 0, 10.1029/2001GL013487, 2002, ISSN: 0094-8276, 2002
- Serrano, Morales, J. Torcal, F., Vidal, F. and Mancilla, F. Imágenes tomográficas en el Sur de España y Norte de Marruecos. *Física de la Tierra*, 2003, 15, 145-162, ISSN: 0214-4557.
- Serrano, I., Zhao, D., Morales, J. and Torcal, F. Seismic tomography from local crustal earthquakes beneath eastern Rif mountains of Morocco. *Tectonophysics*, 6881(2003), 1-15, ISSN: 0040-1951, 2003.
- Serrano, I., Hearn, T. M., Morales, J. and Torcal, F. Seismic anisotropy and velocity structure beneath the southern half of the Iberian Peninsula. *Physics of the Earth and Planetary Interior*, 150, 317-330, June 2005, ISSN: 0031-9201, 2005.
- Serrano, I., Torcal, F. y Morales, J. Imágenes de velocidad sísmica en la región inferior del manto litosférico de la Península Ibérica. Libro Homenaje a Víctor García Dueñas. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 20(3-4), 2007.
- Spakman, W. and G. Nolet, 1988. Imaging algorithms, accuracy and resolution in delay time tomography. N. J. Vlaar, G. Nolet, M. J. R. Wortel and S. A. L.
- Cloetingh (Editors), *Mathematical Geophysics: a Survey of Recent Developments in Seismology and Geodynamics*. Reidel, Dordrecht, pp. 155-188.
- Savage, M. K. (1999). Seismic anisotropy and mantle deformation: What have we learned from wave splitting?. *Reviews of Geophysics*, 37, 1. Vinnik, L.P. Detection of waves converted from P to SV in the mantle, *Phys. Earth Planet. Inter.* 15 (1977), pp. 39-45.
- Zhao, D., A. Hasewaga and S. Horiuchi, 1992. Tomographic imaging of P and S wave velocity structure beneath northeastern Japan, *Journal of Geophysical Research*, v. 97, n. B13, 19909 19928.

- Bibliografía específica
  - Babuska, V., J. Plomerová and J. Sílený, 1984. Spatial variations of P residuals and deep structure of the European lithosphere. *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 79, 363-383.
  - Blanco, M. J., 1995. Tomografía lineal con residuos temporales del manto bajo la Península Ibérica. Madrid, 1995.
  - Crampin, S. (1977). A review of the effects of anisotropic layering on the propagation of seismic waves. *Geophys. J. R. Soc.* 49, 9-27.
  - Eberhart-Phillips, D. and A. J. Michael, 1993. Three-dimensional velocity structure, seismicity, and fault structure in the Parkfield region, central California. *J. Geophys. Res.*, 98, 15737-15758.
  - Ferris, A., G.A. Abers, D.H. Christensen and E. Veenstra, High resolution image of the subducted Pacific (?) plate beneath central Alaska, 50-150 km depth, *Earth Planet. Sci. Lett.* 214 (2003), pp. 575-588.
  - Nishimura, C. E. and D. W. Forsyth (1989). The anisotropic structure of the upper mantle in the Pacific. *Geophys. J. Int.* 96, 203-29.
  - Simmons, N.A. and H. Gurrola, Multiple seismic discontinuities near the base of the transition zone in the Earth's mantle, *Nature* 405 (2000), pp. 559-562.
  - Spakman, W., S. Van der Lee, R. Van der Hilst, 1993. Travel-time tomography of the European-Mediterranean mantle down to 1400 km. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 79, 3-74.
  - Zhu, L. and H. Kanamori, Moho depth variation in southern California from teleseismic receiver functions, *J. Geophys. Res.* 105 (2000), pp. 2969-2980.

## Enlaces

- <http://www.uh.edu/~jbutler/anon/anoncoursegeoph.html>
- <http://www.seismo.unr.edu/ftp/pub/louie/class/100/100-earthquakes.html>
- <http://www.seismo.unr.edu/ftp/pub/louie/class/757/intro/>
- <http://www.geo.uu.nl/~bijwaard/>
- [http://sepwww.stanford.edu/sep/berryman/NOTES/lecture\\_notes.html](http://sepwww.stanford.edu/sep/berryman/NOTES/lecture_notes.html)
- <http://rses.anu.edu.au/seismology/projects/tireg/tomo.html>



- <http://cgiss.boisestate.edu/~billc/Inverse.html>
- <http://www.emsc-csem.org/index.php?page=home>
- <http://www.jma.go.jp/en/quake/>
- <http://www.iris.edu/>
- <http://www.fcaglp.unlp.edu.ar/>
- <http://www.isc.ac.uk/>
- <http://www.mantleplumes.org/Seismology.html>
- <http://www.angelfire.com/nt/terremotosLinks/>
- <http://www.jmarcano.com/riesgos/links/terremoto.html>