

Estudio del fondo oceánico y los efectos morfológicos de la interacción entre la Placa de Cocos y la Placa Caribe de Costa Rica

Proyecto Paganini

<Traducción: MSc. Ileana Boschini (Red Sismológica Nacional ICE-UCR) 2002

Introducción

Un concepto generalmente aceptado es que, a lo largo de los márgenes convergentes, el tectonismo de la placa superior (caso de Costa Rica, placa Caribe) está íntimamente relacionado con las características y el relieve de la placa inferior que está siendo subducida (Placa Cocos).

Sin embargo, la pregunta es ¿cuánto de este tectonismo es controlado de esta manera? La interacción entre las placas inferior y superior es a menudo despreciada si no se cuenta con datos geofísicos de alta resolución.

En la placa oceánica, muchos caracteres físicos significativos de la relación placa superior-inferior no son aparentes sin un mapa detallado obtenido por barrido del fondo oceánico. Esto se ha demostrado en Costa Rica, donde el barrido del fondo oceánico del barco de investigación Sonne reveló la existencia de montes submarinos de 1,5 a 2,5 km de altura sobre el piso oceánico de la placa del Coco y que el adyacente talud continental tiene domos y localmente los rastros dejados por los flancos de los montes submarinos. En algunos casos, es posible ver, en las líneas de reflexión sísmica, los montes submarinos de la placa inferior que se encuentran justo debajo de estos domos. En el borde de la plataforma, es posible ver las huellas de los montes subducidos aún donde la placa superior tiene espesores de 10 km. Se infiere que, a lo largo de una proyección de cadenas lineales de montes submarinos, ocurrirán nidos de sismicidad bajo la plataforma y que el levantamiento de terrazas en la costa es una continuación de esta expresión.

Resultados

Lo significativo de estas observaciones hacia la comprensión de la nucleación de grandes terremotos es que las características y el relieve de la placa inferior pueden ser conservados a distancias mayores de 100 km a partir de la fosa, en vez de estar restringidos a los primeros 50-100 km de la zona de deformación entre las placas convergentes superior e inferior. Si algún carácter de la placa inferior puede ser proyectado en la zona sismogénica podría ayudar a comprender el proceso de nucleación y las diferencias en el comportamiento de la fricción en los planos de ruptura.

Entonces la caracterización de la placa oceánica contribuye al entendimiento de la dinámica de los continentes. Utilizando tal batimetría de alta resolución y otros datos geofísicos, se han

caracterizado tres tipos de corteza oceánica que están entrando en la zona de subducción de Costa Rica:

- La Cordillera del Coco, que tiene un espesor de corteza mayor de lo normal, en el orden de 2 km sobre el piso oceánico circundante.
- Esta Cordillera está rodeada por corteza de espesor normal cubierta en un 40% por montes submarinos.
- La corteza oceánica adyacente, es la corteza más vieja generada en el límite divergente entre las placas del Coco y de Nazca, con una morfología suave cerca de la fosa.

En el océano Pacífico de Costa Rica, los bordes de los segmentos están delimitados por alineamientos de montes submarinos y cordilleras. Esta condición geológica provee una oportunidad de investigar la influencia de las características de la placa inferior en el comportamiento de la fricción en una zona de subducción. Aquí la convergencia y la sedimentación son esencialmente uniformes, y lo que varía son las características de la placa inferior. Entonces, se pueden comparar la estructura de la placa superior y la sismicidad en las áreas adyacentes de la zona de subducción.

El talud continental en Nicaragua y Costa Rica comienza con un prisma frontal de 3 a 10 km de ancho cuya forma parece independiente de la morfología de la placa inferior. En el transecto del Leg 170 del Ocean Drilling Program (véase <http://www-odp.tamu.edu/publications/pubs.htm>) se encontró que este prisma está compuesto de los sedimentos del talud en lugar de sedimentos acrecionados. Esta puede ser la generalidad del caso para esta área, aunque no ha sido perforada en ningún lugar. Donde el prisma está localmente erosionado por la subducción de montes submarinos, se restablece rápidamente (0,1 a 0,2 millones de años) a su espesor original una vez que estos pasan. El corto tiempo de restablecimiento de las colisiones locales con los montes submarinos produce solo una memoria geológica corta de perturbaciones en la placa inferior. Sin embargo, la placa superior (Placa Caribe) retiene una historia más larga de las características de la placa inferior subducida (Placa Cocos), en los taludes superior y medio. Esto es mostrado por los caracteres similares exhibidos a uno y otro lado de los segmentos oceánico y continental.

Donde la Cordillera del Coco ha sido subducida por debajo de la plataforma de Osa la erosión es pronunciada. Por el contrario, en el segmento adyacente de montes submarinos la existencia de amplias bahías indica un talud superior erosionado y se observa, en las imágenes sísmicas, un adelgazamiento a lo largo de la placa superior sobre los picos de los montes submarinos. Solo donde una placa de contornos suaves ha sido subducida, los taludes medio y superior son más uniformes y relativamente estables. Cada morfología oceánica es sobreyacida por una placa superior morfológicamente diferente con respecto a sus vecinas y es limitada por relieves del fondo marino lineales.

La interpretación morfológica es complementada con datos sísmicos y magnéticos. Las anomalías magnéticas registradas a lo largo de las líneas de barrido del fondo del mar cercanamente separadas, definen el campo con agudeza. Los datos de reflexión sísmica procesados por medio de software que fija la profundidad de migración, dan una imagen distintiva de una secuencia reflectiva de límite de placa. Los datos sísmicos de alto ángulo (OBH/S) restringen la posición de este límite a mayores profundidades. Los modelos de velocidad sísmica de alto ángulo muestran masas de roca con velocidades de manto debajo de la zona sismogénica de Nicaragua, lo que no se observa en Costa Rica. Las diferencias morfológicas entre los márgenes de Costa Rica y Nicaragua son expresiones de diferencias estructurales en la placa superior, las que localmente corresponden con caracteres mayores en la placa inferior.

Los límites de segmentación en la placa oceánica continúan transversalmente a través del talud inferior hasta la costa. Coinciden en varios grados con la segmentación física y geoquímica del arco y quizás con zonas de ruptura sismogénicas. No está claro si el segmento que se subduce (slab) produce manifestaciones geoquímicas en las lavas del arco en Costa Rica y Nicaragua que puedan correlacionarse con los sedimentos subducidos o con flujos

erosionales, así que es necesario buscar otras fuentes de manifestaciones geoquímicas. Un efecto de primer orden que puede proveer las manifestaciones del segmento de placa que se está subduciendo, pueden ser los fluidos que surgen de las fracturas por flexión de la corteza oceánica. El fallamiento asociado con la flexura de la corteza oceánica al introducirse en el eje de la fosa, es más severo en Nicaragua mientras que la manifestación del segmento de placa subducido es mayor. Entonces, la segmentación de la placa inferior que se subduce puede ofrecer un marco de referencia para investigar los procesos en la zona sismogénica y a lo largo del arco volcánico.

Dos perfiles sísmicos de ángulo ancho fueron disparados a lo largo del margen continental de Nicaragua, sumándose a los perfiles preexistentes de la misión SO107. Sin embargo, la razón señal-ruido es pobre debido al alto nivel de ruido en la plataforma. Aún así, se puede interpretar la profundidad de la cuenca de Sandino, de 5 km en el suroeste se incrementa a más de 10 km en el noreste. Se ha visto que el basamento tiene velocidades de 6,3 a 6,6 m/s, lo que indica un basamento de naturaleza ofiolítica.

Todos los otros perfiles se concentraron sobre la corteza oceánica y estructuras anómalas tales como cordilleras, altiplanos y montes submarinos. La Cordillera del Coco (investigada a lo largo de tres perfiles) y la Cordillera de Malpelo muestran una estructura similar al Moho a 21 km de profundidad. Es interesante hacer notar que en ambas cordilleras el flanco noreste está marcado por una transición abrupta hacia la corteza oceánica vecina de 9 km de espesor, mientras que el flanco suroeste la transición se extiende sobre una zona muy ancha.

Cerca de la Península de Osa se intentó hacer una investigación quasi-3-D del margen continental. Se hicieron tiros con cañón de aire alrededor de la península, extendiéndose dentro del Golfo Dulce. Estos tiros fueron registrados por instrumentos distribuidos a lo largo del rumbo de la Cordillera del Coco así como por estaciones dispuestas en forma perpendicular a la misma. Además, se encontraron cerca de la red sismológica en tierra.

El perfil final fue localizado frente a la Península de Nicoya, donde, con base en anomalías magnéticas, se espera que ocurra una transición de las provincias corticales. Aquí, la corteza generada en la Dorsal del Pacífico Este debería estar en contacto con la corteza generada en el Centro de Dispersión de Galápagos. Una primera inspección visual de los datos indica diferencias entre ambas provincias.

Al igual que en otras zonas de subducción, en Costa Rica se ha encontrado transporte de fluido y gas debido a la compresión a lo largo del margen activo. Los hidratos de gas almacenan gas, agua y otros elementos traza.

Se llevaron a cabo 10 perfiles con el video OFOS y en 9 de ellos se muestreó metano. Se encontró numerosos rezumideros (seeps). Cuando las concentraciones de metano son altas en el fondo del agua cerca de los rezumideros en el video, éstos fueron identificados por la aparición de organismos quimosintéticos en las chimeneas. Las chimeneas están concentradas cerca de las cicatrices de deslizamiento tales como las cicatrices de Jacó y Parrita (Jaco, Parrita scars). Cerca de las cicatrices más pequeñas, fueron vistos grandes campos de bacterias y volcanes de lodo activos, con una espectacular fauna cerca del centro del volcán de lodo.

Investigación de hidratos de gas en los océanos de América Central.

Los hidratos de gas son componentes cristalinos consistentes de agua y gas que se forman a altas presiones y bajas temperaturas cuando el gas de bajo peso molecular está presente en exceso de solubilidad. Los hidratos de metano son estables bajo las condiciones de presión y temperatura generalmente encontradas en el Ártico y cerca del piso oceánico en aguas que se encuentran a profundidades mayores de 500 m. Son muy comunes al pie del talud continental tanto en márgenes activas como pasivas así como en secuencias sedimentarias de cuencas

marginales. Típicamente, los hidratos se forman a decenas o cientos de metros debajo del piso oceánico, dependiendo de la disponibilidad de metano, la temperatura y la presión.

Recientemente, los hidratos de gas han comenzado a tener mayor atención internacional de los investigadores, debido a que se reconoce cada vez más que grandes volúmenes de gases se encuentran almacenados en los hidratos. Estos depósitos representan una fracción significativa del presupuesto global de metano y puede, por lo tanto, ser una fuente potencial de energía para el futuro. Algunos autores han sugerido también que la descomposición de los hidratos en los sedimentos ubicados inmediatamente por debajo del suelo oceánico, responde a cambios en las condiciones ambientales y que pudieron tener un efecto significativo sobre el clima en el pasado.

Los hidratos han sido mapeados con base en la distribución del reflector que simula el fondo (bottom simulating reflector, BSR), que es una reflexión característica causada por un fuerte contraste de impedancia entre los sedimentos superiores que contienen hidratos y el material inferior cuyos poros están llenos de gas. Actualmente la investigación se está enfocando hacia la cuantificación de la relación entre las características del BSR, el volumen de gas libre, el volumen de hidratos sólidos, las tasas de flujo de fluidos, el régimen de estabilidad y las manifestaciones de hidratos de gas pasados tales como los carbonatos de hidratos de gas. En particular, en el margen continental de Costa Rica, se estudia la relación entre los deslizamientos y los hidratos de gas porque existen grandes áreas de deslizamiento así como grandes volúmenes de hidratos de gas.

La primera vez que se extrajo hidrato de gas en el Pacífico consistió de una pequeña pieza en un núcleo del Leg 66 del DSDP. Luego, se encontraron más piezas en el Leg 67 del DSDP, este descubrimiento hizo que el Glomar Challenger fuera direccionado hacia otros objetivos debido a las reglas de seguridad de aquel tiempo. Más tarde, en el Leg 84 del DSDP frente a las costas de Guatemala, se recuperó una sección de núcleo completa de hidrato de gas y se preservó en recipientes a presión fríos, permitiendo entonces los primeros estudios químicos de profundidad realizados en la costa.

Proyecto Paganini

Objetivos:

Las investigaciones previas de los programas PACOMAR y TICOSECT desde 1992, y las inmersiones del Alvin seguidos por el Leg 170 ODP en el fondo oceánico, dieron base para un proyecto multidisciplinario más expandido llamado Paganini (**P**anamá Basin and **G**alápagos Plume **N**ew **I**nvestigations of **I**nterplate Magmatism). Este involucra a un gran grupo internacional de investigadores de Alemania, Francia, Costa Rica, Ecuador, Colombia y Estados Unidos. El proyecto cuenta con financiamiento internacional y cuenta con el apoyo de varias instituciones dentro de las naciones participantes. Los estudios científicos se extienden geográficamente sobre áreas oceánicas profundas y las márgenes continentales entre Nicaragua y Ecuador, e incluye las cordilleras del Coco, Carnegie, Malpelo y Coiba. Los amplios objetivos del proyecto Paganini pueden resumirse como sigue:

- Reconstrucción de las plumas del manto, magmatismo del punto caliente y el desarrollo de "grandes provincias ígneas (LIPS)" para una más completa comprensión del sistema de Pluma de Galápagos.
- Refinar la comprensión del "sistema volcánico de Galápagos (SVG)" por medio de la determinación de la historia tectónica de la región de la Cuenca de Panamá.
- Caracterizar la relación entre la subducción de la corteza normal del SVG y la corteza engrosada de la Cordillera del Coco con la sismicidad, el volcanismo en el arco y el rápido levantamiento de la costa para contribuir en la estimación de las amenazas

naturales. Cuánto es afectada la ruptura sismogénica por las características de la placa que se subduce?

- Registrar sismos con un arreglo de instrumentos de fondo oceánico y una red en tierra para definir la configuración de la zona sismogénica. Dando particular énfasis al término de la zona sismogénica la cual se define pobremente cuando solo se utilizan redes basadas en tierra.
- Investigar la desestabilización de los hidratos de gas conforme ellos son levantados sobre los montes submarinos que se subducen frente al margen continental de Costa Rica. El proceso de colisión activa eleva los sedimentos con gas hidratado, los cuales son, entonces, expuestos en el fondo oceánico en cicatrices de deslizamientos y en muchas chimeneas de gas. Tienden los hidratos gaseosos a estabilizar los taludes o forman superficies de deslizamiento por falla gravitacional?

Instrumentación:

Se instalaron 14 estaciones de fondo oceánico (OBS), pertenecientes al Instituto de Oceanología SCRIPPS y fueron colocadas hacia el NW de la Península de Osa, para cubrir la región del sismo del 20 de agosto de 1999 (Mw: 6,7). Las estaciones están también equipadas con un medidor de flujo y otros 7 medidores de flujo fueron desplegados en las cercanías. Adicionalmente, se instalaron estaciones sismológicas en tierra y se hicieron explosiones en tierra para calibrar las estaciones marinas.

Para los experimentos sísmicos activos se tenían disponibles 21 hidrófonos de fondo oceánico (OBH) y sismógrafos del fondo oceánico (OBS) de GEOMAR, 13 OBS de IRD y 1 OBH de IFREMER, los cuales se utilizaron en 162 posiciones diferentes. Las ondas sísmicas fueron generadas usando hasta tres cañones de aire BOLT 800c-PAR 800 CT, cada una con un volumen de 32 litros. Adicionalmente, para la investigación de alta resolución de estructuras reflexivas en el margen de Costa Rica, se utilizó un arreglo de 4 cañones de aire de pequeño volumen.

Se probó nueva instrumentación. El OBH IFREMER, basado en la electrónica del OBH de GEOMAR trabajó satisfactoriamente. El nuevo registrador GEOLON y el sismómetro de banda ancha adicionado a un OBS de GEOMAR trabajó bastante bien, y entonces parece posible que en el futuro se pueda tener registros marinos por largo tiempo para aplicaciones sismológicas.

Por primera vez en el barco de investigación RV SONNE se usó el sistema de remolque profundo TOBI propiedad del Centro Oceanográfico de Southampton. En las cuatro veces que se utilizó, se investigó a lo largo de 950 km, cubriendo principalmente el margen inferior del sur del Golfo de Nicoya, extendiéndose sobre un área de 4950 km². Las imágenes de sonar de barrido lateral de alta resolución obtenidas con el TOBI dan la oportunidad de observar con más detalles la morfología del suelo oceánico, lo que nos permite estudiar la subducción de los montes submarinos y su consiguiente debilitamiento del talud. Es más fácil descifrar los movimientos verticales diferenciales. Se puede diferenciar las regiones de alta reflectividad lo cual no puede ser explicado por la morfología por sí misma. Estas se interpretan como áreas en donde ocurre precipitación causada por la circulación de fluidos.