

## TECTONICA DE PLACAS Y LA EVOLUCION DEL BLOQUE JALISCO, MEXICO.

Joann M. Stock

California Institute of Technology 252-12  
Pasadena CA, 91125 USA

### INTRODUCCION

El Bloque Jalisco representa lo que se reconoce como un bloque tectónico, o microplaca, mas o menos rígido (Fig. 1a). Sabemos que se mueve de manera independiente con respecto a las placas circundantes (Rivera y Norte América) a través de dos zonas de deformación continental (el rift o graben de Tepic-Zacoalco y el rift o graben de Colima) y a lo largo de una zona de subducción en su límite costero con la placa oceánica de Rivera. Los rifts de Tepic-Zacoalco y de Colima se unen con el rift de Chapala, en el límite NE del bloque Jalisco, dando lugar a lo que es esencialmente un punto triple continental, cerca de Guadalajara, formado por la unión de: el bloque de Jalisco, el bloque de Michoacán y la placa de Norte América.

El desarrollo del bloque Jalisco, como bloque independiente, parece estar relacionado geoméricamente con la forma y dinámica de la placa de Rivera, así como también con la evolución del punto triple continental cerca de Guadalajara ya mencionado.

El estudio del bloque Jalisco representa un buen laboratorio para el desarrollo de modelos tectónicos que nos permitan estudiar el inicio de movimientos de microplacas, así como el fenómeno de una posible captura de un bloque continental por otra placa esencialmente oceánica (Luhr et al, 1985; Allan, 1990). Por ello resulta interesante saber con detalle como fue su evolución y como es su movimiento actual, con respecto a las placas circundantes.

### LIMITES ACTUALES DE LAS PLACAS Y BLOQUES DE LA ZONA

La sismicidad en la zona alrededor del bloque Jalisco nos permite ubicar la mayoría de los límites de las placas oceánicas colindantes. En la figura 2 se ven claramente los sismos de la zona de subducción entre la placa de Cocos y el bloque de Michoacán, este último se supone que forma parte de la placa rígida de Norte América. También se pueden ver los límites entre las placas: Rivera y Cocos, Rivera y Pacífico y Pacífico con Norte América. Algunos autores consideran que la parte septentrional de la placa de Cocos, al norte del

fracturamiento Orozco, comienza a comportarse como un fragmento independiente, debido al cambio de sismicidad en la trinchera a través de la misma zona de fracturamiento (Medina et al, 1987) y a las discrepancias cinemáticas observadas localmente en esa parte de la placa de Cocos, respecto a las placas Pacífico y Norte América (DeMets et al, 1990; DeMets y Stein, 1991; Bandy, 1992).

Resulta mas difícil ubicar los límites continentales del bloque Jalisco basándose en la sismicidad, pero estos se identifican a partir de las fallas activas y cuencas jóvenes existentes entre el bloque Jalisco y las placas Norte América y el bloque de Michoacán. Estos límites son zonas anchas: el rift de Colima tiene mas de 40 km de anchura y contiene varios volcanes (incluido el volcán de Fuego o de Colima), mientras que el rift Tepic-Zacoalco contiene al volcán Ceboruco y otros volcanes jóvenes. La propuesta extensión del movimiento de este rift hacia el oeste, donde se junta con el centro de dispersión en la desembocadura del Golfo de Baja California, no está aun muy clara. Puede unirse con la zona de fracturamiento Tamayo (Luhr et al., 1985) o estar localizado mas al norte (Bourgeois y Michaud, 1991). El límite entre el bloque Jalisco y la placa Rivera tiene poca sismicidad, lo cual nos indica que el movimiento es muy lento o que existe un proceso de subducción asísmica.

### MOVIMIENTO DEL BLOQUE JALISCO RESPECTO A LOS BLOQUES CIRCUNDANTES

Las observaciones geológicas de los rifts que rodean al bloque Jalisco nos pueden dar información sobre la velocidad y orientación del movimiento relativo en los límites del bloque. A este respecto debemos mencionar que los estudios son numerosos y se llevaría mucho espacio revisarlos aquí, pero una buena referencia para el lector la constituye el trabajo de Johnson y Harrison (1990), que permite ubicar el marco tectónico regional de las fallas de la zona mediante interpretaciones con datos de imágenes de satélite. La distensión total a través de la parte septentrional del graben de Colima es aproximadamente 1.5 - 3.3 km perpendicular a la zona (Allan, 1986), y no se ha identificado ninguna evidencia de movimientos laterales allí. Un estudio reciente (Serpa et al., 1992) no encontro

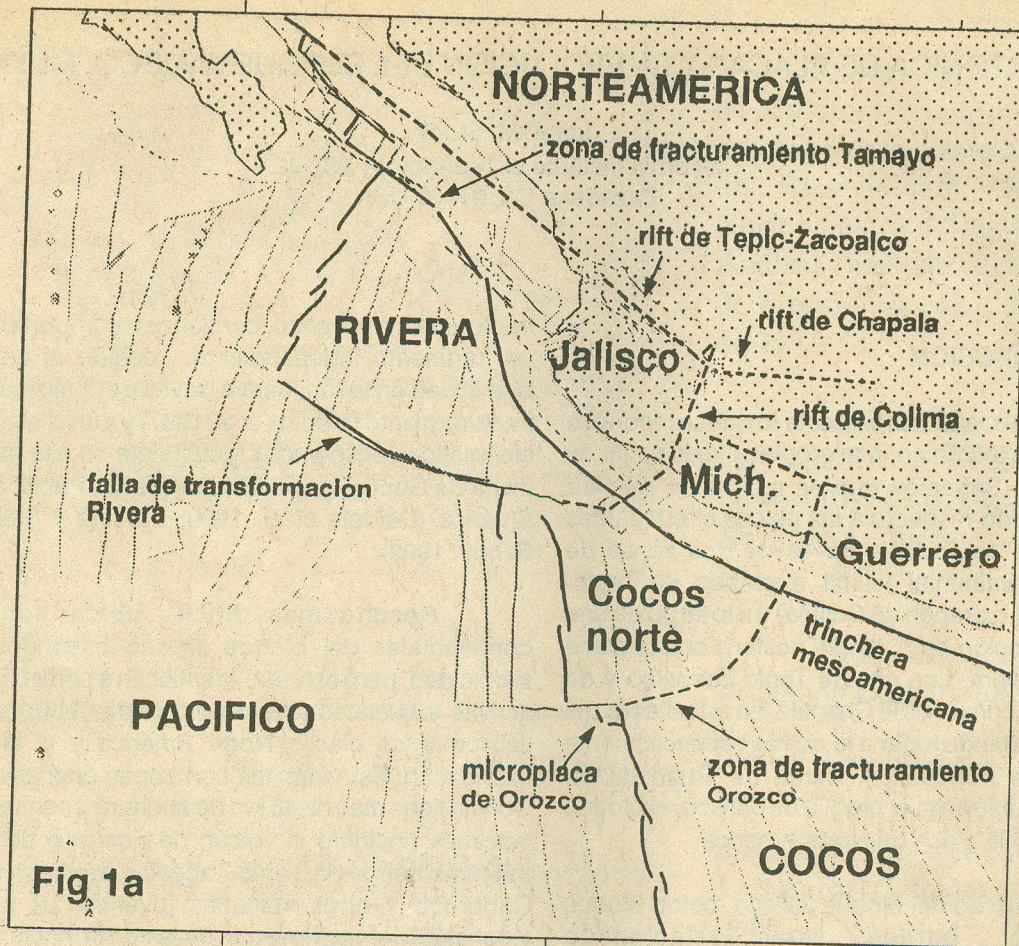


Fig 1a

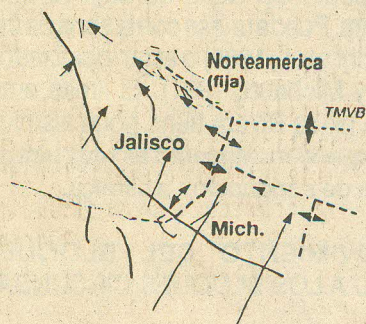


Fig 1b

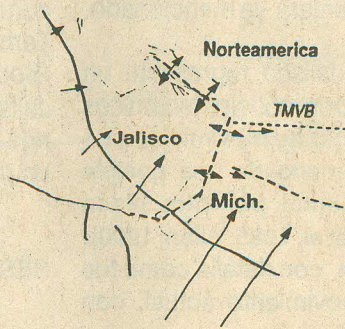


Fig 1c

Fig. 1a) Esquema regional de las principales placas y bloques tectónicos de la región de Jalisco: La parte estable de la placa Norte América, el bloque Michoacán-Guerrero, el bloque de Baja California y las placas Rivera, Cocos y Pacífico. Líneas gruesas indican límites entre placas principales, líneas punteadas indican límites entre bloques tectónicos. La incipiente separación del fragmento septentrional de la placa de Cocos (Cocos Norte), a lo largo del fracturamiento Orozco, esta inferido.

Fig. 1b) Modelo de posibles movimientos actuales de los bloques del área. Las flechas no estan a escala. En este esquema el bloque Jalisco esta rotando, contra las manecillas del reloj, respecto a Norte América debido a la transferencia de esfuerzos provocados por la subducción de la placa Rivera. La placa Rivera se supone que tiene una pequeña componente oblicua dextral. El bloque Michoacán empieza a separarse del bloque Guerrero debido a la subducción del fragmento norte de la Placa de Cocos. El desplazamiento dextral en el graben Tepic-Zacoalco se incrementa hacia el NW y la extensión del graben de Colima decrece hacia el sur. Este proceso esta acompañado de la apertura de pequeños grabenes en la parte NW del bloque Jalisco.

Fig. 1c) Otro modelo posible para el movimiento del bloque Jalisco; en el se supone subducción oblicua izquierda en el fragmento norte de Cocos, desarrollando esfuerzos cortantes sinestrales en el eje volcánico y a lo largo de la frontera norte del bloque Michoacán-Guerrero. El movimiento en el graben Tepic-Zacoalco y en el graben de Colima es puramente extensional. El grado de extensión a lo largo del graben de Colima varia de acuerdo al movimiento relativo de los bloques corticales hacia el este. La subducción de la Placa Rivera se supone ortogonal a la trinchera y no hay movimiento dextral inducido en el graben Tepic-Zacoalco.

evidencias de fallas activas ni mucha distension en la parte meridional del graben, pero como este estudio no abarca la zona entera del graben meridional, es posible que movimientos y desplazamientos juvenes ocurran fuera de la zona de estudio.

Por otro lado, hay reportes de fallas activas en las extensiones marinas del graben de Colima (Bourgeois y Michaud, 1991), hecho que sugiere que la zona de deformación si continua hasta la trinchera mesoamericana cerca de Manzanillo.

También se reconoce distensión en forma perpendicular al graben Tepic-Zacoalco, pero no existe todavía una estimación de la separación total. Desplazamientos dextrales cuaternarios de hasta 2 mm/año han sido reportados para esta zona, a lo largo del río Santiago (Nieto et al., 1985), aunque según otros autores (Michaud et al., 1991) la zona de movimientos más juvenes está situada en el eje neovolcánico, al SW del río Santiago.

La abundancia de volcanismo joven, en los límites del bloque, también sugiere una componente de distensión en las dos zonas principales. Hay volcanes recientes también en una serie de grabenes pequeños dentro del bloque Jalisco (Allan et al., 1991), pero se supone que el movimiento ocurrido en esas zonas es todavía menor que en los alrededores del bloque.

#### MOVIMIENTOS RELATIVOS DE ESTA ZONA EN LOS ÚLTIMOS 3 Ma

Como se explicará más adelante, hasta la fecha no tenemos mediciones actuales de las velocidades entre los diversos bloques y placas en la zona, salvo unos resultados de velocidad entre las placas Norte América y Pacífico un poco más al norte, a través del Golfo de Baja California. Nuestro conocimiento de las velocidades relativas entre estas placas y microplacas viene de las inversiones globales de velocidades angulares entre las placas, aplicando el modelo NUVEL-1, el método más actualizado (DeMets et al., 1990) o el modelo anterior, el RM-2 (Minster y Jordan, (1978). Estos modelos se basan en invertir los mecanismos focales de sismos recientes; en considerar las anomalías magnéticas formadas en las crestas oceánicas (centros de dispersión del piso oceánico) en los últimos tres millones de años y en el análisis de los rumbos de las fallas de transformación entre las placas, cuya geometría refleja los movimientos de los últimos 2 a 3 Ma. La placa Rivera no figura en estos modelos porque no se considera una placa principal, pero las placas Norte América, Cocos y Pacífico si figuran en el modelo NUVEL-1 y en los anteriores.

Aunque con el modelo NUVEL-1 la

incertidumbre es menor que con los modelos anteriores, todavía existe un nivel de incertidumbre asociado con la velocidad angular promedio entre cada par de placas. También hay que reconocer que el promedio de movimiento de los últimos 3 Ma puede diferir del movimiento actual y/o del promedio durante un período más corto.

Como ya mencionamos, las velocidades angulares entre la placa Rivera y las placas circundantes no se despejan de las inversiones globales; la placa Rivera tiene límites demasiado cortos, o se tienen datos insuficientes, con demasiadas complicaciones geológicas como para poder incluirla en los modelos globales. Sin embargo, hay dos estudios más regionales (DeMets y Stein, 1990; Bandy, 1992) que utilizan semejantes técnicas para tratar de definir el movimiento de la placa Rivera con respecto a las placas circundantes, sobre promedios de los últimos 3 Ma y 0.73 Ma (ver figura 3). Ambos estudios llegan casi a una misma conclusión sobre la velocidad angular promedio entre Rivera y Norte América para los últimos 3 Ma (que corresponde a la anomalía 2A).

Lo que más nos interesa, con respecto al bloque Jalisco, es el movimiento relativo de la placa Rivera respecto a Norte América, porque se supone que estas dos placas mayores controlan, de alguna forma, el movimiento del bloque Jalisco que esta metido en medio de ellas. Este se puede obtener utilizando el modelo NUVEL-1 para el par Pacífico-Norte América, además de tomar en consideración los datos locales reportados por DeMets y Stein (1990) o los de Bandy (1992) para definir el movimiento entre Rivera y Pacífico. La velocidad resultante, promedio, que se obtiene para el par Rivera-Norte América (durante los últimos 3 Ma) consiste en subducción casi perpendicular a la trinchera Rivera-Jalisco, con una velocidad de 20 mm/a en el SE y va disminuyendo hacia el NW. Si hacemos lo mismo pero tomando en cuenta un período más corto, 0.73 Ma, se obtiene una velocidad de convergencia promedio mayor (ver Figura 3). Si se considera el nivel de incertidumbre de este último resultado (Bandy, 1992), la convergencia entre las placas en los últimos 0.73 Ma parece tener una componente oblicua dextral, lo que posiblemente estaría de acuerdo con las observaciones geológicas realizadas para el rift Tepic-Zacoalco.

Es importante aclarar la dirección de convergencia entre Rivera y Norte América con futuros estudios, ya que nos permitiría distinguir entre varios modelos cinemáticos para el origen y movimiento actual del bloque Jalisco. Una subducción perpendicular entre Rivera y Norte América exige subducción oblicua sinestral entre las placas Cocos y Norte América, debido a la separación de Cocos y Rivera en su límite común cerca de la trinchera. La consecuencia

### Sismicidad 0-70 km

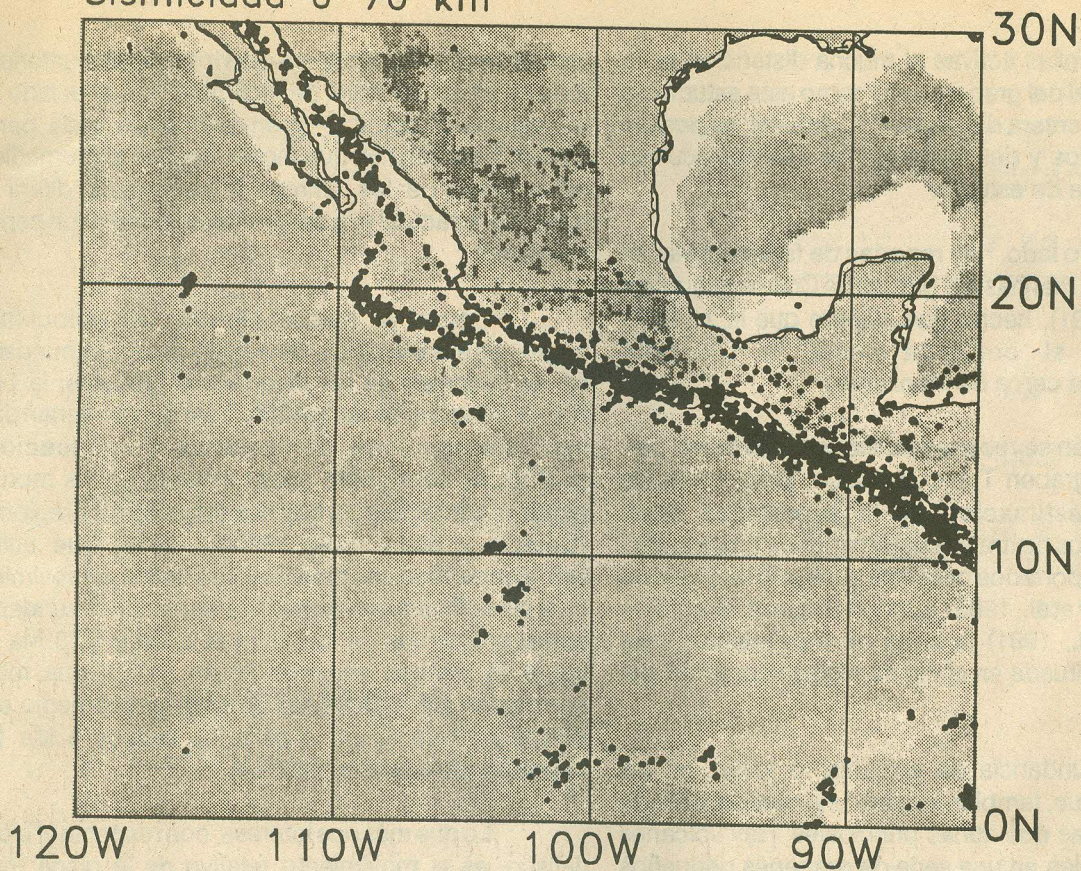
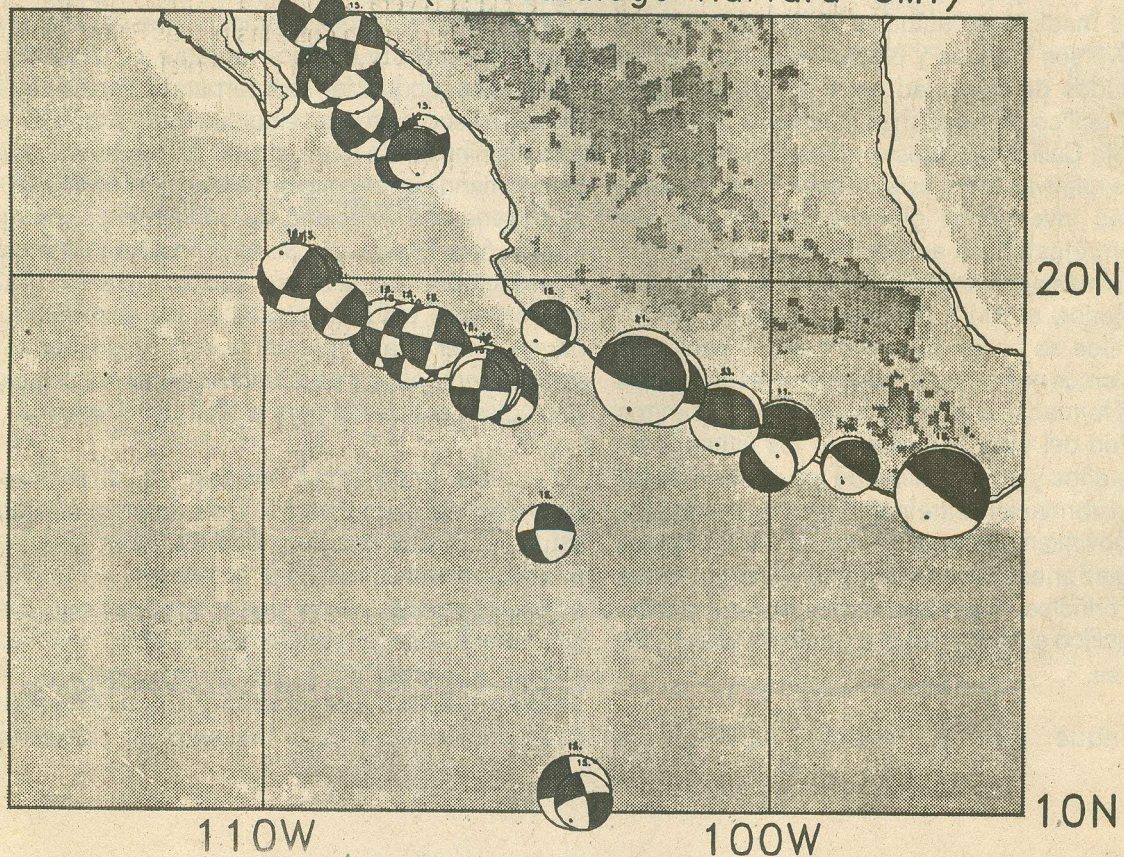


Fig. 2a) Epicentros de sismos del área obtenidos con el catalogo PDE (Preliminary Determination of Epicenters) para el período 1900-1990, registrados en por lo menos 20 estaciones. Los eventos tienen una profundidad menor a 70 km.

Fig. 2b) Mecanismos focales de eventos en el área, obtenidos con el catálogo Harvard-CMT (Centroid Moment Tensors) para el período 1970-1991 y de magnitud  $M_b$  o  $M_s > 5$ .

### Mecanismos focales (del catalogo Harvard-CMT)



geométrica sería distensión en el graben de Colima, posiblemente provocando un movimiento sinistral entre Michoacan-Guerrero y Norte América (DeMets y Stein, 1990). Una subducción oblicua dextral entre Rivera y Norte América puede dar al graben Tepic-Zacoalco una componente dextral, y al rift de Colima un componente de apertura, sin necesidad de que existan movimientos sinestrales a través del Eje Volcánico Mexicano (figs 1b y 1c).

Los movimientos esperados en los diferentes modelos también dependen fuertemente de las incertidumbres en la velocidad relativa entre Norte América y Pacífico. Si la velocidad actual fuera un poco más rápida que el resultado óptimo de NUVEL-1, pero con la misma dirección, la subducción entre las placas Cocos y Norte América sería casi perpendicular a la trinchera, y la subducción entre Rivera y Norte América necesariamente tendría mayor componente oblicuo dextral. En cualquier caso, se puede interpretar el graben de Colima como el resultado del contraste entre la subducción oblicua de un lado y la subducción perpendicular del otro lado, pero con diferentes geometrías.

Así, vemos que el sentido de la oblicuidad de la subducción de las placas Cocos-Norte América y Rivera-Norte América, difiere en los dos modelos. Si fuera posible comprobar la oblicuidad de la subducción en una o las dos zonas, entonces sería posible distinguir mejor entre los dos modelos. Hay información sísmica para la zona de subducción Cocos-Pacífico, en la trinchera mesoamericana, que indica una subducción casi perpendicular entre ellas. Pero falta información sísmica a lo largo de la zona de subducción entre las placas Rivera y Norte América. En otras regiones del mundo donde la subducción es oblicua (p. ej. Sumatra, Ecuador, Alaska; ver Fitch, 1972 y Jarrard, 1986), vemos que allí el movimiento suele dividirse en dos zonas, con una subducción más perpendicular en la trinchera y unos movimientos de desgarre a lo largo del arco volcánico. Estos movimientos de desgarre en fallas transcurrente siempre nos indican el sentido de la oblicuidad de la convergencia en la zona de subducción; nunca se encuentran con el sentido contrario. Si aplicamos estas observaciones al bloque Jalisco, vemos que el conocer el sentido de movimiento de desgarre en el graben de Tepic-Zacoalco resulta muy útil para determinar el sentido de la oblicuidad de subducción de la placa Rivera debajo de Norte América, y que el sentido del desgarre en el rift de Chapala nos podría dar la misma información respecto a la oblicuidad de convergencia entre las placas Cocos y Pacífico. Sin embargo, el componente de desgarre puede ser mucho menor que la velocidad de convergencia (alrededor de 2 mm/año); esto complica aún más la situación pues se dificulta la posibilidad de verificarlo geológicamente con datos de campo.

Hay fallas de desgarre en los rifts de Chapala y Tepic-Zacoalco, pero todavía falta un acuerdo geológico acerca del sentido de movimiento y de la edad de las mismas. Podemos suponer que estos movimientos de desgarre, en la zona intra-arco, están relacionados con el sentido de oblicuidad de convergencia en la trinchera, pero resulta muy importante verificar geológicamente la edad y el sentido de movimiento allí. Estos aspectos tienen mucha importancia en forma global, para el desarrollo de teorías de tectónica de placas y el estudio de movimientos de placas grandes; pero también tienen muchas implicaciones para la determinación de movimientos regionales hacia el interior del México continental

### EL INICIO DEL BLOQUE JALISCO

La evolución del bloque Jalisco parece estar relacionado con la geometría y dinámica de la placa Rivera, por ello es conveniente saber como fué la evolución y movimiento de esta última placa respecto a Norte América. Para ver esto podemos utilizar las anomalías magnéticas de la dorsal Pacífico oriental, con extrapolación de velocidades angulares globales de las placas (DeMets et al., 1990), y colocar la dorsal Rivera-Pacífico en el lugar anterior con respecto a la placa de Norte América (figura 4). En base a esto podemos ver dos cosas: 1) La dorsal Pacífico oriental llegó a la margen del continente en su lugar actual (lo que después dió lugar al Golfo de Baja California) hace unos 10 Ma. 2) La placa Rivera empezó a comportarse como una microplaca, independiente de la de Cocos, en fecha más reciente, alrededor de unos 4 Ma. La independencia de la placa Rivera se debe al cambio geométrico del centro de dispersión entre las placas Rivera y Pacífico, del lado occidental al lado oriental de la microplaca Mathematician.

### GEOMETRIA DE LA PLACA SUBDUCIDA

La geometría de las placas Cocos y Rivera, dentro de la zona de subducción, tiene mucha importancia en el marco tectónico regional. Controla, hasta cierto punto, la posición del arco volcánico y el grado de acoplamiento o transmisión de esfuerzos tectónicos entre las placas a través de la trinchera. Un cambio lateral de inclinación de la placa inferior puede afectar la tectónica encima, y una ruptura dentro de la placa inferior puede permitir el paso de material astenosférico hacia arriba para el desarrollo de volcanismo y/o afectar la topografía dinámica encima. Un pliegue de una placa inferior puede provocar levantamiento de la placa superior encima del pliegue.

Lo que sabemos de la placa de Cocos, dentro de la zona de subducción, es que tiene una inclinación suave, de unos 20 grados en Oaxaca (Suarez et al.,

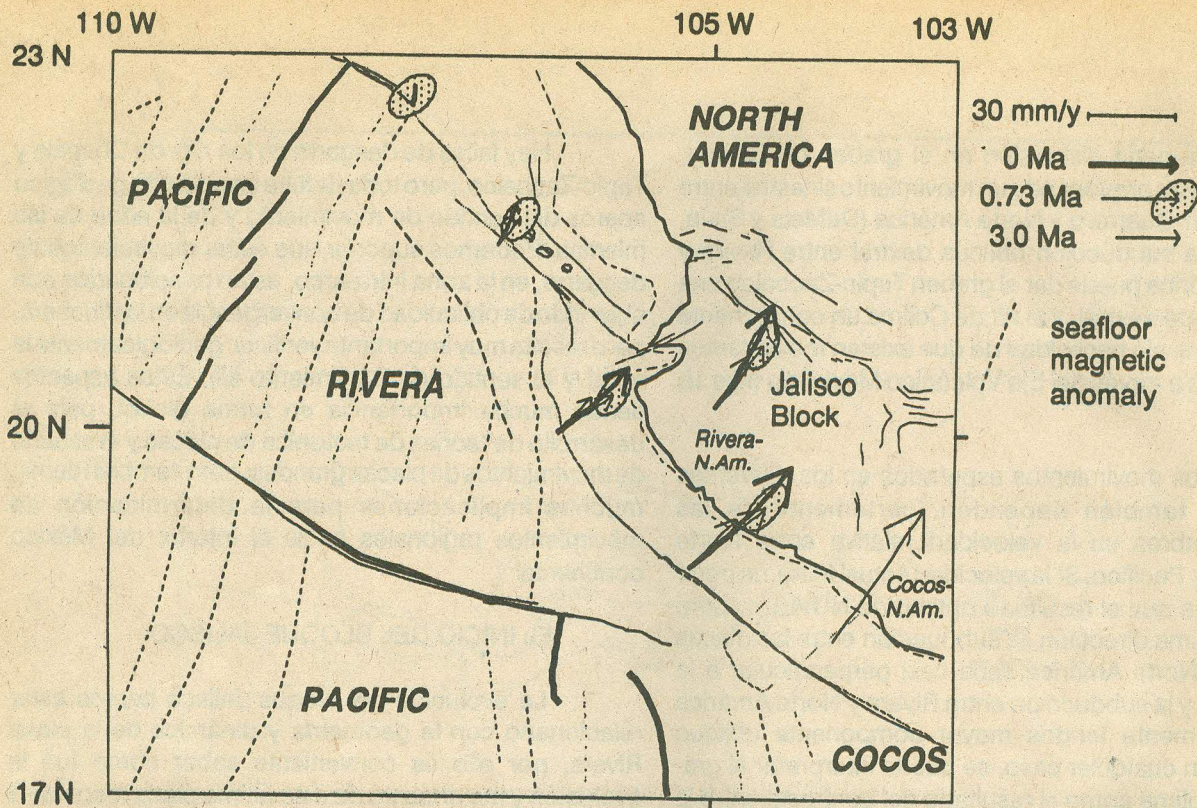


Fig. 3.- Velocidades relativas entre Rivera y Norte América y entre Cocos y Norte América. Los vectores representan la velocidad promedio para los últimos 3 Ma (flechas chicas) y para los últimos 0.73 Ma (flechas chicas con elipse que indica 95 % de intervalo de certidumbre), de acuerdo de DeMets y Stein. Las flechas grandes y gruesas indican el movimiento actual de acuerdo a Bandy. De ser ciertos estos datos, la subducción en la placa Rivera se ha incrementado en los últimos 3 Ma. El vector dibujado dentro del bloque Jalisco indica la dirección hipotética del esfuerzo generado a profundidad al acoplarse la placa en subducción y el bloque Jalisco.

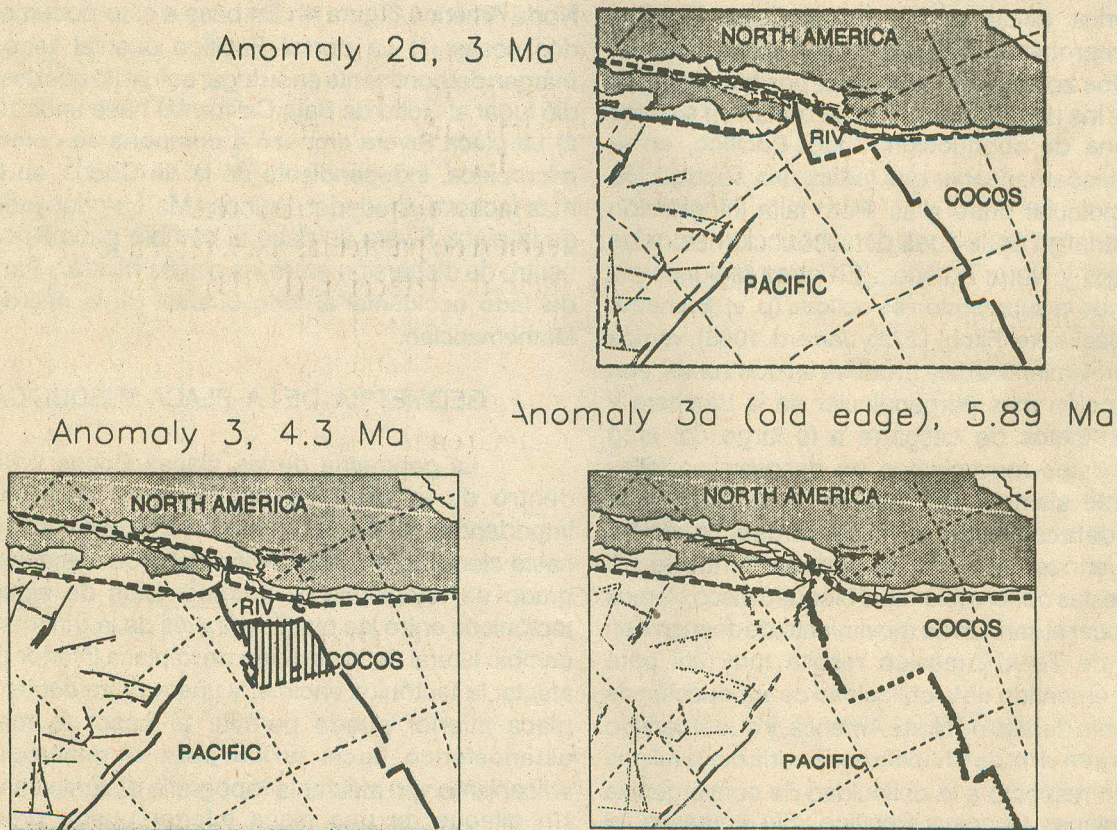
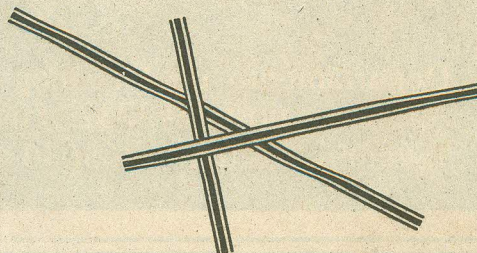


Fig. 4.- Configuración de las placas en el área del Bloque Jalisco para los últimos 5.9 Ma. Norte América se supone fija. Las anomalías magnéticas de la placa Pacífico se han rotado hasta hacerlas coincidir con la posición de la dorsal hace 5.9 Ma, 4.3 Ma y 3 Ma, que corresponde a las anomalías 3a, 3 y 2a. Las rotaciones fueron extrapoladas tomando en cuenta el promedio para los últimos 3 Ma obtenido con el modelo NUVEL-1. La migración hacia el este de la cordillera centro-oceánica, al sur de la fractura Rivera, ocurrió durante el tiempo de la anomalía 3 (aprox. 4 Ma), lo cual dejó aislado un fragmento al norte de la placa de Cocos. Dicho fragmento inició su movimiento en forma independiente como placa Rivera. La microplaca de corta existencia Mathematician se encuentra sombreada.

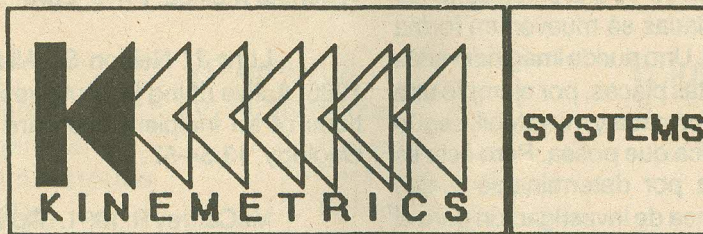
1992), llegando a ser mas abrupto hacia el NW, con unos sismos de hasta 100 km de profundidad bajo Colima (Pardo y Suárez, 1992). Pero hasta la fecha no hay información sobre la configuración de la placa Rivera al oeste de Colima, y no se sabe ni si es una placa continua Rivera-Cocos o si las dos placas se mueven en forma independiente a profundidad. Uno puede imaginar varias geometrias posibles para estas placas, por ejemplo una placa continua pero muy deformada y muy débil, según el grado de resistencia elástica que posea. Pero ésta es una cuestión que aun esta por determinarse y que constituye una importante línea de investigación para el futuro.

## BIBLIOGRAFIA

- Allan J. 1986. Geology of the Northern Colima and Zacoalco grabens, southwest Mexico: Late Cenozoic rifting in the Mexican Volcanic Belt. *G.S.A. Bulletin* 97:473-485.
- Allan J., Nelson S., Luhr J., Carmichael I., Wopmat M. and Wallace P. 1991. Pliocene-Holocene rifting and associated volcanism in southwest Mexico. In *The Gulf and Peninsular Provinces of the Californias*. Am. Ass. Petrol. Geol. Memoir 47, Dauphin J. and Simoneit B. Editors.
- Bandy W.L. 1992. Geological and Geophysical investigation of the Rivera-Cocos plate boundary: Implications for plate fragmentation. Ph.D. Thesis, Univ. of Texas-Austin, USA.
- Bourgeois J. and Michaud F. 1991. Active fragmentation of the North America plate and the Mexican triple junction area off Manzanillo. *Geo Marine Letters*. 11:59-65.
- DeMets C., Gordon R., Argus D. and Stein S. 1990. Current plate motions. *Geophys. J. International*. 101:425-478.
- DeMets C. and Stein S. 1990. Present-Day kinematics of the Rivera plate and implications for tectonics in southwestern Mexico. *J. Geophys. Res.* 95:21931-21948.
- Fitch T. 1972. Plate convergence, transcurrent faults and internal deformation adjacent to Southeast Asia and western Pacific. *J. Geophys. Res.* 77:4432-4460.
- Jarrad R.D. 1986a. Terrane motion by strike-slip faulting of forearc slivers. *Geology*. 14:780-783.
- Jarrad R.D. 1986b. Relations among subduction parameters. *Reviews of Geophys.* 24:217-284.
- Johnson C. and Harrison C. 1990. Neotectonics in central Mexico. *Phys. Earth Planet. Int.* 64:187-210.
- Luhr J., Nelson S., Allan J. and Carmichael I. 1985. Active rifting in southwestern Mexico: Manifestations of an incipient eastward spreading-ridge jump. *Geology*. 13:54-57.
- McCaffrey R. 1991. Slip vectors and stretching of the Sumatran fore arc. *Geology*. 19:881-884.
- Medina F., Espindola J. y Gamieta A. 1987. Aspectos estadísticos de la actividad sísmica en México. *Ciencia* 38:253-267.
- Michaud F., Quintero O., Barrier E. et Bourgeois J. 1991. La frontiere nord du Bloc Jalisco (Ouest du Mexique): Localisation et evolution de 13 Ma a l'actuel. *C.R.Acad. Sci.Paris*. 312(II):1359-1365.
- Minster J. and Jordan T. 1978. Present-day plate motions. *J. Geophys. Res.* 83:5331-5334.
- Nieto O., Delgado L. and Damon P. 1985. Geochronologic, petrologic and structural data related to large morphologic features between the Sierra Madre Occidental and the Mexican Volcanic Belt. *Geofis. Int.* 24:623-663.
- Pardo M. y Suarez G. 1992. Morfología de la subducción en el sur de México, Jalisco-Oaxaca. *GEOS, Bol. Mex. Geofis. Union*. 12(5):79.
- Serpa L., Smith S., Katz C., Skidmore C., Sloan R. and Pavlis T. 1992. A geophysical investigation of the southern Jalisco block in the State of Colima, Mexico. *Geofis. Int.* 31:475-492.
- Suarez G., Ligorria P. and Ponce L. 1992. Preliminary crustal structure of the coast of Guerrero, Mexico, using the minimum apparent velocity of refracted waves. *Geofis. Int.* 31:247-252.
- Suarez G., Monfret T., Wittlinger G. and David C. 1990. Geometry of the subduction and depth of the seismogenic zone in Guerrero Gap, Mexico. *Nature*. 345:336



# SISTEMAS DE INGENIERIA SISMICA Y DINAMICA ESTRUCTURAL



**REPRESENTANTE EXCLUSIVO PARA LA REPUBLICA  
MEXICANA:**



**MEDIDORES INDUSTRIALES Y  
MEDICOS S.A. DE C.V.**

ODESA #1110  
COL. PORTALES  
03300, MEXICO, D.F.

**FAX: (5) 605-9181 PHONE: (5) 604-0058  
605-6312**

*Física  
del Mar*

Un programa de posgrado

**CICESE**



Departamento de Oceanografía Física  
Apartado postal #2732. Ensenada, B.Cía., México  
Teléfono 52 (667) 4 5050 ext. 4010. Fax 52 (667) 4 5154

Fotografía: Van Dyke