

Estudio de las discontinuidades de manto superior (410Km-660Km) bajo las Béticas centrales mediante funciones receptoras

Mario Sanz González

Master GEOMET, Universidad de Granada

Abstract.

La finalidad de este proyecto de máster es la caracterización de la estructura del manto superior en el contacto de las placas de Iberia y Africana, región que incluye el sur de península Ibérica y el Norte de Marruecos. Esta región es el resultado de una evolución tectónica compleja donde, en un marco compresivo de contacto entre placas, se han producido procesos extensivos que dieron lugar a la creación de la cuenca del Mar de Alborán y al vulcanismo Mioceno localizado en las zonas internas del sureste de España y noreste de Marruecos. Diferentes modelos geodinámicos se han propuesto para explicar estas observaciones creando una gran discusión científica en los últimos 20 años. El aumento de experimentos sísmicos (ej. proyecto TopoIberia y Picasso) a gran escala, y la mejora de las redes permanentes en la región de los últimos años, está permitiendo obtener cada vez más información sobre la estructura interna en esta sección de la tierra como por ejemplo mapas de profundidad de la discontinuidad de Mohorovicic.

Utilizando los datos de gran calidad que se han obtenido en los últimos años, este estudio pretende obtener observaciones que nos permitan conocer el estado térmico del manto superior, y aportar evidencias fiables como complemento a los modelos geodinámicos de evolución tectónica de la zona de estudio. Además, se pretende estudiar con mayor detalle la estructura del manto superior en el sector central de la Cordillera Bética (meridiano 3°W) y su transición al Macizo Varisco. Esto se ha conseguido analizando datos de un perfil sísmico de alta densidad; 60 estaciones sísmicas con un espaciado de 2-5 km a lo largo de 230Km.

Palabras clave: Zona de transición. Funciones receptoras, Cordilleras Béticas, Slab de Alborán, discontinuidades de manto superior.

MÉTODO

Para este trabajo se han utilizado técnicas de funciones receptoras. Estas técnicas permiten la estimación de la profundidad de discontinuidades sísmicas a través de las fases convertidas de P a S en esas discontinuidades. Estas profundidades estarán en relación con el estado térmico del manto. Lo que se ha obtenido son las variaciones en profundidad de las discontinuidades principales del manto superior, la de la 410 km (d410) y la de 660km (d660) a lo largo de perfiles NS y EW obtenidos migrando en profundidad estas funciones receptoras. También se han obtenido valores del grosor de la zona de transición (distancia entre las discontinuidades d410 y d660). Ambas discontinuidades se comportan de forma contraria frente a variaciones de temperatura, es decir en un manto mas frío la d410 se produce a profundidades menores y la d660 a profundidades mayores

aumentando la zona de transición y viceversa en mantos mas calientes. Por lo tanto, la topografía y la distancia relativa de estas discontinuidades dependen principalmente de las variaciones de temperatura con la profundidad aunque la cantidad de contenido en agua o variaciones en los porcentajes de minerales también afectan.

RESULTADOS

En los perfiles obtenidos por migración de las funciones receptoras se observan claramente las discontinuidades de la d410 y d660 además de la discontinuidad de los 300 km también llamada discontinuidad X (d300). La discontinuidad d300 no ha sido observada de forma global como la d410 y d660 observándose solo en regiones de tectónica activa, zonas de subducción y puntos calientes. También se han observado en una región muy limitada otras dos discontinuidades una a los ~470 km y otra a los 780 km de profundidad.

En los perfiles realizados se aprecia un engrosamiento de la zona de transición de unos ~20-30 km (distancia entre las discontinuidades d410 y d660) asociado al enfriamiento del manto de unos ~153-230K provocado por la presencia del slab oceánico de Alborán observado previamente por las tomografías en esa zona. Esto ya fue mostrado en un trabajo anterior de funciones receptoras usando parte de los datos analizados en este trabajo (*Bonatt et al.2013*). En estos perfiles además se observa que en la zona donde el slab cruza la discontinuidad de los d410 la señal de esta discontinuidad desaparece.

Bajo el Atlas vemos que las dos discontinuidades (d410 y d660) están desplazadas hacia profundidades mayores unos ~20 km pero en igual medida. Esto nos dice que las discontinuidades no están perturbadas térmicamente sino que el medio por el que se propagan las fases convertidas P410s y P660s por encima de estas discontinuidades es mas lento que el modelo global usado para migrarlas. Una zona de baja velocidad es observada por diferentes métodos geofísicos bajo el Atlas (ej. tomografías, funciones receptoras, inversión de campos potenciales). Esta zona de baja velocidad sería la responsable de este desplazamiento. También observamos en uno de los perfiles que muestrea el manto del Golfo de Cádiz un estrechamiento de la zona de transición en la región en la que una tomografía localiza una anomalía de baja velocidad (alta temperatura). Gracias a los datos aportados por el perfil de alta densidad Hire, tenemos mayor resolución en la región donde se producen los terremotos profundos. Esta región muy limitada espacialmente (los epicentros se localizan en una zona de 25 m²) es difícil asociarla geoméricamente con posición del slab del mar de Alborán observada en las topografías y en los estudios de funciones receptoras de discontinuidades litosféricas. En esta región observamos que el engrosamiento máximo de la zona de transición es de unos 60 km localizando este máximo entorno a los 37.5°N-37.0°N estando mas afectado la d660 en una zona de unos ~70 km de longitud.

CONCLUSIONES

En este trabajo se han encontrado cuatro anomalías en el manto que han afectado a la distribución en profundidad de estas discontinuidades y a su distancia relativa (zona de transición): i) una asociada con el slab oceánico del Mar de Alborán; ii) con el “matle upwelling” bajo el Atlas; iii) con la localización de los terremotos profundos; y iv) otra relacionada con la posible presencia de material caliente en la zona del golfo de Cádiz.

- Con el perfil de alta densidad de Hire, se ha podido observar un cuerpo frío que afecta a las discontinuidades del manto superior. Por su localización podemos decir que esta relacionado con el límite norte del slab de Alborán. Esta zona de gran grosor de la zona de transición coincide con la región donde se localizan los terremotos profundos bajo Granada.
- Se identifica un descenso de las discontinuidades del manto superior en el norte de África con dirección NE-SW asociado con la zona de baja velocidad bajo el Atlas africano.
- El trazo de la discontinuidad de 300Km de profundidad aparece de forma paralela a la d410 sugiriendo un comportamiento similar ante cambios de temperatura.
- En las regiones donde las tomografías sitúan en slab de Alborán, las discontinuidades de la zona de transición se desdibujan hasta desaparecer de forma local (sobre todo d410; posible relación con cuña de olivino metaestable). En sus inmediaciones se observa un engrosamiento de la zona de transición de 20-30Km que equivaldría a un manto entre ~153-230K mas frío.
- Con el perfil de alta densidad y los datos de estaciones permanentes y temporales cercanas a Alborán se consiguen valores de variaciones por la zona de transición similares a los obtenidos por Bonatto,2013.

AGRADECIMIENTOS

Para la elaboración de este Trabajo Fin de Máster han sido indispensable tanto una total dedicación al estudio por mi parte como la atención de Flor de Lis Mancilla y Antonio Molina (IAG). Gracias a ellos he podido adquirir nuevas técnicas y lenguajes muy útiles en la investigación geofísica. Agradezco a mi tutora Flor de Lis la oportunidad que me ha ofrecido de trabajar junto a profesionales en un primer acercamiento a la investigación, su apoyo en las decisiones autónomas y su preocupación por el trabajo . Y agradezco a Antonio Molina su paciencia, sus enseñanzas, y el haberme acompañado en un entorno de investigación científica nuevo y muy útil para mí. Este trabajo se sustenta sobre unos conocimientos adquiridos durante el máster GEOMET de la Universidad de Granada, y de manera particular, se quiere poner en valor los conocimientos asimilados sobre todo en campos de Propagación de ondas sísmicas y Estructura del interior terrestre.

ANEXO: IMÁGENES DE RESULTADOS

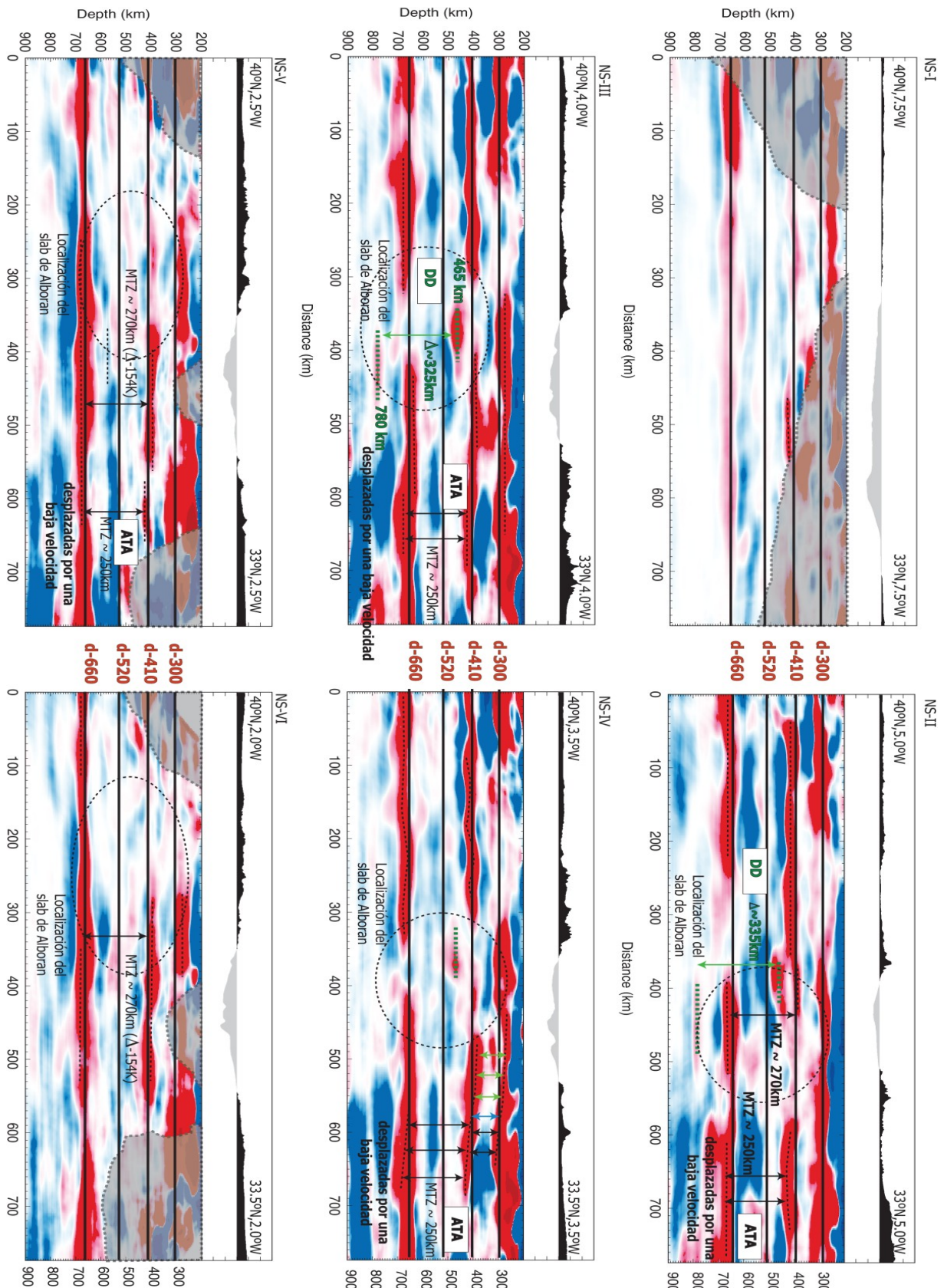


FIGURE 1. Resultado de la migración de todo el conjunto de datos mostrados en 6 perfiles Norte-Sur. En ellos se muestra con línea continua la posición esperada de las discontinuidades, y con discontinuas las observadas.

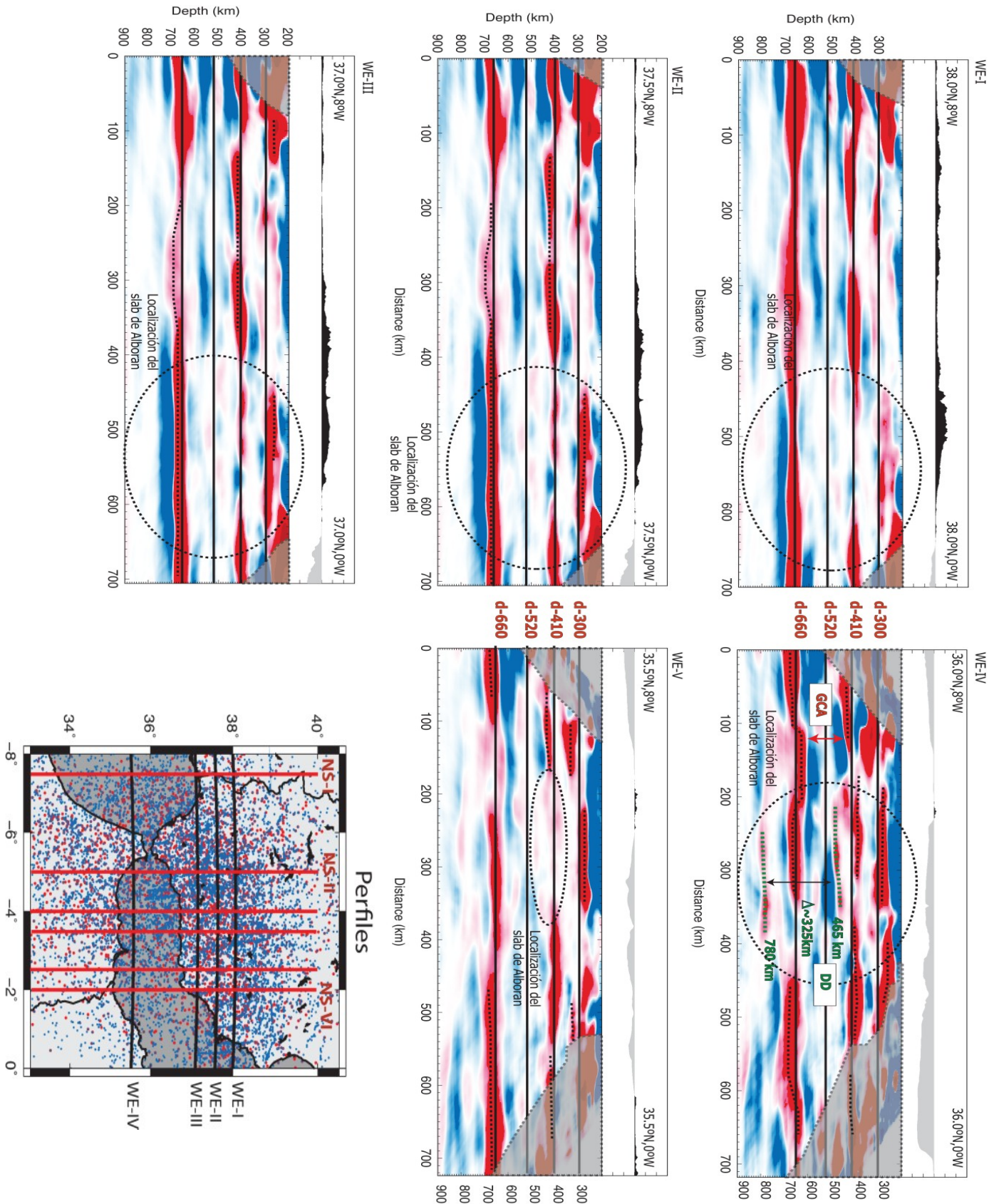


FIGURE 2. Resultado de la migración de todo el conjunto de datos mostrados en 5 perfiles Oeste-Este En ellos se muestra con línea continua la posición esperada de las discontinuidades, y con discontinuas las observadas. En la esquina inferior derecha de la imagen, un mapa con la orientación de cada perfil.

REFERENCIAS

- 1-[Aki and Richards(1980)] Aki, K., and P. G. Richards, Quantitative Seismology: Theory and Methods, no. v. 1 in A Series of books in geology, W. H. Freeman, 1980.
- 2-[Andrieux and Others(1971)] Andrieux, J., and Others, Sur un modele explicatif de l'arc de Gibraltar, *Earth and planetary science letters*, (12), 191–198, 1971.
- 3-[Bezada et al.(2013)] Bezada, Humphreys, Toomey, Harnafi, Dávila, and Gallart] Bezada, M. J., E. D. Humphreys, D. R. Toomey, M. Harnafi, J. M. Dávila, and J. Gallart, Evidence for slab rollback in westernmost Mediterranean from improved upper mantle imaging, *Earth and Planetary Science Letters*, 368, 51–60, doi:10.1016/j.epsl.2013.02.024, 2013.
- 4-[Bonatto(2013)] Bonatto, L., Novel technique to detect seismic signals and its application to map upper-mantle discontinuities beneath Iberia, Ph.D. thesis, Universidad de Granada, Granada, 2013.
- 5-[Bonatto et al.(2013)] Bonatto, Schimmel, Gallart, and Morales] Bonatto, L., M. Schimmel, J. Gallart, and J. Morales, Studying the 410-km and 660-km discontinuities beneath Spain and Morocco through detection of p-to-s conversions, *Geophysical Journal International*, 194(2), 920–935, doi:10.1093/gji/ggt129, 2013.
- 6-[Bonatto et al.(2015)] Bonatto, Schimmel, Gallart, and Morales] Bonatto, L., M. Schimmel, J. Gallart, and J. Morales, The upper-mantle transition zone beneath the Ibero-Maghrebian region as seen by teleseismic Pds phases, *Tectonophysics*, 663(July), doi:10.1016/j.tecto.2015.02.002, 2015.
- 7-[Bonnin et al.(2014)] Bonnin, Nolet, Villaseñor, Gallart, and Thomas] Bonnin, M., G. Nolet, A. Villaseñor, J. Gallart, and C. Thomas, Multiple-frequency tomography of the upper mantle beneath the African/Iberian collision zone, *Geophysical Journal International*, 198(3), 1458–1473, doi:10.1093/gji/ggu214, 2014.
- 8-[Buforn et al.(1995)] Buforn, Sanz de Galdeano, and Udas] Buforn, E., C. Sanz de Galdeano, and A. Udas, Seismotectonics of the Ibero-Maghrebian region, *Tectonophysics*, 248(3-4), 247–261, doi:10.1016/0040-1951(94)00276-F, 1995.
- 9-[Cao et al.(2011)] Cao, van der Hilst, de Hoop, and Shim] Cao, Q., R. D. van der Hilst, M. V. de Hoop, and S.-H. Shim, Seismic Imaging of Transition Zone Discontinuities Suggests Hot Mantle West of Hawaii, *Science*, 332(6033), 1068–1071, doi: 10.1126/science.1202731, 2011.
- 10-[Carballo et al.(2014)] Carballo, Fernandez, Jiménez-munt, and Vergés] Carballo, A., M. Fernandez, I. Jiménez-munt, and J. Vergés, Crossing the Iberian Plate from the Bay of Biscay to the Alboran Sea : a lithospheric geotranssect, 16, 12,405, 2014.
- 11-[Charles J.(1991)] Charles J., A., The isolation of receiver effects from teleseismic P waveforms, 81(6), 2504–2510, 1991.
- 12-[de Lis Mancilla et al.(2015)] de Lis Mancilla, F., et al., Crustal thickness and images of the lithospheric discontinuities in the Gibraltar arc and surrounding areas, *Geophy-*

sical Journal International, 203(3), 1804–1820, doi:10.1093/gji/ggv390, 2015.

13--[Deuss and Woodhouse(2004)] Deuss, A., and J. H. Woodhouse, The nature of the Lehmann discontinuity from its seismological Clapeyron slopes, *Earth and Planetary Science Letters*, 225(3-4), 295–304, doi:10.1016/j.epsl.2004.06.021, 2004.

14-[Dündar et al.(2011)] Dündar, S., et al., Receiver function images of the base of the lithosphere in the Alboran Sea region, *Geophysical Journal International*, 187(2), 1019–1026, doi:10.1111/j.1365-246X.2011.05216.x, 2011.

15-[Flor de Lis et al.(2013)] Flor de Lis, Daniel, Manuel, Rosa, José, Alberto, and Alejandro] Flor de Lis, M., S. Daniel, B. Manuel, M. Rosa, M. José, F.-R. Alberto, and P. P. Alejandro, Delamination in the Betic Range: Deep structure, seismicity, and GPS motion, *Geology*, 41(3), 307–310, doi:10.1130/G33733.1, 2013.

16-[Flor de Lis et al.(2012)] Flor de Lis, M., et al., Crustal thickness variations in northern Morocco, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 117(2), 1–14, doi:10.1029/2011JB008608, 2012.

17-[Frassetto et al.(2010)] Frassetto, Zandt, Gilbert, Owens, and Jones] Frassetto, A., G. Zandt, H. Gilbert, T. J. Owens, and C. H. Jones, Improved imaging with phase-weighted common conversion point stacks of receiver functions, *Geophysical Journal International*, 182(1), 368–374, doi:10.1111/j.1365-246X.2010.04617.x, 2010.

18-[J. et al.(1971)] J., J.M., and M.] J., A., F. J.M., and M. M., Sur un modele explicatif de l'arc de Gibraltar, 12, 191–198, 1971.

19-[J.P. and R.L.M.(1989)] J.P., P., and V. R.L.M., Extensional collapse of thickened continental lithosphere: A working hypothesis for the Alboran Sea and Gibraltar arc, *Geology*, 17, 540–543, 1989.

20-[Langston and Hammer(2001)] Langston, C. a., and J. K. Hammer, The Vertical Component P -Wave Receiver Function, (December), 1805–1819, doi:10.1785/0120000225, 2001.

21-[Ligorria and Ammon(1999)] Ligorria, J. P., and C. J. Ammon, Iterative deconvolution and receiver function estimation, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 89(October), 1395–1400, 1999.

22-[Luciana et al.(1993)] Luciana, Marin, Gallart, and José] Luciana, B., S. Marin, J. Gallart, and M. José, The upper-mantle transition zone beneath the Ibero-Maghreb region as seen by teleseismic Pds phase, How it was published, The address of the publisher, 1993.

23-[Mancilla et al.(2015)] Mancilla, Booth-Rea, Stich, Pérez-Peña, Morales, Azañón, Martin, and Giaconia] Mancilla, F. d. L., G. Booth-Rea, D. Stich, J. V. Pérez-Peña, J. Morales, J. M. Azañón, R. Martin, and F. Giaconia, Slab rupture and delamination under the Betics and Rif constrained from receiver functions, *Tectonophysics*, 663, 225–237, doi:10.1016/j.tecto.2015.06.028, 2015.

- 24-[Martinez-Arevalo et al.(2013)]Martinez-Arevalo, Mancilla, Helffrich, and Garcia] Martinez-Arevalo, C., F. d. L. Mancilla, G. Helffrich, and A. Garcia, Seismic evidence of a regional sublithospheric low velocity layer beneath the Canary Islands, *Tectonophysics*, 608, 586–599, doi:10.1016/j.tecto.2013.08.021, 2013.
- 25-[Priem et al.(1979)]Priem, Boelrijk, Hebeda, Oen, Verdurmen, and Verschure] Priem, H. N. A., N. A. I. M. Boelrijk, E. H. Hebeda, I. S. Oen, E. A. T. Verdurmen, and R. H. Verschure, Isotopic dating of the emplacement of the ultramafic masses in the Serrania de Ronda, Southern Spain, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 70(1), 103–109, doi:10.1007/BF00371876, 1979.
- 26-[Sanz de Galdeano(2012)] Sanz de Galdeano, C., Génesis de la estructura arqueada de la Sierra de las Cabras al Gibalto (Subbético, provincias de Málaga y Granada, España), *Estudios Geológicos*, 68(2), 179–187, doi:10.3989/egeol.40487.150, 2012.
[Sanz de Galdeano and Vera(1991)] Sanz de Galdeano, C., and J. A. Vera, Una propuesta de clasificación de las cuencas neógenas béticas, *Acta geológica hispánica*, 26, 2050–2227, 1991.
- 27-[Schmerr(2015)] Schmerr, N., The Earth's Heterogeneous Mantle, pp. 79–104, doi:10.1007/978-3-319-15627-9, 2015.
- 28-[Schmerr et al.(2013)]Schmerr, Kelly, and Thorne] Schmerr, N. C., B. M. Kelly, and M. S. Thorne, Broadband array observations of the 300 km seismic discontinuity, *Geophysical Research Letters*, 40(5), 841–846, doi:10.1002/grl.50257, 2013.
- 29-[Schneider(2014)] Schneider, F. M., Imaging an Intra-continental Subduction in Central Asia with Teleseismic Receiver Functions, p. 189, doi:10.2312/GFZ.b103-14063, 2014.
- 30-[Sun et al.(2014)]Sun, Miller, Holt, and Becker] Sun, D., M. S. Miller, A. F. Holt, and T. W. Becker, Hot upwelling conduit beneath the Atlas Mountains, Morocco, *Geophysical Research Letters*, 41(22), 8037–8044, doi:10.1002/2014GL061884, 2014.
- 31-[Tauzin and Ricard(2014)] Tauzin, B., and Y. Ricard, Seismically deduced thermodynamics phase diagrams for the mantle transition zone, *Earth and Planetary Science Letters*, 401, 337–346, doi:10.1016/j.epsl.2014.05.039, 2014.
- 32-[Tauzin et al.(2008)]Tauzin, Debayle, and Wittlinger] Tauzin, B., E. Debayle, and G. Wittlinger, The mantle transition zone as seen by global Pds phases: No clear evidence for a thin transition zone beneath hotspots, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 113(8), 1–17, doi:10.1029/2007JB005364, 2008.
- 33-[V. and J.C.(1991)] V., G.-D., and B. J.C., Fallas normales debjo ángulo a gran escala en la Béticas occidentales, *Geogaceta*, 9, 33–37, 1991.
- 34-[Villaseñor et al.(2015)]Villaseñor, Chevrot, Harnafi, Gallart, Pazos, Serrano, Córdoba, Pulgar, and Ibarra] Villaseñor, A., S. Chevrot, M. Harnafi, J. Gallart, A. Pazos, I. Serrano, D. Córdoba, J. A. Pulgar, and P. Ibarra, Subduction and volcanism in the Iberia-North Africa collision zone from tomographic images of the upper mantle, *Tectonophysics*, 663, 238–249, doi:10.1016/j.tecto.2015.08.042, 2015.