

## MORFOTECTÓNICA DEL SEGMENTO CÁDIZ-MÁLAGA, SUR DE ESPAÑA

### MORPHOTECTONICS OF THE CADIZ-MALAGA SEGMENT, SOUTHERN SPAIN

*Mario Octavio Cotilla-Rodríguez<sup>1</sup>*

*Diego Córdoba-Barba<sup>2</sup>*

*Universidad Complutense de Madrid, España*

#### RESUMEN

Se presentan los resultados de una investigación morfotectónica del segmento continental de Cádiz a Málaga, zona occidental de interacción entre las placas africana y euroasiática. Aquí existe un sistema de 5 tipos de Unidades Territoriales (macrobloques= 2, mesobloques= 2, bloques= 29, microbloques= 44, y nanobloques= 202) en relaciones espacio-temporales actuales con una red de 29 alineaciones principales y 32 intersecciones o nudos. El 59% de los bloques es muy activo o activo, y el territorio tiene un valor de ~0.03 fracturas/km<sup>2</sup> con 63 escarpes. Las zonas con mayor actividad están entre las localidades de Barbate-Torrecera-Sierra de las Cabras (en Cádiz) y Ronda-Embalse Gudaltela-Cabras-Villalón (en Málaga). El segmento de Cádiz-Málaga tiene características similares a las de la zona colindante de Almería-Córdoba-Granada-Jaén-Murcia. Todo el trabajo sustentado en un SIG.

**Palabras clave:** Cádiz, España, Málaga, morfotectónica, SIG

- 1 Doctor en Ciencias Física y Profesor del Departamento de Geofísica y Meteorología, Facultad de Ciencias Físicas. Universidad Complutense de Madrid, Ciudad Universitaria, 28040 Madrid. Correo electrónico: macot@ucm.es
- 2 Doctor en Ciencias Física y Profesor del Departamento de Geofísica y Meteorología, Facultad de Ciencias Físicas. Universidad Complutense de Madrid, Ciudad Universitaria, 28040 Madrid. Correo electrónico: dcordoba@ucm.es

Fecha de recepción: 14 de mayo de 2015  
Fecha de aceptación: 16 de junio de 2015



## ABSTRACT

We present the results of a morphotectonic research of the Cadiz to Malaga continental segment, which is a western interaction zone between the African and Europe-Asian plates. There is a system of 5 types of Territorial Units (macroblocks= 2, mesoblocks= 2, blocks= 29, microblocks= 44, and nanoblocks= 202) in current space-time relations with a network of 29 main alignments and 32 intersections or junctions. Fifty-nine percent of the blocks are very active or active, and the territory has a mean value of ~0.03 fractures/km<sup>2</sup> with 63 scarps. The most active zones are between Barbate-Torrecedera-Sierra de las Cabras (in Cádiz) and Ronda-Embalse Gudaltela-Cabras-Villalon (in Málaga). This Cadiz-Malaga segment has similar characteristics to those determined for the adjacent zone of Almería-Córdoba-Granada-Jaén-Murcia. All data are in a GIS.

**Keywords:** Cadiz, GIS, Malaga, morphotectonics, Spain

## Introducción

Una investigación morfotectónica es una tarea de tipo Geográfica que integra resultados de otras ciencias afines; que conlleva, inicialmente, recorrer la región de estudio y la revisión de los resultados en la geología, la tectónica, la geomorfología, la geofísica, la sísmica, la sismicidad, etc. (Cotilla y Córdoba, 2004A). Se usan los datos e ideas principales para una base inicial, estos hay que contrastarlos en el terreno y complementarlos; así se evita la duplicidad de esfuerzos y corrigen deficiencias (Cotilla, Córdoba, y Sánchez, 2003). Esta es una metodología esencialmente rusa (Rantsman, 1979).

Los métodos morfotectónicos permiten distinguir la evolución geotectónica de las morfoestructuras y, valorar los complejos morfoesclurales. Se determinan los elementos tectónicos y las deformaciones de los niveles geomorfológicos; se precisan, cronológica y jerárquicamente, los límites de las Unidades Territoriales [UT], los elementos lineales (alineaciones o morfoalineamientos) y las intersecciones de ellos (o nudos), la cual permite enfrentar problemas geofísicos. Los métodos se han incluido en un Sistema de Información Geográfica (SIG) (Cotilla y Córdoba, 2003); este sistema se ha probado y ajustado en las investigaciones realizadas por los autores en Cuba, España, Jamaica, La Española y Puerto Rico, para ello nos apoyamos en: Alekseevskaya *et al.* (1977), Assinovskaya y Solovyev (1994), Cotilla y Córdoba (2009, 2007, 2004A, B, 2003, en prensa); Cotilla *et al.* (2004, 2003), Gatinsky y Rundquist (2004), Gorshkov *et al.* (2000), Rantsman (1979) y Zhidkov *et al.* (1975). En los objetivos, está la determinación de zonas con mayor probabilidad de terremotos, y la relación del sistema con los movimientos tectónicos recientes y la actividad sísmica [AS].

## Área de estudio

La investigación tiene como antecedentes a 7 trabajos de los autores, para otras regiones de la Península Ibérica [PI] (Figura 1A). Aquí estudiamos el segmento de las provincias de Cádiz [C] y Málaga [M] (Figuras 1A y B), del S y SW de la Comunidad de Andalucía (Figuras 2A y B). La región tiene una longitud de ~240 km y superficie de ~87,300 km<sup>2</sup>. El relieve está definido en el sistema montañoso (Cordilleras Béticas= CB) y colinda al S con el Mar Mediterráneo; tiene diferencias altitudinales, como las montañas Béticas y su Depresión adyacente, en esta última hay otras estructuras (el Surco Intrabético y el Valle de los Pedroches). Andalucía tiene importantes sistemas de montaña, pero las llanuras son ~40% (altitud media ~500 m). La costa posee muchos y variados contrastes morfológicos, hipsométricos y tipológicos (playas y costas bajas) (Figura 3A). Hacia M se incrementan los acantilados y cañones fluviales (Figura 3B).

Las CB son el principal y mayor bloque del S de la PI. Hay varias Sierras (Campiña, Córdoba, Huelva, Jaén, Morena (Pico Estrella =1,300 m), Sevilla y Ubrique (1,654 m)). Aquí está el Sistema Penibético, una barrera morfológica continua entre el litoral y el interior peninsular. Los ríos han configurado áreas, relativamente, aisladas (Alpujarras, Altiplanicie de Vélez, Cazorla (>1,000 m), Desierto de Tabernas, Montes de M, Serranía de Ronda (Pico de las Nieves =1,919 m)-Grazalema, Tablón (Pico Terril =1,130 m) y Tierra de Alhama). Esta somera y general descripción del relieve muestra la diferenciación morfoestructural, y es el primer paso en la clasificación morfotectónica de C-M y la determinación de sus sectores más activos.

## Principales características geológicas y tectónicas

En la clasificación morfotectónica se han utilizado, principalmente, los estudios geológicos de: Calvert *et al.* (2000), Capote *et al.* (2002), Galindo-Zaldívar *et al.* (1993), Negrodo *et al.* (2002), Reicherter y Peters (2005) y Soto y Manzano (2002). Ellos permiten asegurar que Andalucía: a) tiene un desarrollo geológico desde el Precámbrico (~470 Ma); b) los materiales más antiguos están en la Zona Ossa-Morena; c) sufrió plegamientos (huroniano, caledoniano, y hercínico) que modelaron la estructura al SW-NE y tuvo un largo periodo de estabilidad tectónica; d) en el Mioceno Superior-Mioceno Inferior sufrió la compresión NW-SE de la orogenia

Alpina, derivando a N-S y NNW-SSE; e) hay fallas con esas direcciones; f) surge y evoluciona hasta el presente por la interacción de las placas África y Euroasiática; g) se localiza en el Macizo Hercínico de La Meseta y la parte septentrional de las CB; h) las montañas meridionales de la CB han tenido un levantamiento general desde el Plioceno Inferior, lo que ha configurado la actual línea de costa del Mar de Alborán.

Destacamos que: 1) el movimiento relativo (1-2 mm/año) entre las placas Eurasiática y Norteamérica desde hace 3 Ma; 2) al SW de la PI (Faro, cerca del Cabo de San Vicente, - las islas Azores) el relieve es netamente submarino con contrastes batimétricos y de pendientes. Hay varias morfoestructuras (Banco de Gorringe y 2 llanuras de tipo abisal Horseshoe y Tagus); 3) el sector Faro-C contiene el cambio de tipo de corteza (oceánica-continental) y donde los contrastes son entre estructuras submarinas (Golfo de C y Mar de Alborán) con el megabloque PI y el N de África); 4) al W de Azores-Gibraltar hay un complejo patrón de deformación compresiva desde el Mesozoico; 5) el relieve submarino de Marruecos-PI, entorno al Estrecho de Gibraltar, tiene diferentes morfoestructuras (Umbral de Camarinal, el Monte Hércules, Cuenca de Tarifa, Cresta Hispali, Monte Tartesos, Hoyas de Poniente y Hoyas de Levante); 6) en Azores-Estrecho de Gibraltar se distinguen 3 segmentos tectónicos.

Vemos que: 1) la modelización de la zona de contacto neotectónico África-América, desde la Cordillera Medio Oceánica a Argelia, tiene diferentes estilos y tipos de litosfera; las deformaciones están en una estrecha banda. El modelo está mejor ajustado para el segmento Azores-Estrecho de Gibraltar que al E del Estrecho (hasta Argelia); 2) existen para el límite de África-PI-Mar de Alborán 6 zonas de estructuras lineales; 3) en Azores-Turquía se han estimado los valores del Tensor del Momento. Se destacan 3 segmentos: a) Azores-Estrecho de Gibraltar tiene 3-12 mm/año; b) Gibraltar-Argelia con 5 mm/año; c) el extremo oriental del Mediterráneo de hasta 21 mm/año); 4) estudios de la corteza muestran que en la zona costera atlántica hay velocidades en el manto superior de 8.15 km/s con profundidades de 30 km, y en las inmediaciones del Algarve (S de Portugal) la profundidad alcanza 35 km; 5) la región Bética-Rifeña tiene modelos geodinámicos, entre ellos destacamos 3: a) año 1984 que involucra a 4 fallas transcurrentes de distinta edad; b) año 1992 considera que la actual zona de convergencia PI-África tiene una deformación distribuida en el

marco de fallas transcurrentes; c) año 2002 muestra estilos diferentes de deformación en 2 regiones: c.1) Argelia (la zona más activa del contexto Ibero-Magrebí) con el mayor desplazamiento lateral y sobrecorrimiento; c.2) C-Alicante-Nekor con zonas de fallas de movimiento lateral y normal); 6) de los modelos que explican la subducción de África bajo la PI, tomamos 3 (años 1991, 1993 y 2000), los 2 primeros la asumen para el intervalo Cretácico Superior-Mioceno Inferior y el último para el Neógeno Inferior-Cuaternario.

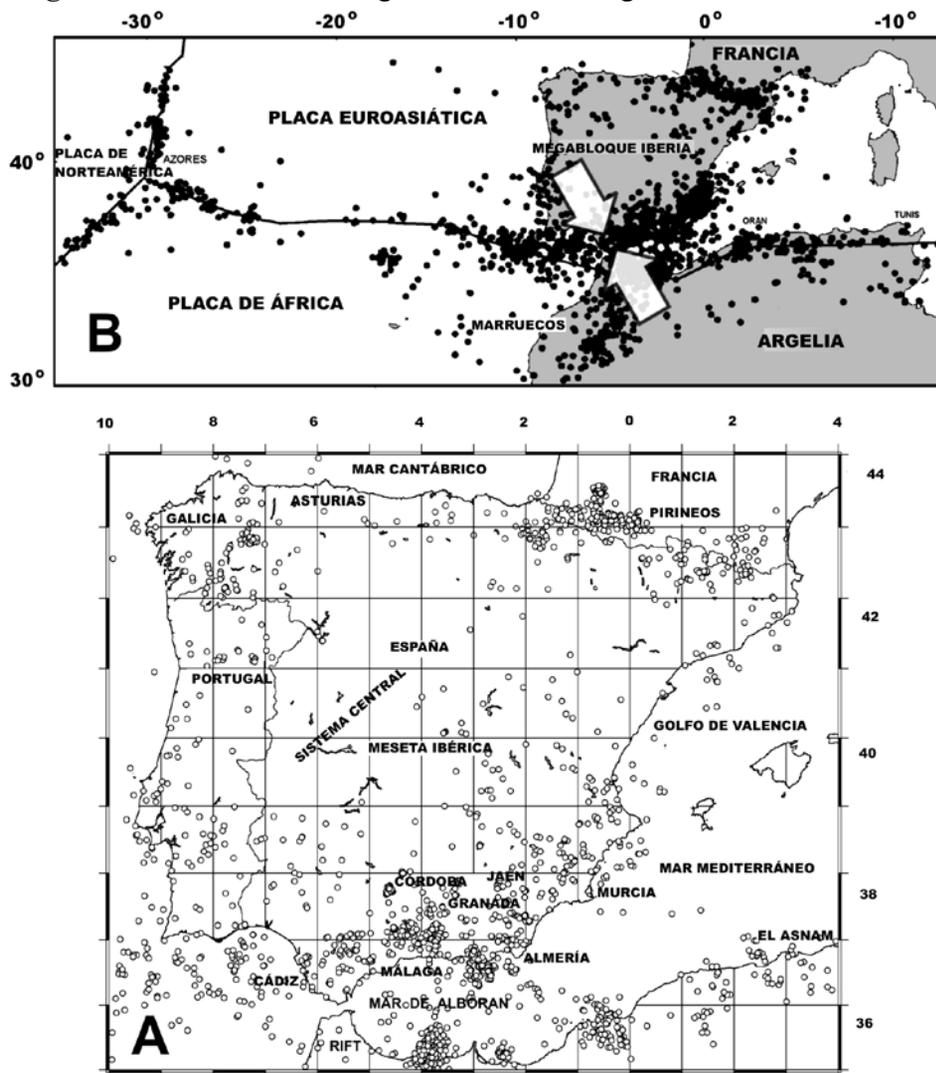
### Algunos datos sobre la sismicidad

Hay abundante información sobre la sismicidad del S de la PI (Figuras 1A-B). Aquí empleamos: Buform *et al.* (2004, 1995), Gurría y Mezcua (2000), Henares Romero y López Casado (2001), Herraiz *et al.* (2000), IAG (2002), Martínez (2003), Mezcua y Rueda (2006, 2004), Mezcua *et al.* (2004) y Sanz de Galdeano *et al.* (1995). Sostenemos que: 1) la AS se localiza a lo largo del sistema de fallas Azores-Gibraltar-Golfo de C-Mar de Alborán-costa N de África-Argelia; esto se relaciona con la interacción de las placas de África y Euroasiática; 2) los terremotos más fuertes son 2 (1775.11.01 (I= 10 MSK, M ~8.5 y 15,000 muertos; SW del Cabo de San Vicente) y 1884 (I= 9-10 MSK, M= 6.5 y 839 muertos; Arenas del Rey, Granada)); 3) el SW de Portugal-Golfo de C-Marruecos tiene un alto peligro por la ocurrencia de terremotos fuertes y tsunamis; 4) el territorio de C-M ha sufrido 5 importantes terremotos (1494.01.26, I= 8; 1581.06.18, I= 7-8; 1680.10.09, I= 8-9; 1767.07.17, I= 7; 1722.12.27, I= 8. Todas las intensidades en escala MSK); 5) la magnitud máxima estimada es 6.8; 6) se distinguen 2 rangos de profundidad de los terremotos (<40 km y hasta 150 km); 7) los mecanismos de muchos terremotos muestran compresiones NNW-SSE, aunque hay E-W; 8) el entorno de Vélez M-Torrox-Verja (S de Granada) ha producido al menos 4 terremotos profundos (h= 637-660 km), con magnitudes de 4.4-7.0 y los mecanismos focales asociados son muy similares entre sí y difieren de los determinados para las profundidades menores; 9) la sismicidad histórica tiene valores muy superiores en magnitud estimada e intensidad que para el periodo instrumental; 10) en este último periodo, con la red de estaciones sísmicas, se tienen muchos eventos de magnitudes bajas; 11) para las coordenadas -11.00 W-3.50 E y 35.00 N-39.00 N se han determinado, a partir de los parámetros  $M_0$ ,



velocidad de deslizamiento, y el parámetro  $b$ , 3 zonas sísmicas; 12) han sido delimitadas 23 fuentes sísmicas en las CB-Rif-parte del Tell y, se subdividen en 4 Grupos y varios Subgrupos. Las de nuestro interés son de 3 Grupos: Grupo I (con 4 tramos: Carmona-Córdoba-Jaén, Golfo de C, Ubrique-Antequera y M-Adra); Grupo II (con 3 tramos: Alhama de Granada, Granada y Almería); Grupo III (Alhucemas-Isla de Alborán); 13) para C hay 5 isosistas de terremotos: a) 13.03.2002 en Prado del Rey ( $Imáx=4$  y figura circular); b) 30.03.2002 en San José del Valle ( $Imáx=3$  y figura elíptica con eje principal E-W); c) 25.07.2003 en Puerto Serrano ( $Imáx=4$  y figura elíptica con eje principal NW); d) 05.02.2009 en Coripe ( $Imáx=3$  y figura circular); e) 21.06.2010 en Jerez de la Frontera ( $Imáx=4$  y figura elíptica con eje principal NE)). Pero en M sólo hay medias isosistas, ya que los epicentros están en su inmensa mayoría en el mar, como por ejemplo: el terremoto del 21.11.2002 ( $M=4,2 / Imáx=4$ ) frente a la ciudad de Málaga); 14) para el segmento de falla entre las localidades de M y Adra se asegura hay relación con los terremotos y el levantamiento de la costa.

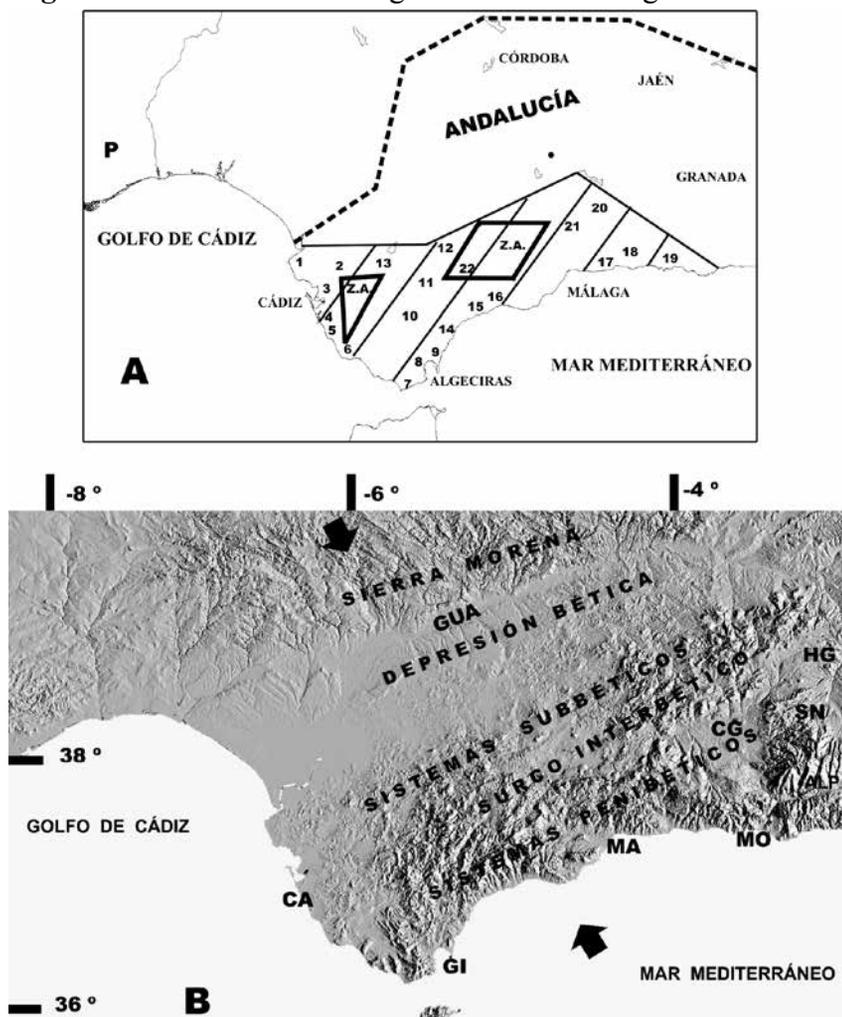
Figura 1. Localización del segmento Cádiz-Málaga en la Península Ibérica



A) Selección de epicentros de terremotos en la Península Ibérica. (Están indicados: 1) epicentros (círculos); 2) regiones de los estudios morfotectónicos realizados (Córdoba-Granada, Almería-Jaén, Asturias, Galicia, Murcia, Península Ibérica y Sistema Central)).

B) Zona de colisión de las placas África y Euroasiática. (Aparecen: línea de fallas= línea gruesa negra; epicentros= puntos negros; flechas gruesas blanca= sentido de la convergencia).

Figura 2. Localización del segmento Cádiz-Málaga en Andalucía



A) Provincias de Cádiz y Málaga. (Se enmarcan la mayor parte de la Comunidad de Andalucía y las zonas de estudio Cádiz y Málaga, que están indicadas con líneas transversales. Algunas localidades de interés aparecen con números: 1= Sanlúcar de Barrameda, 2= Jerez de la Frontera, 3= El Puerto de Santa María, 4= San Fernando, 5= Chiclana de la Frontera, 6= Barbate, 7= Tarifa, 8= Algeciras, 9= La Línea de la Concepción, 10= Alcalá de los Gazules, 11= Ubrique, 12= Puerto Serrano, 13= Arcos de la Frontera, 14= Estepona, 15= Marbella, 16= Fuengirola, 17= Rincón de la Victoria, 18= Vélez-Málaga, 19= Nerja, 20= Archidona, 21= Antequera, 22= Ronda. Hay un triángulo y un paralelogramo que son zonas activas (Z.A.)).

B) Principales sistemas del relieve en la región de estudio. (Aparecen: 1) localidades: CA= Cádiz, MA= Málaga, MO= Motril, GI= Gibraltar; 2) flechas gruesas negras= sentido de la convergencia de las placas; 3) zonas de interés: ALP= Alpujarras, CG= Cuenca de Granada, GUA= cuenca del Guadalquivir, HG= Hoya de Granada y SN= Sierra Nevada).

## Evaluación morfotectónica

### Características morfotectónicas

La configuración, la disposición y los valores de las morfoisohipsas muestran un relieve segmentado en familias de bloques desde un tope máximo de ~2,000 de altitud. Las cotas altimétricas son inferiores en C con respecto a M. Hay diferencias en la orientación de los ejes principales de los bloques delimitados, predominando las direcciones N-S y N en C y NE, E-W y N-S en M. El relieve en M tiene un significativo escalonamiento de dirección SE-NO, al menos en 5 niveles. También, M muestra una diferenciación hipsométrica en 2 niveles, con isohipsas paralelas a la costa de: 1) 500 m [Coeficiente de Sinuosidad=  $K_s$ ] ( $K_s=0.63$ ); 2) 1,000 m ( $K_s=0.36$ ); los valores de pendientes medias son muy superiores con relación a C.

**Figura 3.** Fotos de la región de trabajo



**A)** Playa en Cádiz (Se indican algunas pequeñas dunas (flecha negra gruesa)).

**B)** Acantilado en Málaga (Se aprecian el corte vertical de la costa, los fragmentos de bloques desprendidos (flechas gruesas negras) y la estructura geológica).

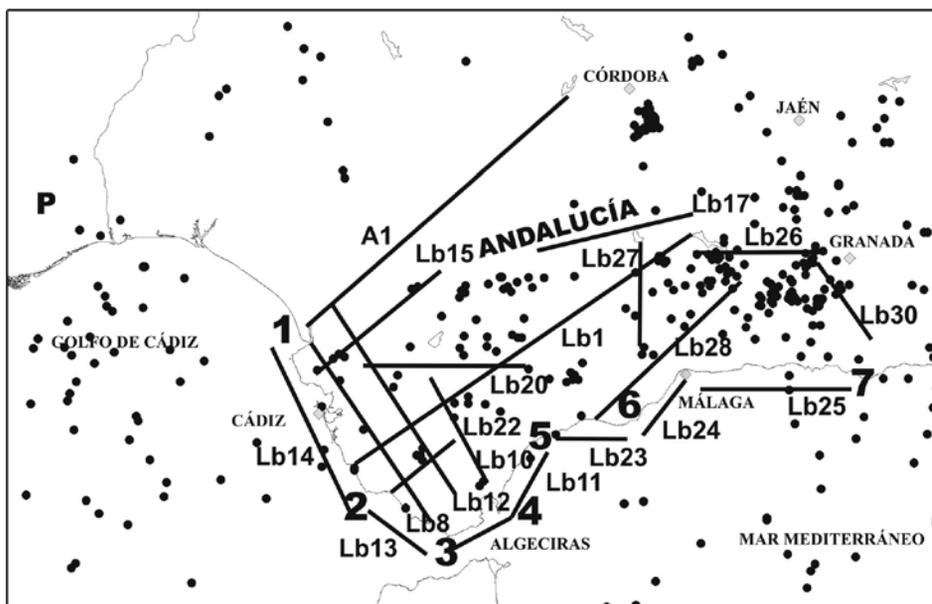




La costa de C se subdivide en 8 tramos morfológicos (Figura 5): 1) Punta del Perro (Chipirona)-Rota; 2) Rota-C; 3) C-Cabo Roche; 4) Cabo Roche-Cabo Trafalgar; 5) Cabo Trafalgar-Punta Camarinal; 6) Punta Camarinal-Punta de Tarifa; 7) Punta de Tarifa-Punta Carnero y 8) Punta de Europa-Punta Chullera (M está al E). Esos segmentos se distinguen por la dirección y el Ks. Así, para los tramos: a) 1-4 predomina la dirección NW y hay un  $K_s = 0.98$ ; b) 5-6 también de dirección NW, pero diferentes  $K_s$  (tramo 5 = 0.88 y tramo 6 = 0.75); c) 7 es de dirección NE y  $K_s = 0.95$ ; d) 8 con dirección NNE y  $K_s = 0.90$ . Mientras que la costa en M tiene un  $K_s = 0.72$ ; también, se define sobre la base de la longitud, la dirección principal y el  $K_s$ . Así tenemos de O-E: 1) Punta de la Chullera-Estepona (16 km / NNE / 0.96); 2) Estepona-Ensenada de Marbella (20 km / NE / 0.91); 3) Ensenada de Marbella-Ensenada de Cala Moral (22 km / E-W / 0.95); 4) Ensenada de Cala Moral-Punta Negra-Torremolinos-Ensenada de M (30 km / NNE / 0.90); 5) Ensenada de M-Punta de Vélez-M-Torrox-Costa-Nerja (56 km / E-W / 0.93).

La disposición e hipsometría de la costa y su forma son muy diferentes para C y M; en este sentido, el  $K_s$  promedio, es también diferente en C (0.48) y M (0.65). Resalta la figura cóncava al S de la Bahía de Algeciras en C como una característica peculiar morfológica del territorio, esto se ajusta bastante bien, a sistemas de las formas del relieve triangular irregular en C y otro rectangular para M.

**Figura 5.** Esquema de alineaciones y epicentros



Aparece: 1) Selección de epicentros (círculos negros); 2) alineaciones principales (A1, Lb2) (Ver Tablas 7 y 8); 3) tramos de costa (1-7).

La provincia de C está al S del río Guadalquivir (Figura 4). Su hipsometría tiene un débil escalonamiento, así se localizan valores  $>500$  m en la parte NE de la provincia. Las Sierras Costeras están localizadas al E de Barbate y del Cabo de Trafalgar; mientras que el resto de las Sierras está dispuesto en 2 escalones morfoestructurales N-S.

En C y M hay  $\sim 1,000$  corrientes fluviales y una variada diferenciación por cuencas. La categoría, disposición y geometría de las cuencas es diferente; así es significativo el número de ríos con anomalías; para C (98) y M (267). Las características de los valles principales para esas regiones se diferencian entre sí, aunque se distingue un patrón regional. El desarrollo e instalación de la red fluvial en C y M están definidos desde el Plioceno. En los diseños están tanto la jerarquía de los ríos como la configuración de las cuencas, divisorias de agua y terrazas fluviales. Las mayores cuencas fluviales de: 1) C son de los ríos Guadalete (NE-SW), Barbate (N-S) y Guadiaro (NE). El gradiente de los ríos difiere (Guadalete= 0.4 m/km, Barbate= 0.8 m/km y Guadiaro=1.3 m/km). Sus desembocaduras

están en la Bahía de Cádiz (Guadalete), cerca del Cabo de Trafalgar (Barbate) y el Guadiaro que corta a la Sierra Carbonera para llegar al NE de La Línea de la Concepción. Los Ks tienen valores de 0.55 (Barbate) y 0.81 (Guadiaro); 2) En M son los ríos Guadalhorce (NW) y Benamargos (NW). El río Guadalhorce (6° orden) desemboca entre Torremolinos y M; y el Benamargos (5° orden) lo hace en Vélez-M, con un gradiente de 1.6 y 1.9 m/km, respectivamente. El drenaje en M se distingue por la dirección: 2.1) NW-SE (en Punta de la Chullera-Maró y en Barbate-Punta de la Chullera); 2.2) NE-SW (C-Rota-Barbate).

El entorno del Golfo de C (localidades de: Beja-Sevilla-C-Villa Real de Santo Antonio-Faro) tiene terrazas fluviales del NE-SW (ríos Guadalquivir, Odeil y Tinto); las más jóvenes con dirección N (Gualdaquivir-Tinto-Odeil-Guadiana). En las inmediaciones de Beja hay terrazas (E-W de niveles superiores asociadas al río Guadiana. Esto se corresponde con las inflexiones y las alineaciones de los ríos tributarios y las cuencas (Odeil-Tinto y Guadalquivir). Indicamos que el Guadalquivir y el Guadalete comparten la misma área de cotas bajas y planas (El Puerto de Santamaría-Lebrija-Las Cabezas de San Juan), donde están las principales alineaciones, mencionadas anteriormente.

Datos de la orientación del drenaje superficial indican que tiene dirección predominante N-S, aunque los del NE son altos. Las anomalías fluviales son mayores en la zona meridional de C con relación a M; pero, el porcentaje de las Relaciones de Bifurcación anómalas resulta ser inferior para los ríos de menor orden de C que para los de M; esto se interpreta como una mayor actividad de tipo vertical en la región de M.

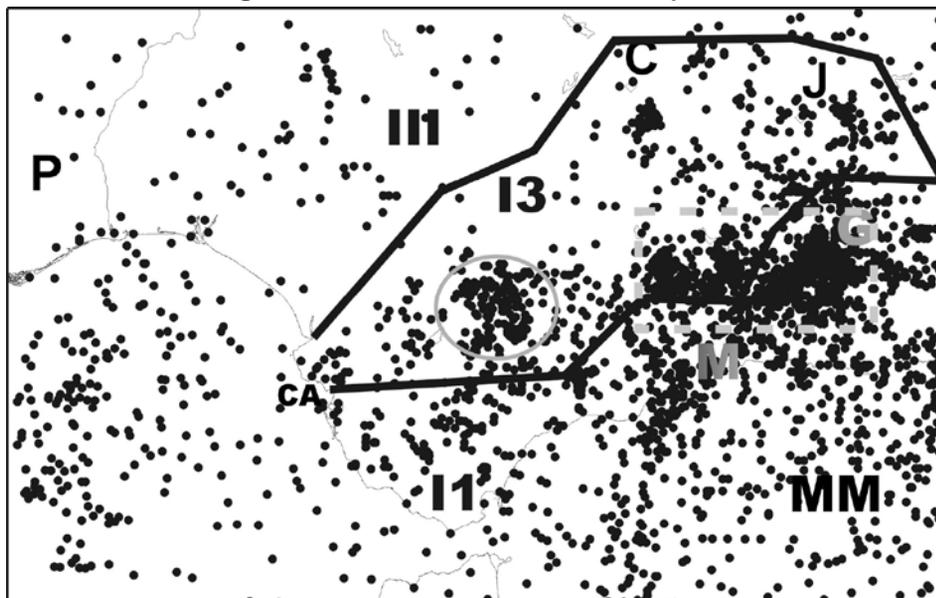
Los PP delimitados en C son de 4 órdenes: Primero (vertiente N de los 2 ríos de 6° orden); Segundo (3 al S y 3 al N); Tercero (2 al S y 7 al N) y Cuarto (4 al N). El dibujo hipsométrico en el territorio de C-M es muy complejo e irregular. Existe basculamiento de las estructuras en C: 1) al N del PP de 1<sup>er</sup> orden del NE-SW; 2) al S del PP de 1<sup>er</sup> orden del NO-SE. Pero no lo hemos determinado en M. Hay diferencias en el total de escalones morfoestructurales del relieve, C y M tienen 4 y 7, respectivamente. La intensidad de los levantamientos neotectónicos muestra sectores de distinto orden y sus valores representan el 33% en C y el 82% en M. Además, la cantidad de superficies de cimas delimitadas difiere en ambos territorios, esto permite inferir la diferencia en actividad de tipo vertical, siendo mucho mayor en M que en C.

En M las cuencas de 4º orden, delimitadas por el PP de ese mismo orden, tienen ciertas características de interés tectónico. Así, en M-Marbella hay una extensa cuenca que es paralela a la línea de costa, dirección E-W. Mientras que al E de M (Marbella-Punta de la Chullera) son 8 las cuencas de 4º orden (mucho menores en área que la localizada en la parte W), y tienen dirección NW-SE. En las cuencas de 5º y 6º orden (M-Vélez M) se identifica otra serie de elementos del relieve paralelos a la costa. Así, es factible asumir que la diferenciación, con respecto a C, está justificada por variaciones laterales en la convergencia de las placas.

Hay 7 alineaciones de C que se relacionan con inflexiones de los PP: 1) Jerez de la Frontera-Medina-Sidonia-Benalup-Casas Viejas (dirección NW, 64 km); 2) San Fernando-Vejer de la Frontera-Barbate (NW, paralelo al anterior, 40 km); 3) Algeciras-Los Barrios-Embalse del Guadalcin II (dirección NNW, 46 km); 4) Sierra del Aljibe-Sierra de Libar-Sierra del Palo-Ronda (M) (dirección NE, 38 km); 5) La Barca de la Honda-Arcos de la Frontera-Villamartín-Puerto Serrano (dirección NE, 38 km); 6) Sevilla-Montellano-Sierra del Pozo Amargo (dirección E-W, 38 km); 7) Rota-El Cuervo (N de Jerez de la Frontera) (dirección NE, 46 km). Estas alineaciones se corresponden con segmentos de las 30 alineaciones determinadas con las morfoisohipsas y las fotos.

El río Guadiaro, en el extremo NW de M, tiene dirección NNE-SSW y corre paralelo al PP 1º orden (al W de Roda) entre las Sierras de las Salinas, del Palo, Blanquilla y de los Prios. El río va encajado entre Jimena de Libar y las Sierras del Palo y Blanquilla, con un  $K_s = 0.98$ . Determinamos 3 anomalías y asimetría transversal en la parte SE (en Sierra de los Pinos y Cortes de la Frontera). Paralelo y al SE de este río aparece el río Genal que discurre encajado por la Serranía de Ronda. En él hemos detectado varias afectaciones por fracturas transversales y perpendiculares en Faraján-Benalauria-Benarrabá-Gaucín que reducen el valor del  $K_s$  a 0.78. Esta zona está al NW de las de cuencas de 4º orden que drenan entre Estepona y Marbella, ya comentadas; este entorno fluvial y sus deformaciones son resultado de compresiones NE.

**Figura 6.** Unidades Territoriales mayores



Aparecen: 1) los macrobloques (I y II); 2) mesobloques (I1 e I3); 3) localidades (C= Córdoba, CA= Cádiz, G= Granada, J= Jaén, M= Málaga, MM= Mar Mediterráneo); 4) epicentros de terremotos= círculos negros; 5) círculo y rectángulo señalan áreas de agrupaciones epicentrales.

Del estudio de la PI (Cotilla y Córdoba, 2004) hay en Andalucía 5 alineaciones principales de 1<sup>er</sup> y 2<sup>o</sup> orden (A1, A2, L1, L2, y L3) y 6 nudos de 1<sup>o</sup>-3<sup>er</sup> orden (N1, N2, N3, N6, y N7); sin embargo, en C y M solo están 3 alineaciones A1, A2 y L1, pero los nudos no. En las inmediaciones de Motril (Almería) está el nudo N1, que dista, aproximadamente, 20 km de la región de M; por consiguiente, tiene influencia en ella.

Datos del macrobloque (I= Merdional) en C y M están en la tabla 1. En las tablas 2-5 y la figura 6 aparecen las UT de menor orden. Los 2 territorios están en los mismos mesobloques del S de la PI (denominados I1 e I3). El I1 (6/8 partes del total) tiene el mayor área y es el más activo. La zona de M (Figura 7) es más activa que la de C. En la figura 6, hay 2 agrupaciones epicentrales (indicadas con un círculo y un rectángulo), que luego del procesado con diferentes filtros delimitan 2 zonas sismoactivas (Figura 2A).

**Tabla 1.** Características de los macrobloques

Características	Cádiz	Málaga
Área (km <sup>2</sup> )	~3,300	~4,000
Longitud de costas (km)	1,620	1,490
Altitud máxima (m)	~1,900	~1,900
Altitud media (m)	~490	~700
Cantidad de Divisoria Principal de Primer Orden	1	1
Dirección predominante de la DPPO	NE-SW	N-S
Coefficiente de sinuosidad de la DPPO	0.70	0.56
Cantidad de cuencas fluviales (Septentrionales / Meridionales)	5 / 240	20 / 565
Orden máximo de los ríos	6	6
Cantidad de sectores anómalos en los ríos	98	267
Cantidad de superficie de cimas	158	464
Cantidad de mesobloques / bloques / microbloques / nanobloques	2/18/98/192	2/11/136/206
Cantidad de alineaciones principales	17	12
Cantidad de intersecciones principales 3 <sup>er</sup> / 4 <sup>o</sup> orden	234	398
Cantidad de nudos (3 <sup>er</sup> / 4 <sup>o</sup> orden)	8 / 12	5 / 6
Dirección predominante de las fracturas	N-S	N-S
Magnitud del terremoto más fuerte	6.5	6.8

**Nota:** DPPO= Divisoria Principal de Primer Orden.

**Tabla 2.** Composición de los mesobloques

Provincia	Bloques	Microbloques	Nanobloques	Intersecciones/ nudos	Valles (V/U)
Cádiz	18	98	192	265/20	63/95
Málaga	11	136	206	481/12	142/161
<b>Total</b>	29	234	398	746/32	205/256

Las principales características de los sistemas de alineaciones se presentan en las tablas 6-8. Las intersecciones o nudos principales entre estos elementos se dan las tablas 6 y 9. La información permite valorar las zonas y áreas más activas. Ellas se localizan tanto en la zona de costa, como en el interior del territorio, siendo relevantes aquellos que son los más extensos, como por ejemplo el L1 en C y M. El total de nudos configurados con las alineaciones principales resulta diferente para C= 20 y M= 12. Esto se explica a partir de las longitudes de las alineaciones y



su regularidad espacial. Los morfoalineamientos coinciden en sectores o segmentos con los presentados a partir de los estudios de morfoisohipsas y de la red fluvial.

Los valores de la fracturación del relieve y las características de las fracturas por bloques en C y M, resultan ser similares. Así hay en C y M, 0.03 y 0.04 (cantidad de fracturas / km<sup>2</sup>), respectivamente. Relacionado con esto está la afectación a estructuras de circulación vial, 9 en cada una. También, se han visto algunos corrimientos de laderas, de pequeña magnitud, como en Prado del Rey, inmediato a la carretera de El Bosque; y en el río Guadalete, cerca de Puerto Serrano.

**Tabla 3.** Datos de los bloques en Cádiz / Málaga

B	M	N	Dirección	Valles		Superficies de cimas	
				V	U	Planas	Puntiagudas
1	2/10	4/21	N-S/NE	-/16	2/21	5/26	-/39
2	4/8	10/15	NW/N-S	-/20	4/18	5/17	-/25
3	4/10	11/17	NW/N-S	1/12	5/14	6/15	-/19
4	6/18	15/26	NW/N-S	6/19	9/20	5/25	2/32
5	5/26	11/41	NW/N-S	6/23	9/27	7/35	2/47
6	5/12	11/15	NW/N-S	5/17	9/7	5/16	3/25
7	4/5	7/7	N-S/NW	1/2	3/3	4/4	-/1
8	3/12	5/20	N-S/N-S	2/16	3/20	5/25	-/30
9	6/16	12/23	N-S/N-S	4/17	6/15	7/21	1/33
10	6/9	14/11	N-S/N-S	7/3	7/7	9/15	4/5
11	8/10	16/10	N-S/N-S	2/7	4/9	5/14	2/5
12	11/-	19/-	N-S/-	9/-	11/-	9/-	5/-
13	14/-	21/-	NW/-	14/-	9/-	5/-	7/-
14	12/-	20/-	NW/-	3/-	2/-	3/-	3/-
15	2/-	4/-	N-S/-	-/-	2/-	5/-	-/-
16	2/-	4/-	NE/-	1/-	3/-	4/-	-/-
17	2/-	4/-	NE/-	1/-	3/-	4/-	-/-
18	2/-	4/-	N-S/-	1/-	3/-	4/-	-/-
<b>Total</b>	98/136	192/206	-/-	63/142	94/161	100/193	29/261

Nota: B= bloques, M= microbloques, N= nanobloques

### Discusión final y conclusiones

Al emplear más de 40 indicadores, para la clasificación morfotectónica supervisada del relieve, aseguramos que las características del segmento C-M tiene diferencias respecto a los 3 segmentos localizados al E



(Almería-Jaén, Córdoba-Granada y Murcia). Todos están en la microplaca Ibérica, y por la metodología aplicada en al megabloque PI. Ellos están en la zona de interacción de placas.

Delimitamos en C-M 5 tipos de UT (macrobloques= 2, mesobloques= 2, bloques= 29, microbloques= 44 y nanobloques= 202) en relaciones espacio-temporales actuales con 29 alineaciones principales y 32 nudos (Figuras 6 y 7). El 59% de los bloques es muy activo o activo, y el territorio tiene un valor promedio de ~0.03 fracturas / km<sup>2</sup>.

**Tabla 4.** Breve descripción de los bloques en Cádiz

Bloques/ Clasificación	Denominación (localidades)	Nudos (Siglas)	Mesobloque / Nudos
1/PA	(Puerto Real, Chiclana de la Frontera)	L1, LC11, ALC3	Mer/5
2/PA	(Paterna de Rivera, Los Islotes)	L1, LC2, LC10	Mer/5
3/PA	(Sierra Valleja, Sierra de Aznar, Algar)	L1, LC1, LC3	Mer/4
4/A	(Puerto del Rey, Sierra de Zafalgar)	L1, LC3, LC4	Mer/3
5/MA	(Algodonales, El Gastor)	L1, LC4, LC5	Mer/3
6/A	(Alcalá del Valle, Sierra Blanquilla)	L1, LC5	Mer/2
7/PA	(Medina-Sidaria, Cortijo del Yeso)	LC2, LC7, ALC3	Mer/3
8/PA	(Conil de la Frontera, Cantabria, Cucarrete)	LC7, ALC2	Mer/4
9/A	(Sierra Labrada, Sierra de la Sal)	LC1, LC9, LC10, ALC2	Mer/5
10/MA	(Sierra del Aljibe, Alcalá de los Gazules)	LC1, LC3, LC9, ALC2	Mer/4
11/A	(Barbate, Sierra de Retín, Algeciras)	LC6, LC8	Mer/2
12/PA	(Los Alcornocales, Sierra Blanquilla)	LC6, LC8, ALC2	Mer/3
13/PA	(Sierra de Momia, El Jantor, Los Barrios)	LC3, ALC6, ALC2	Mer/6
14/A	(Zorrera, Cerro Gordo)	LC3, LM6 (Málaga)	Mer/2
15/NA	(Rota, Chipiona, Sanlúcar de Barraeda)	L1, LC12	Sep/2
16/NA	(Jérez de la Frontera)	L1, LC12, LC13	Sep/2
17/NA	(Bornos)	L1, LC13, LC14	Sep/2
18/NA	(Puerto Serrano)	L1, LC14, LC15	Sep/2

**Nota:** A= activo; MA= muy activo; NA= no activo; PA= poco activo; Mer= meridional; Sep= septentrional.



**Tabla 5.** Breve descripción de los bloques en Málaga

Bloques/ Clasificación	Denominación (localidades)	Nudos (Siglas)	Mesobloque / Nudos
1/A	(Gaucín, Loma de los Olivos, Ronda)	L1, LM1, LM6, LM9	Mer/5
2/A	(Estepona, Sierra Bermeja)	LM1, LM2	Mer/3
3/A	(Marbella, Coin)	LM2, LM4	Mer/5
4/A	(Málaga, Camino Real)	LM3, LM7, ALM1	Mer/2
5/MA	(Vélez-Málaga, Nerja)	L1, LM3	Mer/3
6/A	(Sierra del Pala, Corte de la Frontera)	LM1, LM5	Mer/2
7/PA	(Sierra las Cumbres, Cuevas del Becerro)	L1, LM1, LM5	Mer/2
8/MA	(Alozaina, Sierra Prieta)	L1, LM4, LM6, ALM1	Sep/4
9/A	(Antequera, Arroyo de los Molinos)	L1, LM4, LM7, ALM1	Sep/5
10/MA	(Campillos, Almargen)	L1, LM6, ALM2	Sep/5
11/A	(Cuevas Bajas, Villanueva de Tapia)	L1, LM6, ALM2	Sep/3

**Nota:** A= activo; MA= muy activo; NA= no activo; PA= poco activo; Mer= meridional; Sep= septentrional.

**Tabla 6.** Resumen de las alineaciones y nudos (Cádiz / Málaga)

Alineaciones	Orden			Nudos	Orden		
	2	3	4		2	3	4
17/12	1/1	9/7	7/4	20/12	-/1	8/5	12/6

Se encontraron en C: I) 2 zonas compresivas: 1) Madina-Sidonia-Paterna de Rivera (inmediaciones del nudo CV7 de 4º orden, en Giletés); 2) Sierra de las Cabras (cerca del nudo CV4 de 3º orden, en Sierra Vaquera); II) 2 importantes anomalías fluviales: 1) Verjer de la Frontera-Barbate (nudo CA7 de 4º orden, en Barbate); 2) La Barca de la Horida (nudo CM1 de 3º orden, en Torrecera). Estas zonas y anomalías están en los contactos de 4 grupos de bloques: B3-B9-B10, B1-B2, B1-B2-B16 y B8-B11-B12. El grado de actividad de esos son 9 bloques es: uno muy activo, dos activos, cinco poco activos y uno no activo, Estos conforman una figura geométrica triangular (área ~600 km<sup>2</sup>). Esta zona activa del mesobloque I1 se inscribe, completamente, al N del PP de Primer Orden, justamente donde tiene una muy brusca inflexión al S, hacia Tarifa (Ks= 0.33) y dista a 20 km al E de El Puerto de Santa María (figura 8).

En M se tienen: I) dos zonas compresivas: 1) Benmargosa-Comares (nudo MV6 de 4º orden, en Villalón); 2) Sierra de las Salinas-Sierra de los Mimos-Sierra de Ortegicar (nudos MV3 y MM12, ambos de 3º orden, y en Ronda y Embalse Gudaltela, respectivamente); II) una anomalía



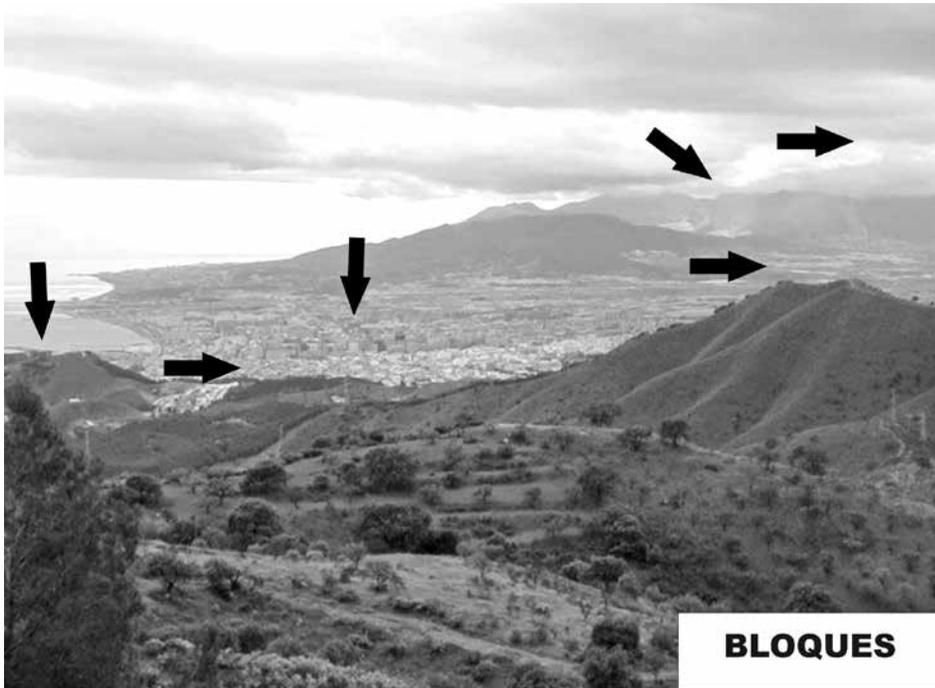
fluvial en Pizarra-Cartama (nudo MV4 de 4° orden, en Cabras). Las zonas y la anomalía mencionadas aparecen en 4 grupos de bloques: B1-B6-B7, B1-B8-B9, B4-B5, y B1-B7-B10. La cantidad total de bloques involucrados es 9 (3 muy activos, 5 activos y 1 poco activo el mesobloque I1 y al N del PP de Primer Orden (figura 9). En este sentido, el PP y conforman un paralelogramo ( $\sim 800 \text{ km}^2$ ), aproximadamente, paralelo a la costa, 25 km al N de Marbella. Los nudos y las deformaciones están en el W. En las figuras 8 y 9 se observan representaciones de la AS y de la densidad de epicentros, las cuales se corresponden bien en cuanto a dirección con las estructuras.

Desde el punto de vista de la sismoactividad y sobre la base de los trabajos de los autores, hay 4 segmentos en el S peninsular (C-M, Almería-Granada, Córdoba-Jaén y Murcia). Aseguramos que: 1) hay buena correspondencia entre la sismicidad y las estructuras delimitadas en la zona de Almería-Jaén; 2) en algunas de las morfoestructuras de Córdoba-Granada hay evidentes relaciones con la sismicidad, aunque en Córdoba los valores son menores que en Granada, donde existe un sector sismoactivo de  $\sim 820 \text{ km}^2$  entre las localidades de Beas de Granada-Lentejón-Loja; 3) las zonas de intersección de alineaciones en Murcia resultan ser muy activas (orden/cantidad) son: 2°/1, 3°/12, 4°/25, 5°/38; aunque su actividad es moderada, y de menor nivel que en Granada; 4) la correspondiente a C-M es también de menor nivel que en Granada, pero similar a la de Murcia; 5) las 5 isosistas indicadas para C, en el punto 14 del epígrafe de Sismicidad, se relacionan con los nudos y alineaciones aquí determinados. Así tenemos que: A) con nudos se corresponden los terremotos de: A.1) San José del Valle ( $M= 4.2 / h= 69 \text{ km}$ ) en el nudo CM1, que está en la zona de mayor actividad; A.2.1) Puerto Serrano ( $M= 3.7 / h= 29 \text{ km}$ ) en el nudo CA4; A.2.2) Coripe ( $M= 3.4 / h= 5 \text{ km}$ ) en el nudo CA4; B) con alineaciones se corresponden los terremotos de: B.1) Jerez de la Frontera ( $M= 3.3 / \text{superficial}$ ) en el alineamiento L1; B.2) el terremoto de Prado del Rey ( $M= 3.5 / h= 20 \text{ km}$ ) en el alineamiento LC3.

Otras características de las 2 zonas activas de C y M son: 1) el alineamiento L1 enlaza a los nudos de 3° orden CM1 (Cádiz) y MM12 (Málaga); 2) el 100% de los bloques de M involucrados tienen actividad; mientras que en C son el 61%; 3) la zona de C es hipsométricamente inferior a la de M; 4) la zona de C ( $36^\circ 10' \text{ N} / 36^\circ 38' \text{ N}, 5^\circ 41' \text{ W} / 5^\circ 56' \text{ W}$ ) está localizada un poco más al S que la de M ( $36^\circ 44' \text{ N} / 36^\circ 57' \text{ N}$ ,

5° 13' W / 4° 24' W) y distan entre sí ~40 km; 5) las figuras geométricas de esas 2 zonas se corresponden muy bien con los trazos de las líneas de costa, respectivas, y los elementos morfológicos observados; 6) las áreas sismoactivas de C, M y Granada tienen un valor del mismo orden, aunque el menor de ellos corresponde a C.

**Figura 7.** Foto de un bloque en la provincia de Málaga



(Aparece la ciudad en un escalón altitudinal bajo y relativamente llano; se indican otros 5 niveles hipsométricos de la zona (flechas gruesas negras)).

**Tabla 7.** Datos de las alineaciones principales en Cádiz

Alineaciones [Siglas]	Localidades	Dirección / Longitud (km)	Orden / Ks	Nudos [Siglas] (cantidad)
L1	Cádiz, Jerez de la Frontera	NE/116	2/0.85	CA1, CA2, CA3, CA4, CA5, CM1, CM2 (7)
ALC3	San Fernando	NW/18	3/0.80	CA4 (1)
LC2	Torrecedera, Los Giletes	NW/28	3/0.90	CA9, CM1, CV3, CV7 (4)
LC3	San Enrique, Jimena de la Frontera	N-S/70	3/0.76	CA3, CV1, CV5, CV8 (4)
LC4	Sierra Vaquera, Algodornales	NW/18	3/0.80	CA4 (1)
LC5	Peñón de Zaframagón, Alcalá del Valle	NW/26	3/0.91	CA5, CV6 (2)
LC12	Jérez de la Frontera, Sierra Gamuza	NE/>30	3/0.88	CA2 (1)
LC13	Arcos de la Frontera, Sierra del Calvario	NE/>30	3/0.87	CM2 (1)
LC14	Embalse de Bornos, La Cierva	NE/10	3/0.97	CA3 (1)
LC15	Sierra Vaquera, Cerro Galindo	N-S/10	3/0.95	CA4 (1)
LC1	La Pedrosa, Algar	E-W/30	4/0.85	CM2, CV4, CV5 (3)
LC6	Embalse del Milagro, Cerro de las Plata	NW/40	4/0.65	CA8, CV9 (2)
LC7	Chiclana de la Frontera, Cortijo del Huerto	NW/25	4/0.98	CA6, CA9 (2)
LC8	Barbate, Los Barrios	NW-E-W/30	4/0.65	CA7, CV9 (2)
LC9	Cortijo de Isla Verde, Algar	NE/30	4/0.70	CV2, CV4 (2)
LC10	La Pedrosa, San José del Valle	N-S/28	4/0.92	CM2, CV3 (2)
LC11	Puerto Santa María, Cortijo del Campanero	NW/26	4/0.98	CA1, CV7 (2)

**Nota:** Ks= coeficiente de sinuosidad.

Un resumen de las principales características morfotectónicas de las 4 regiones (Almería-Granada, C-M, Córdoba-Jaén y Murcia) está en la tabla 10. Esto permite comparar los datos y sostener que: 1) El segmento C-M es morfotectónicamente similar a los otros 3 segmentos; 2) el segmento de Almería-Granada es el más activo de los 4; 3) se confirma que la macroregión C-Murcia es tectónicamente activa y representa muy bien las características de la zona de interacción entre las placas africana y del sector euroasiático en la PI. Además, se evidencia el nivel de la actividad en las regiones meridionales y, se comprende que las zonas más activas son Almería y Granada.



**Tabla 8.** Datos de las alineaciones principales en Málaga

Alineaciones [Siglas]	Localidades	Dirección / Longitud (km)	Orden / Ks	Nudos [Siglas] (cantidad)
L1	Sierra de Molina, Sierra Llana	E-W/70	2/0.89	MN8, MN9, MN12, MA7 (4)
ALM1	Charriana, Pizarra, Alora	NW/40	3/0.80	MM8, MV5, MV4 (3)
ALM2	Palenciana, Benamejí	E-W/60	3/0.87	MM11 (1)
LM1	Serrato, Sierra de las Salinas	N-NE/80	3/0.71	MM12, MV2, MV3 (3)
LM3	Torre del Mar, Vélez-Málaga	NE/70	3/0.86	MN9, MV3 (2)
LM5	Sierra de las Cumbres, Zahara	NW/30	3/0.91	MV3 (1)
LM6	Lomas de Chapera, Sierra de las Nieves	NE/32	3/0.94	MN8, MN10 (2)
LM8	Huerta del Río, Cuevas Bajas	N-S/20	3/0.81	MA7, MN11(2)
LM2	Marbella, Sierra Real	N-NW/20	4/0.88	MN10, MN11 (2)
LM4	Tolox	E-W/30	4/0.93	MN10, MN11, MV4 (3)
LM7	Santa Rosa, Almogía	NE/25	4/0.79	MV5, MV6 (2)
LM9	Gaucín, Sierra de la Hidalga	NE/40	4/0.88	MN10, MV2 (2)

**Nota:** Ks= coeficiente de sinuosidad.

Los Grupos II y III mencionados en el punto 12 del epígrafe de Sismicidad, caen fuera de la zona de estudio (C-M); pero el Grupo I se relaciona con: 1) el Golfo de C, donde están las alineaciones A1 y L1, y los bloques 1 y 15 de C; 2) el tramo de Ubrique-Carmona está al E del nudo CV5, donde las Sierras de Ubrique-de las Viñas-de Caillo-del Endrina (pertenecientes a M) y a 18 km al E del nudo NV4 (de la zona activa de C); 3) el segmento de M-Adra, donde se distingue el bloque 5 de M, que es muy activo.

Por último, se confirma que los Ks (de la costa / del PPPO) son muy diferentes en las partes septentrional (0.88 / 0.81) y meridional (0.62 / 0.57) del megabloque PI. También, las cantidades de UT menores difieren: a) parte septentrional (bloques= 182, microbloques= 135, nanobloques= 293); b) parte meridional (bloques= 131, microbloques= 348, nanobloques= 1,178). Empleando las relaciones entre cada par de estas 3 UT se tienen los siguientes valores: Bloques septentrionales / Bloques meridionales= 1,34; Microbloques septentrionales / Microbloques meridionales= 0.84; y Nanobloques septentrionales / Nanobloques meridionales = 0.24. Se aprecia un cambio, muy drástico en los 2 rangos inferiores (micro y nanobloques), los cuales entendemos que son el resultado de la actividad convergente actual en la parte meridional de la PI. Así, se puede asegurar que los datos morfotectónicos se corresponden con la dinámica actual del territorio.

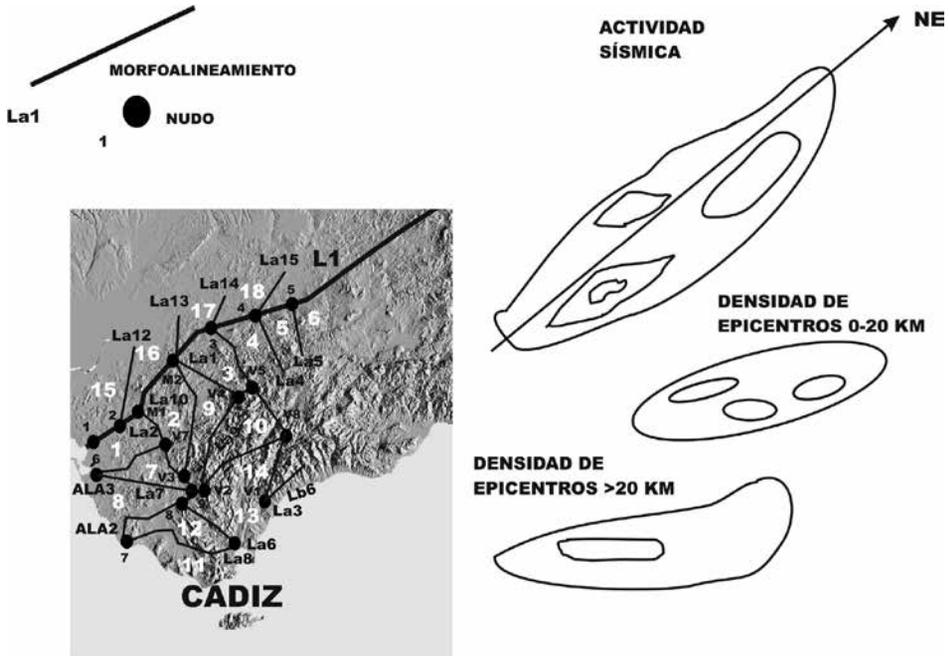


**Tabla 9.** Resumen de las intersecciones principales en Cádiz y Málaga

Cádiz		Málaga	
Nudos/Orden/ Denominación	Compuesto por las alineaciones	Nudos/Orden/ Denominación	Compuesto por las alineaciones
CA1/3/Puerto Santa María	L1	MM1/2/Cuevas Bajas	LM8, ALM2
CA2/3/Jerez de la Frontera	L1-LC2-LC12	MV2/3/Ermita del Rosario	LM1, LM9
CA3/3/Embalse de Bornos	L1-LC3-LC14	MV3/3/Ronda	LM1, LM5
CA4/3/Sierra Vaquera	L1-LC4-LC15	MV8/3/Sierra Llana	L1, LM6, ALM1
CA5/3/Zaframagón	L1-LC5	MM9/3/Embalse Gaitane	L1, LM3, LM8
CA9/3/Benalup-Casas Viejas	ALC2,ALC3,LC2	MM12/3/Embalse Gudaltela	L1, LM8
CM1/3/Torrepera	L1-LC2	MA7/4/Gudaltela	L1, LM8
CM2/3/La Pedrosa	L1-LC2-LC13	MN10/4/Huerta del Río	LM2, LM4, LM6
CA6/4/Chiclana de la Frontera	ALC3-LC7	MN11/4/Sierra de las Nieves	LM2, LM4, LM6, LM9
CA7/4/Barbate	ALC2-LC8	MV4/4/Villalón	LM4, ALM1
CA8/4/Embalse del Mlagro	ALC2-LC6	MV5/4/Campanillas	LM4, LM7
CV1/4/Sierra Almenara	LC3-LM6 (Málaga)	MV6/4/Cabras	LM3, LM7
CV2/4/Momia	LC9-ALC2		
CV3/4/Covatillas	LC2-LC10		
CV4/4/Algar	LC1-LC9		
CV5/4/Fátima	LC1-LC3		
CV6/4/Olvera	LC5, LC23		
CV7/4/Los Giletes	LC2-LC11		
CV8/4/Cortijo del Lobo	LC3-ALC2		
CV9/4/Los Barrios	LC6-LC8		

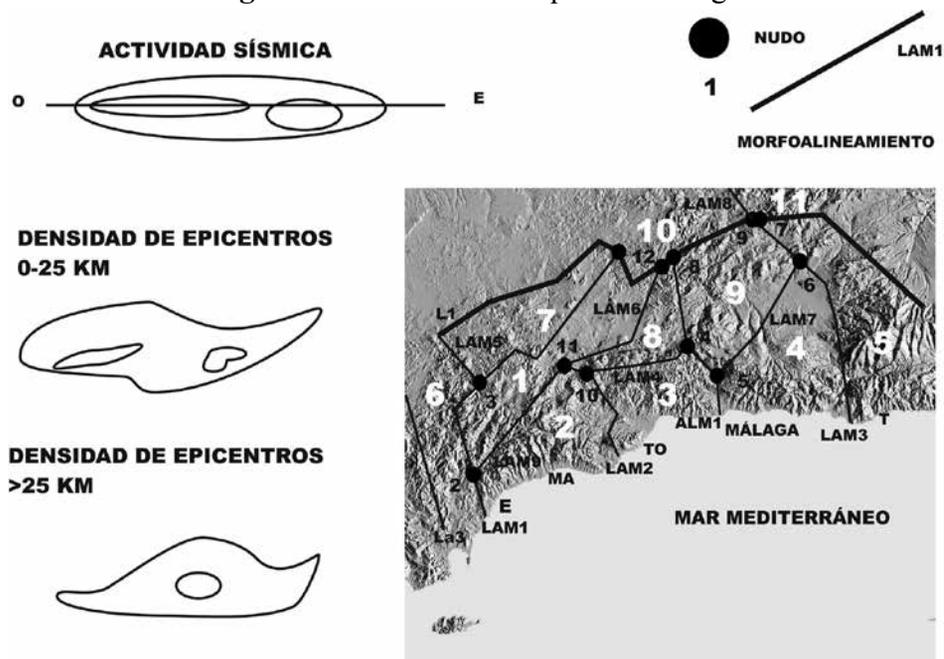


**Figura 8.** Sistemas de bloques de Cádiz



Se representan: 1) los bloques con números blancos (ver Tablas 3A y 4A); 2) los morfoalineamientos con líneas negras (ver Tabla 8); 3) los nudos con círculos negros (ver Tabla 9). Se dan las representaciones simplificadas de la Actividad Sísmica y la Densidad de Epicentros (para 2 rangos de profundidad).

**Figura 9.** Sistemas de bloques de Málaga



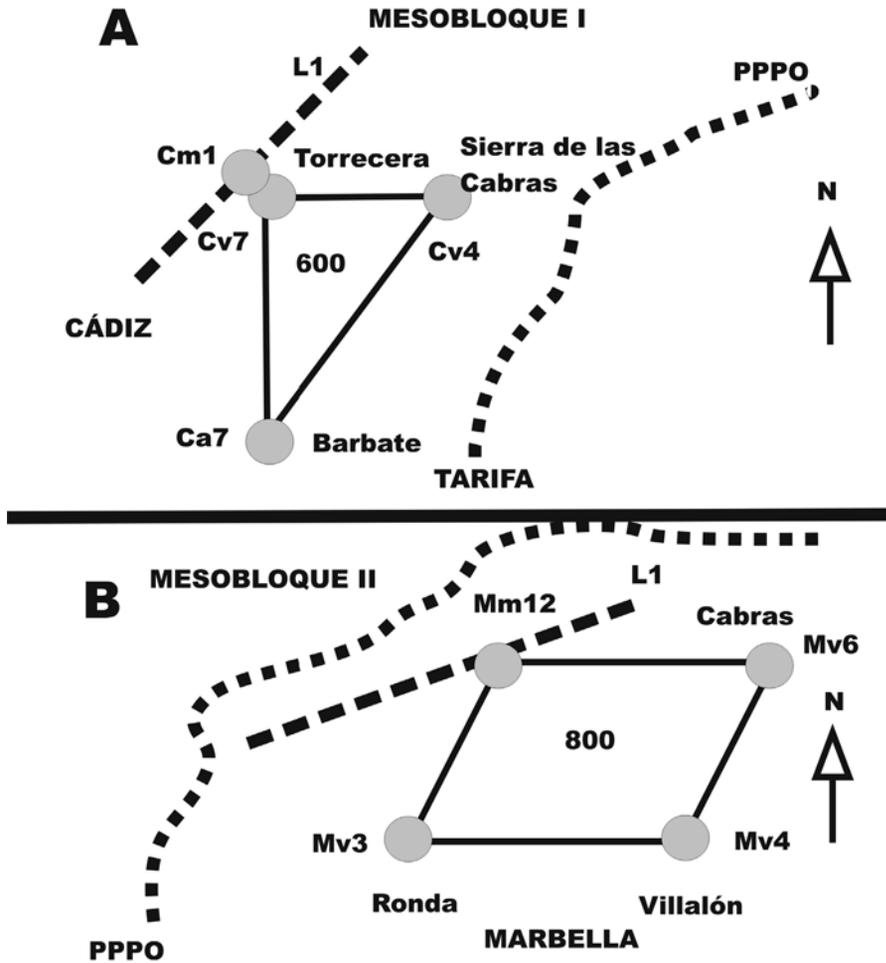
Se representan: 1) los bloques con números blancos (ver Tablas 3A y 5A); 2) los morfoalineamientos con líneas negras (ver Tabla 8); 3) los nudos con círculos negros (ver Tabla 9). Se dan las representaciones simplificadas de la Actividad Sísmica y la Densidad de Epicentros (para 2 rangos de profundidad).

**Tabla 10.** Resumen de las Unidades Territoriales del sur de la Península Ibérica

Región	Macro/Meso	Bloques	Micro	Nano	Alinea	Nudos	Escarpes
Al-Gr	2/5	Al=13 /Gr=9	Al=36 /Gr=32	Al=110 /Gr=58	Al=29 /Gr=25	Al=26/ Gr=46	Al=10 /Gr=17
C-M	2/2	C=18 /M=11	C=18 /M=26	C=90 /M=112	C=17 /M=12	C=20 /M=20	C=4 /M=7
Co-J	2/4	Co=9 /J=24	Co=16 /J=60	Co=51 /J=257	Co=16 /J=52	Co=28 /J=57	Co=7 /J=9
Mu	2/3	47	160	500	15	17	9
<b>Total</b>		131	348	1,178	166	206	63

**Nota:** Al-Gr= Almería-Granada; C-M= Cádiz-Málaga; Co-J= Córdoba-Jaén; Mu= Murcia; Macro= macrobloque; Meso= mesobloque; Micro= microbloque; Nano= nanobloque; Alinea= alineamiento.

**Figura 10.** Esquemas de las dos áreas sísmoactivas el segmento Cádiz-Málaga (ver Figura 1C)



Cádiz. Aparecen: 1) cuatro nudos (CA7, CM1, CV4 y CV7); 2) un alineamiento (L1); 3) el Parteaguas Principal de Primer Orden (PPPO); 4) el valor del área en km<sup>2</sup>.

Málaga. Aparecen: 1) cuatro nudos (MM12, MV3, MV4 y MV6); 2) un alineamiento (L1); 3) el Parteaguas Principal de Primer Orden (PPPO); 4) el valor del área en km<sup>2</sup>.

## Agradecimientos

A la Facultad de CC Físicas y en particular al Departamento de Geofísica y Meteorología, Universidad Complutense de Madrid, por la utilización de los recursos informáticos y bibliográficos. Este trabajo fue financiado en parte con los proyectos: TOPOIBERIA (CSD2006/0041) y TSUJAL (CGL2011-29474-C02-01). Las figuras las preparó Amador García Sarduy. Los evaluadores y filóloga de la Revista han realizado sugerencias que han mejorado la exposición del trabajo.

## Referencias

- Alekseevskaya, M., Gabrielov, A., Gelfand, I., Gvishiani, A. y Rantsman, E. (1977). Formal morphostructural zoning in mountain territories. *Journal Geophys*, 43, 227-233.
- Assinovskaya, B.A. y Solovyev, S.L. (1994). Definition and description of the sources zone of potencial earthquakes in the Barents Sea. *Physics of the Solid Earth*, 29(8), 664-675.
- Buform, E., Bezzeghoud, M., Udías, A. y Pro, C. (2004). Seismic sources on the Iberia-African Plate Boundary and their tectonic implications. *Pure appl. geophys*, 161, 623-646.
- Buform, E., Sanz de Galdeano, C. y Udías, A. (1995). Seismotectonics of the Ibero-Maghrebian region. *Tectonophysics*, 248, 247-261.
- Calvert, A., Sandool, E., Seber, D., Barazangi, M., Roeker, S., Mourabit, T., Vidal, F., Alguacil, G. y Jabour, N. (2000). Geodynamic evolution of the lithosphere and upper mantle beneath the Alboran region of the western Mediterranean: Constraints from travel time tomography. *Journal Geophys. Res.*, 105, 10.871-10.898.
- Capote, R., Insua, J.M., Martínez-Díaz J.J., Martín-González F. y Tsige M. (2002). La serie de Cártama: Pliegue con actividad reciente en las Béticas Occidentales (Hoya de Málaga). *Geogaceta*, 31, 135-138.
- Cotilla M.O. y Córdoba D. (2009). Morfotectónica de Murcia, España. *Revista Geográfica*, 146, 77-110.
- Cotilla, M.O. y Córdoba, D. (2007). A morphotectonic study of the Central System, Iberian Península. *Russian Geology and Geophysics*, 48(4), 378-38.
- Cotilla, M.O. y Córdoba, D. (2004A). Morphotectonics of the Iberian Peninsula. *Pure appl.geophys*, 42(4), 589-602.

- Cotilla, M.O. y Córdoba, D. (2004B). Present geomorphological characteristics of Alboran islet and surroundings, Spain: a diagnosis. *Geogr. Fis. Dinam. Quat.*, 27, 3-19.
- Cotilla, M.O. y Córdoba, D. (2003). Caracterización morfotectónica de Galicia, España. *Revista Geofísica*, 58, 5-56.
- Cotilla, M.O. y Córdoba, D., (en prensa). Delimitación de unidades morfotectónicas en el sector Almería-Jaén, España. *Revista Geológica Colombiana*. En prensa.
- Cotilla, M.O., Córdoba, D. y Herraiz M. (2004). Main morphotectonic characteristics of Asturias, Spain. *Geofísica Internacional*, 44(1), 65-101.
- Cotilla, M.O., Córdoba, D. y Sánchez, F. (2003). Morphotectonic study of two regions in the Centre-South segment of Spain: Córdoba and Granada. *Geotectonics*, 47(3), 215-240.
- Galindo-Zaldívar, J., González-Lodeiro, F. y Jabaloy, A. (1993). Stress and paleostress in the Betic-Rif cordilleras (Miocene to the present). *Tectonophysics*, 227, 105-226.
- Gatinsky Yu., G. y Rundquist, D.V. (2004). Geodynamics of Eurasia: Plate tectonics and block tectonics. *Geotectonics*, 38(1), 1-16.
- Gorshkov, A.I., Kuznetsov, I.V., Panza G.F. y Soloviev A.A. (2000). Identification of future earthquake sources in the Carpatho-Balkan orogenic belt using morphostructural criteria. *Pure appl. geophys.*, 157, 79-95.
- Gurría, E. y Mezcuca, J. (2000). Seismic tomography of the crust and the lithospheric mantle in the Betic Cordillera and Alboran Sea. *Tectonophysics*, 329, 99-119.
- Henares, J. y López, C. (2001). *Catálogo de mecanismos focales del área Ibero-Mogrebí*. (Editores: C. López Casado). Universidad de Granada, Instituto Andaluz de Geofísica y Prevención de Desastres Sísmicos, Dpto. de Física Teórica y del Cosmos, 208.
- Herráiz M., De Vicente G., Lindo R., Giner J., Simón J.L., Gómez-Casado J.M., Vadillo O., Rodríguez-Pascuas M., Cicuendez, J.I., Casas, A., Cabañas, L., Rincón, P., Cortés, M., Ramírez, M. y Lucini, M. (2000). The recent (Upper Miocene to Quaternary) and present tectonic stress distribution in the Iberian Peninsula. *Tectonics*, 19(4), 762-786.



- Instituto Andaluz de Geofísica, IAG (2002). Recuperado de: <http://www.ugr.es/~iag/tensor>.
- Martínez, J. M. (2003). Sismicidad histórica de la Península Ibérica. *Revista Física de la Tierra*, 15, 13-28.
- Mezcua, J. y Rueda, J. (2006). Sismicidad, sismotectónica y evolución geodinámica de la Península Ibérica. *Revista Física de la Tierra*, 18, 137-155.
- Mezcua, J., Rueda, J. y García, R.M. (2004). Reevaluation of historic earthquakes in Spain. *Seismol. Res. Lett.*, 75, 75-81.
- Negredo A., Bird P., Sanz de Galdeano, C. y Buforn, E. (2002). Neotectonic modeling of the Ibero-Maghrbian region. *Journal Geophys. Res.*, 107, 1-10, 14.
- Rantsman, E. Ya. (1979). *Sites of earthquakes and morphostructures of mountain countries*. Editorial Nauka, Moscú, 171.
- Reicherter, K.R. y Peters G. (2005). Neotectonic evolution of the Central Betic Cordilleras (Southern Spain). *Tectonophysics*, 405 (pp. 191-212).
- Sanz de Galdeano, C., López, C., Delgado J. y Peinado, M.A. (1995). Shallow seismicity and active faults in the Betic Cordillera. A preliminary approach to seismic sources associated with specific faults. *Tectonophysics*, 248, 293-302.
- Soto, J.I. y Manzano, F.J. (2002). Geometría y cinemática de las fallas recientes en el margen septentrional del Mar de Alborán (sector de Maro, provincia de Málaga). *Geogaceta*, 31, 139-142.
- Zhidkov, M.P., Rotvain, I.M. y Sadowskiy, A.M. (1975). Pronóstico sobre las áreas más probables de ocurrencia de los terremotos más fuertes, IV. *Papers of Seismology*, 8, 53-70.