

## 6. MODELOS SISMOTECTÓNICOS.

La evolución de la porción noroccidental de América del Sur y de Panamá-Centroamérica ha sido interpretada desde tres enfoques diferentes e independientes (Duque-Caro, 1990: 7-8): **(a)**, un enfoque físico basado en observaciones en el continente, que según diversos autores conduce a que esta región ha sufrido cuatro grandes periodos de perturbaciones tectónicas, mientras que las observaciones geofísicas y paleoceanográficas (sobre los antiguos océanos) en el océano indican cambios en la conformación y surgimiento de masas emergidas y en la circulación de las aguas que, iniciados hace 27 millones de años; **(b)**, un enfoque bioestratigráfico y paleobiogeográfico (antiguas distribuciones geográficas de especies de animales y plantas), según el cual la emergencia del Istmo de Panamá interrumpió la circulación entre las aguas del Atlántico y del Pacífico y propició en intercambio de faunas y floras continentales entre Norteamérica y Suramérica; el mayor intercambio se inició entre 3.7 y 3.1 millones de años atrás (Duque-Caro, 1990), o entre 3.1 y 2.4 millones (Duque-Caro, 1993), pero hubo un primer intercambio de algunas especies entre los 9.3 y 8.0 millones de años y, **(c)**, un enfoque paleobatimétrico que interpreta las antiguas oscilaciones de los niveles del mar (batimetría) en función de la distribución, en secuencias de estratos (algunos de ellos en pozos exploratorios para petróleo, ver su localización en la Fig. 5.4), de microorganismos con especies que varían según las condiciones de profundidad y temperatura del mar. Esta evolución, que está documentada en Duque-Caro (1990, 1993), y se sintetiza en la Fig. 6.1, tomada del mismo autor.

Pero la evolución del NW de América del Sur y de Panamá- Centroamérica ha sido mucho más compleja y dinámica a como lo ilustra la Fig. 6.1, pues debe incluirse en el modelo el desplazamiento y convergencia de las placas tectónicas de Suramérica, Caribe, Norteamérica y Pacífico (Nazca), así como el Bloque Norandino y el Bloque Panamá.

Uno de los más recientes, entre la más de media docena de modelos tectónicos que se han propuesto para la región, se muestra en la [Figura 6.2](#) (Kellog *et al*, 1997). En él destacan los vectores de desplazamiento de las placas, con base en mediciones de GPS (Posicionamiento Global por Satélite) desde 1988, que arrojan tasas de movimiento convergente de la Placa Nazca hacia Suramérica del orden de “más de 50 milímetros/año” (Colombia) hasta 70 mm/año (Ecuador) y del Bloque Panamá hacia el Chocó entre 8 y 21 mm/año. El Bloque Norandino, a su vez, se mueve en dirección NE a razón de 6 mm/año. Sin embargo, los modelos disponibles, tanto a escala regional (NW de Colombia-Panamá) como local (Chocó) no dan cuenta todavía de los detalles de la interacción entre placas y bloques (o microplacas), o, en todo caso, entre uno y otro modelo hay diferencias notables.

Hasta la década de 1970 los trabajos sobre la evolución de la geotectónica en Colombia eran enfocados con una visión autoctonista, es decir, que el origen de los terrenos había ocurrido en la actual posición geográfica, incluyendo la noción del Geosinclinal Bolívar, una cuenca sedimentaria que se extendería desde el Atrato y el San Juan hasta la región de Tumaco y Guayaquil (Nygren, 1950). El concepto según el cual la esquina NW de América del Sur es un mosaico de terrenos geológicos acrecionados a la Placa de Suramérica empezaron a esbozarse con los trabajos de Case *et al* (1971), Estrada (1972), Toussaint y Restrepo (1973), y se consolidó con las publicaciones de Dengo (1983), quien define el Bloque Chocó, Etayo *et al* (1986), Duque-Caro (1985 y 1989), Restrepo y Toussaint (1988) y Toussaint y Restrepo (1988). Estas nuevas ideas se representan en las [Figuras 6.3](#) y [6.4](#).

En el marco regional del NW de América del Sur, el denominado Terreno Cuna, según Toussaint (1991), representa el bloque más recientemente acrecionado a los Andes Septentrionales ([Figura. 6.4](#)). Actualmente no parece haber discrepancias en cuanto a que las unidades geológicas del Bloque Chocó o del

Terreno Cuna tienen origen exótico, sin embargo, no hay claridad ni unidad de criterios en términos de los límites y de los mecanismos de este proceso.

Para ejemplarizar la complejidad del problema, vale retomar la discusión planteada por Toussaint (1991), sobre el borde oriental del Terreno Cuna o, en otras palabras, el lugar de la sutura entre éste y la Cordillera Occidental:

en 1987 Toussaint y Restrepo propusieron que se localizaba como un cabalgamiento, el Cabalgamiento de Dabeiba-Pueblo Rico, mientras que Etayo et al (1986) dan el nombre de Dabeiba a una falla de dirección NW, situada de manera similar a la Falla de Tonusco definida por Álvarez y González (1978);

en el Mapa Geológico de Colombia (Ingeominas, 1988) se presenta el lineamiento o falla (?) de Uramita en posición similar a la de Dabeiba - Pueblo Rico pero la falla de Dabeiba según Etayo et al (1986) fue desplazada 20 km hacia el Norte con una rotación antihoraria de 15°.

“Así la nueva falla de Dabeiba, no es la misma que la falla de Dabeiba de Etayo et al. (1986) ni que la sutura de Dabeiba - Pueblo Rico de Toussaint y Restrepo (1985). También anotamos que el lineamiento de Uramita y la falla de Dabeiba se cortan, aunque sin desplazamiento, en Ingeominas (1988) pero que Duque - Caro (1989) no representa la falla de Dabeiba” (Toussaint, 1991: 85).

Pero Toussaint (1991) complica un poco más el asunto, puesto que incluye la Falla del Atrato (Fig. 6.4) sin indicar la fuente, en una posición próxima a la Falla Murindó (Ingeominas, 1994 y este trabajo, en el *Radarmapa Geológico No. 12* del Anexo 9). Otros autores han sugerido la existencia de la Falla del Atrato a lo largo del alineamiento del río, pero nunca se ha documentado fehacientemente su existencia (Ingeominas, 1994).

El Bloque Chocó puede ser, pues, delimitado solamente de manera aproximada, comprendiendo la Serranía del Baudó al Occidente y el límite entre el Batolito de Mandé en la Cordillera Occidental al Oriente con su prolongación hacia Panamá en la Serranía de San Blas; al Norte lo definiría la Serranía de Los Saltos, una cadena montañosa transversal, en dirección NE, que podría ser resultado de la colisión del Bloque Panamá (Fig. 2) aunque Pennington (1981: 113) indica, con base en datos e interpretaciones sismológicas que en esta área habría un límite difuso de placas; el límite Sur del Bloque Chocó ha sido localizado en la región de Itzmina, en donde las primeras imágenes de radar (Westinghouse, 1969) muestran estructuras, principalmente anticlinales, de dirección NE (Ingeominas, 1994, James, 1985, Fig. 6.5) en lo cual coinciden con Dengo (1983), Case et al (1984), Etayo et al (1986) y Duque-Caro (1990), según los modelos expuestos en la [Figura 6.3](#). Sin embargo, con base en datos sismológicos y mecanismos focales Meyer & Mejía (1997) proponen este límite hacia la falla de Garrapatas (Ingeominas, 1988), entre Buenaventura y la Cordillera Occidental en dirección NE, señalando además un desplazamiento relativo del Bloque Chocó hacia el Sur.

Con base en la relocalización de 125 réplicas de los sismos del 17 y 18 de octubre de 1992 ([Figura 6.7a](#)), Toral et al (1997), encontraron que la área de actividad causante del sismo mayor corresponde a una estructura elongada NNE, oblicua con respecto a las direcciones principales de esfuerzos entre los subbloques Panamá y Norandino. En esta región y dirección no está documentada una falla en la literatura geológica y la misma no es claramente visible en las imágenes de radar, aún cuando éstas permitieron identificar estructuras en esa dirección (Fig. A9.12). El área de ruptura calculada es de aproximadamente 4,700 km<sup>2</sup> y su longitud de 120 km. Los desplazamientos relativos indican una estructura con movimiento lateral izquierdo con el bloque occidental desplazándose en dirección SW y tendencia principal de ruptura en dirección NNE (Fig. 6.7b). Este resultado es coherente con el modelo regional de movimiento de placas mostrado en la Fig. 6.2, pero contradice el modelo y los rasgos tectónicos conocidos, como los ilustrados en la Fig. 6.5, así como las localizaciones del Catálogo NEIC ([Figura](#)

[9.1](#)). En la [Figura 6.7](#) se han incluido las isosistas o líneas de igual intensidad (Coral et al, 1993), las cuales presentan un patrón elongado en dirección NW, seguramente producto de sesgos introducidos por las condiciones de los suelos más blandos y por la distribución de las poblaciones a lo largo del Atrato. Otro esquema de propagación de la ruptura, en sentido NNW ha sido sugerida por la localización de los eventos principales y de las réplicas con base en el catálogo de NEIC y el trabajo de campo de Martínez et al (1994). Sin embargo, como lo mencionan Toral et al (1997), estos autores probablemente consideraron el evento mayor (oct. 18) como un evento simple y no como un sismo doble, como ha sido demostrado, por ejemplo, por Ammon et al (1994), citado por los mismos autores.

La tecnología de radar tiene una mayor capacidad de penetración, incluso en zonas selváticas, por lo que permite “ver” de manera más clara que otro tipo de sensores el substrato geológico y las estructuras. El análisis de las imágenes de radar (Intera, 1991) permitió identificar un conjunto de fallas y lineamientos entre los cuales destacan los siguientes, documentados en el **Radarmapa Geológico No. 12** (Anexo 9):

fallas y alineamientos de dirección NS como Murindó y Utría, identificadas en trabajos previos la primera de las cuales puede continuarse como un alineamiento NW que se expresa con evidencias topográficas en la Serranía del Cuchillo y Lomas Aisladas y que continua en Panamá, delimitando la cuenca del río Chucunaque con la Serranía de San Blas. Adicionalmente, lineamientos NS a lo largo del valle central del Atrato, que se prolongan en dirección NW bajo la depresión inundable;

alineamientos NE, principalmente en la región fronteriza con Panamá y alineamientos NW que cruzan la Serranía del Baudó y parecen internarse bajo los sedimentos del Atrato.

Estos alineamientos y fallas cortan las formaciones geológicas del Terciario (Serranía del Baudó). Además, sugieren un arreglo estructural en enrejado que parece afectar las unidades litológicas bajo los sedimentos del Atrato, e incluso controlar la disposición de ecosistemas específicos, tales como los bosques de Cativo al N de Lomas Aisladas y al SW de Domingodó; por otra parte, en los alrededores de Murindó y Lomas Aisladas los canales para explotación maderera siguen patrones NW y NE que al ser observados en detalle, en imágenes de radar con resolución de 6 m y en fotografías aéreas, coinciden con similares patrones de lineamientos. Al S de Murindó estos alineamientos parecen definir patrones, también lineales, de especies de árboles y un arreglo del bosque que más que irregular o caótico da la impresión de representar regularidades en enrejado gobernadas por los mismos alineamientos.

Finalmente, aunque esto no se ha documentado suficientemente, la tectónica regional pudiera estar afectando el geosistema del Atrato Medio y particularmente las condiciones de inundabilidad y de erodibilidad de los afluentes. Esto lo sugiere el perfil longitudinal del río (Cap. 8, Fig. 8.2), que muestra pendientes medias negativas para el fondo del cauce entre Riosucio y la desembocadura en el Golfo de Urabá, por un lado, y por el otro la evidencia histórica, cartográfica y de campo según la cual los brazos Occidentales del Atrato (P. ej., El. Brazo Tarena) se sedimentan y obstruyen de tal manera que el delta migra hacia el E. Así mismo, en la porción occidental de la Depresión del Atrato hubo brazos activos, como el “Brazo Viejo” que indican que el río en alguna época estuvo recostado a las estribaciones bajas de la Serranía del Baudó. Por último, los tributarios, principalmente los de la margen derecha, presentan evidencias de migración de cauces que sistemáticamente se desplazan hacia el sur como se ilustra en el Radarmapa Zonificación Regional de Amenazas (No. 27.1 y 27.2 del Anexo 9) y en el Cap. 10 y [Figuras 10.1 a 10.3](#). Este desplazamiento puede explicarse como efectos de un levantamiento regional que, de acuerdo con los modelos tectónicos disponibles, sería ocasionado por la convergencia de la Placa Caribe y del bloque Panamá sobre el Bloque Chocó. Quedan aquí interrogantes por resolver, de

importancia para la evolución a mediano y largo plazo de la cuenca: ¿Se trata de procesos de sedimentación que están colmatando las desembocaduras? ¿Se trata de procesos de deformación tectónica inducidos por la interacción entre el Bloque Panamá y la Placa Caribe sobre el Bloque Chocó? ¿O de una combinación de ambos fenómenos, a la cual hay que agregarle potencial subsidencia (hundimiento) de una parte de la cuenca por efecto de acumulación y peso de sedimentos?. Para resolver estas preguntas se deben adelantar entre otras las siguientes actividades e investigaciones:

Una red de nivelación de precisión a lo largo del río, incluyendo la verificación de la línea geodésica CH-4 del IGAC (Quibdó - Riosucio) y su extensión hasta las desembocaduras (recomendación existente desde 1989, según Univalle para MOPT, vol.9, p. 61).

Complementariamente, un programa de observación geodésica (por ejemplo mediante técnicas de GPS) que evalúe en el tiempo la ocurrencia de movimientos tectónicos entre las Serranías del Baudó y Los Saltos y la Cordillera Occidental. Otra alternativa sería la aplicación de métodos de interferometría mediante imágenes de radar satelital, que ha sido aplicada con éxito en otras latitudes, por ejemplo para evaluar los cambios topográficos inducidos por eventos sísmicos o por deslizamientos (p. ej., Zebker et al, 1994; Carnec et al, 1996; Massonnet, 1997).

Diseño, emplazamiento y operación de sismógrafos cuyos datos, junto con otros de Panamá, de Colombia y de la red estándar mundial, permitan elaborar modelos de los desplazamientos de fallas causantes de sismos. En primera aproximación podrían emplazarse unos 5 sismógrafos autónomos que abarquen la región, incluídos instrumentos en Panamá, para lo cual se podría diseñar un proyecto con el apoyo del Instituto Geofísico de la Universidad de Panamá (Sismólogo Jaime Toral, comunicación personal).

**Figura 6.1 Evolución del noroccidente suramericano y de Centroamérica en los últimos 15 millones de años (Duque-Caro, 1993)**

**Figura 6.2 Modelo de colisión de los bloques Norandino y Panamá (Kellog et al, 1996)**

**Figura 6.3 Modelos tectónicos y provincias geológicas del noroccidente suramericano (Duque-Caro, 1990)**

**Figura 6.4 Terrenos geológicos de Colombia y fallas al Este del Bloque Chocó (Toussaint, 1991)**

**Figura 6.5 Modelo tectónico del NW de Colombia y Panamá (James, 1985)**

**Figura 6.6 Modelo dinámico del Bloque Chocó (Meyer & Mejía, 1997)**

**Figura 6.7 Distribución de réplicas, intensidades y patrón de ruptura de los sismos de 1992**