

PH. D. Thesis

## **Rifting and seafloor spreading in backarcs: The Bransfield and North Fiji Basins (NW Antarctica and SW Pacific)**

### **“Rifting” i acreció oceànica de rere-arc: les conques de Bransfield i Nord Fijiana (Antàrtida i Pacífic Sudoest)**

EULÀLIA GRÀCIA i MONT

\*UA Geociències Marines CSIC-UB, GRQ Geociències Marines, Dpt. Geologia Dinàmica, Geofísica i Paleontologia, Univ. Barcelona, 08028 Barcelona.

Actualment a: Institut de Ciències de la Terra “Jaume Almera”-CSIC. C/ Lluís Solé i Sabaris, s/n. 08028 Barcelona. E-mail: egracia@ija.csic.es

#### RESUM

Aquesta Tesi estudia els processos de *rifting* i acreció oceànica en les conques de rere-arc utilitzant dades de batimetria multifeix i dades geofísiques. Els mètodes geofísics emprats han estat, principalment, magnetisme i gravimetria, tot i que també es presenten dades de sísmica de reflexió i de submergible. Tres àrees han estat seleccionades: les conques Central i Oriental a la Conca de Bransfield, l'Eix d'Expansió Central, i la Dorsal de Sud Pandora-Tripartita a la Conca Nord-Fijiana.

La Conca de Bransfield és una conca de rere-arc activa que es troba entre la Península Antàrtica i les Illes Shetland del Sud, a la vora sudoest de l'Arc de Scotia. Està formada per les conques Occidental, Central i Oriental, separades per les Illes Deception i Bridgeman. Les conques Central i Oriental van ser estudiades durant la campanya oceanogràfica GEBRA 93.

La Conca Central de Bransfield (Fig. 1a) té 60 km d'amplada, 230 km de longitud, una profunditat màxima de 1950 m i la majoria d'estructures estan orientades N55-N60. La morfologia de la conca està dominada per sis volcans submarins alineats seguint l'eix de la conca, que afloren entre el fons recobert de sediments. Per altra part, la Conca Oriental té 42 km d'amplada, 150 km de longitud,

una profunditat màxima de 2700 m i la majoria d'estructures estan orientades N40-N45. La conca es caracteritza per quatre depressions profundes de forma romboïdal i disposades *en échelon* i per cons volcànics petits i dispersos, principalment localitzats a la meitat sudoest de la conca. Entre les dues conques s'ha observat un total de 119 volcans submarins, amb predomini dels edificis grans (de més de 150 m d'alçada) en la Conca Central. Les anomalies magnètiques són difícils d'identificar en la Conca de Bransfield, però així i tot s'ha observat un alineament magnètic positiu, anomenat Anomalia del Rift de Bransfield, ben correlacionat amb els volcans submarins de la Conca Central. Si interpretem aquesta anomalia com l'Anomalia 1, l'edat màxima de la conca seria de 0.71 Ma i l'índex d'expansió resultant de 0.83 mm/a. Les anomalies gravimètriques a l'aire lliure estan ben correlacionades amb les estructures observades batimètricament.

La Conca Nord Fijiana (Fig. 1b) és una conca de rere-arc madura que es troba entre dues zones de subducció actives i de polaritat oposada: les fosses de les Noves Hèbrides i de Tonga-Kermadec. En la Conca Nord Fijiana s'han identificat diverses estructures extensives i centres d'expansió, dues de les quals s'han estudiat en detall: l'Eix d'Expansió Central i les Dorsals de Sud Pandora-Tripartita.

L'Eix d'Expansió Central ha estat intensament explorat

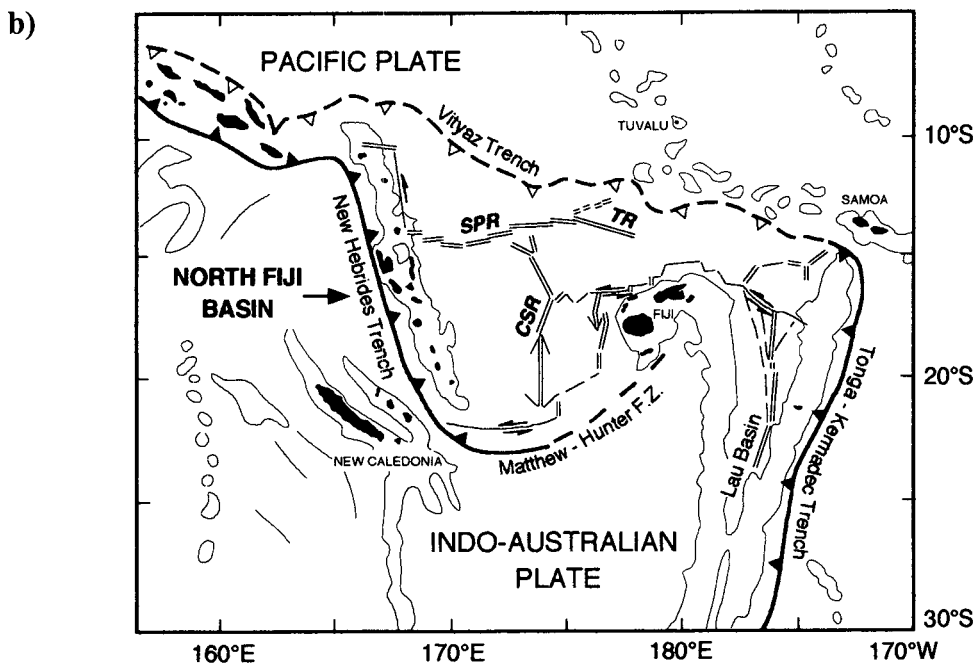
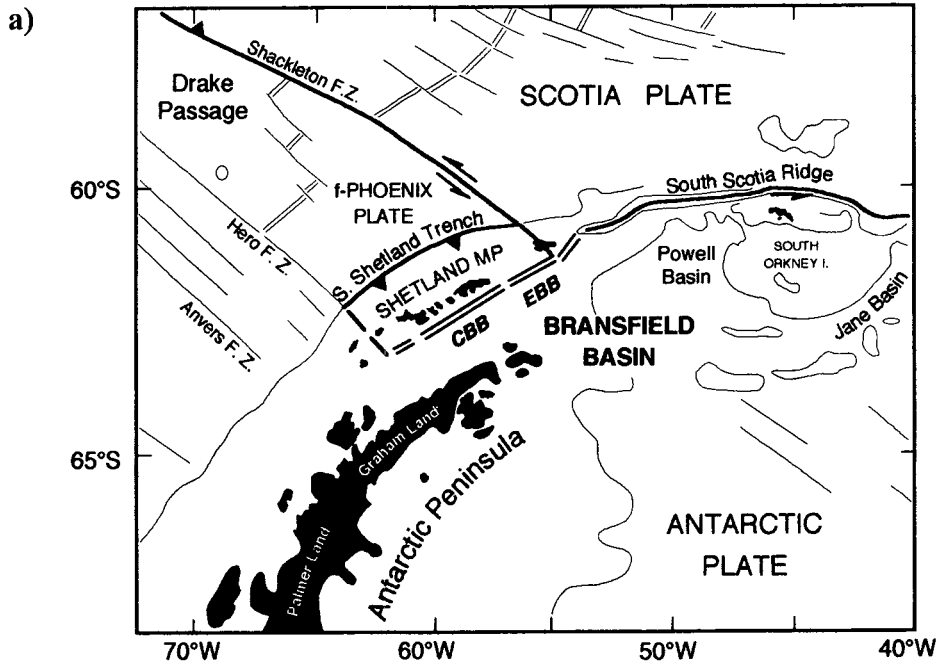
durant les campanyes del projecte franco-japonès STARMER (1987-1991). S'hi han realitzat sis campanyes oceanogràfiques, quatre de superfície i dues d'immersió. L'Eix d'Expansió Central té més de 800 km de longitud, 50-60 km d'amplada i està dividit en tres segments de primer ordre, anomenats segons les seves direccions predominants, N160, N15 i N-S. El segment N160 té 210 km de longitud i està format per tres segments de segon ordre, els quals són una successió de llargs grabens *en échelon*, similars als que es troben a la Dorsal Mèdio-Atlàntica. El segment N15, de 165 km de longitud, es caracteritza per una doble cresta partida per un graben axial. El segment N-S té 255 km de llargada i està dividit en tres segments de segon ordre. La morfologia es caracteritza per una cresta elevada i plana, anàloga a la Dorsal del Pacífic Est. En el segment N-S s'han identificat fins a l'Anomalia 2A (3.5 Ma), mentre que en els altres dos segments s'han identificat només les anomalies magnètiques J i L (0.97 and 0.71 Ma, respectivament). L'índex d'expansió calculat és intermedi i disminueix de 80 a 50 mm/a. A més, s'ha observat un canvi en l'estructura gravimètrica axial al llarg de l'Eix d'Expansió Central. Les anomalies de Bouguer del mantell obtingudes en la part nord de l'Eix d'Expansió Central mostren anomalies concèntriques negatives que s'interpreten com resultat d'una focalització dels processos d'acreció i, pertant, variacions del gruix d'escorça (més gruixuda al centre del segment). En canvi, les anomalies de Bouguer del mantell observades en la part sud de la dorsal són molt més homogènies, compatibles amb les morfologies observades.

Les Dorsals de Sud Pandora-Tripartita es troben en la part nord de la Conca Nord Fijiana, una àrea que ha estat estudiada durant la campanya NOFI 94. El sistema Sud Pandora-Tripartita s'estén al llarg de més de 800 km de llargada i s'hi han distingit tres segments de primer ordre segons la seva orientació: N75, E-W (Dorsal de Sud Pandora) i N110 (Dorsal Tripartita). El segment N75 té 170 km de longitud, es compon de dos segments de segon ordre i la morfologia axial està dominada per grabens intruïts per *seamounts*. El segment E-W té 300 km de longitud, està format per tres segments i la seva morfologia longitudinal és molt contrastada. El segment N110 té 280 km de longitud, està format per tres segments de segon ordre caracteritzats per una alternança entre *seamounts* axials i profundes depressions. En les interpretacions preliminars de les anomalies magnètiques s'han identificat les Anomalies 1 fins a la 3A (7 Ma) en la Dorsal de Sud Pandora. L'índex d'expansió calculat és ultra-lent, de 16 mm/a. En canvi, en la Dorsal Tripartita només s'ha identificat l'Anomalia 1, amb un índex d'expansió que disminueix entre 8.5 a 0 mm/a.

L'estructura gravimètrica mostra anomalies negatives tipus *bull's eye* associades als alts volcànics.

Es discuteixen diversos punts, referents sobretot a l'evolució de rere-arc, la comparació entre l'expansió de rere-arc i mèdio-oceànica, el paper del vulcanisme corresponent als *seamounts*, les diferències en els règims tèrmics al llarg de l'Eix d'Expansió Central i models d'acreció de rere-arc. Les principals conclusions són les següents:

- 1) Les tres àrees estudiades han estat classificades en estadis evolutius de rere-arc, des d'estadis incipient i de pre-expansió (Conques Central i Oriental de Bransfield, respectivament) fins a expansió oceànica ben organitzada, de jove (Dorsal Tripartita) a madura (Eix d'Expansió Central i Dorsal Sud Pandora).
- 2) L'obertura actual de la Conca de Bransfield sembla estar relacionada amb el retrocés de la zona de subducció de les Shetland del Sud. En la Conca Nord Fijiana, l'obertura sembla més aviat relacionada amb una anomalia tèrmica regional.
- 3) El *rifting* inicial de l'arc pot predeterminar la futura segmentació de la conca. Els processos d'acreció de rere-arc i mèdio-oceànics són força similars, però s'observen algunes diferències relacionades amb la segmentació i les discontinuïtats axials. La segmentació de rere-arc de primer ordre és de curta longevitat i té la meitat de l'espaiat que en les dorsals mèdio-oceàniques. Una diferència fonamental entre les dorsals de rere-arc i les mèdio-oceàniques és la manca de zones de fractura que separin els segments de rere-arc.
- 4) El vulcanisme de grans *seamounts* pot tenir un paper fonamental en la construcció de les dorsals de rere-arc. Proposem que deuen ser una característica comuna en les dorsals lentes i ultra-lentes així com en els centres d'expansió incipients, tal com ha estat observat al llarg de la Dorsal de Sud Pandora-Tripartita i Conca Central de Bransfield, respectivament.
- 5) La variabilitat de la morfologia axial i l'estructura gravimètrica observada al llarg de l'Eix d'Expansió Central pot explicar-se mitjançant diferències en el règim tèrmic. Els límits entre els segments "freds" i "calents" són rifts que es propaguen, els quals poden ser interpretats com a fronteres tèrmiques.
- 6) Es presenten dos models extrems d'acreció crustal i *upwelling* mantèlic de rere-arc: Accreció focalitzada i accreció contínua. L'acreció focalitzada es caracteritza per



:Figure 1. a) Present-day plate tectonic setting of the Bransfield and b) the North Fiji Basins. Black aligned triangles: active subduction zones. White aligned triangles: fossil subduction zones. Thick double lines: active spreading centres. CBB: Central Bransfield Basin, EBB: Eastern Bransfield Basin, MP: Microplate. CSR: Central Spreading Ridge, SPR: South Pandora Ridge, TR: Tripartite Ridge. The maps are not at the same scale.

Figura 1. Situació actual de plaques i localització de les àrees estudiades: a) a la Conca de Bransfield i b) a la Conca Nord-Fijiana. Triangles negres: zona de subducció activa. Triangles blancs: zona de subducció inactiva. Línies paral·leles: centres d'expansió actius. CBB: Conca Central de Bransfield, EBB: Conca Oriental de Bransfield, MP: Microplaca, CSR: Eix d'Expansió Central, SPR: Dorsal de Sud Pandora, TR: Dorsal Tripartita. Els mapes no estan a la mateixa escala.

una morfologia i estructura profunda molt contrastada al llarg dels segments, amb *upwellings* de distribució puntual. L'acreció contínua és més homogènia i ininterrompuda al llarg de la dorsal, amb una cambra magnètica persistent. Els tipus d'acreció poden ser controlats per factors interns (evolució de la dorsal, índex d'expansió, règim tèrmic) i factors externs (tipus de litosfera, plomes mantèliques i zones de subducció).

#### ABSTRACT

This Thesis deals with the study of the rifting and seafloor spreading processes in backarc basins using swath-bathymetry and geophysical data. The geophysical methods used are mainly magnetics and gravity, although other methods, such as seismic reflection and submersible data are also presented in some chapters. Three areas were selected for this study: The Central and Eastern Bransfield Basins, northwest Antarctic Peninsula, and the Central Spreading Ridge and the South Pandora-Tripartite Ridges in the North Fiji Basin, southwest Pacific.

The Bransfield Basin is a narrow and elongated active backarc basin located between the Antarctic Peninsula and the South Shetland Islands, at the southwestern edge of the Scotia Arc (Fig. 1a). The Bransfield Basin is composed of three small basins, Western, Central and Eastern, separated respectively by Deception and Bridgeman Islands. The last two were surveyed by the GEBRA 93 cruise during which full swath-bathymetric coverage, single-channel seismic reflection and magnetic profiles were acquired.

The Central Bransfield Basin (Fig. 1a) is 60 km wide, 230 km long and 1950 m deep, and the structures mainly trend N55-60. The basin morphology is dominated by six large seamounts (labelled A to F) that crop out from the sedimented seafloor of the Central Bransfield Basin and align with the basin axis. The seamounts present circular, semi-circular and elongated morphologies. Moreover, the Eastern Bransfield Basin (Fig. 1a) is 42 km wide, 150 km long, deeper than 2700 m and trends N40-45. The basin is characterised by four deep *en échelon* troughs showing a lozenge shape, and small, scattered volcanic cones mainly located in the southwestern half basin. A total of 119 submarine volcanoes are observed in these two basins, with a predominance of higher edifices (over 150 m high) in the Central Basin. Magnetic anomalies are difficult to identify in the Bransfield Basin, although a positive alignment well correlated with the submarine volcanic edifices of the Central Bransfield Basin was recognized and named the Bransfield Rift Anomaly. When this

anomaly is tentatively interpreted as Anomaly 1, the maximum age of spreading in the Central Bransfield Basin would be 0.71 Ma and the resulting maximum full rate 0.83 mm/yr. The free-air gravity anomalies are well correlated with the bathymetric maps.

The North Fiji Basin is a mature backarc basin located between two active subduction zones of opposite polarity: the New Hebrides and the Tonga-Kermadec trenches (Fig. 1b). Several extensional features and spreading centres have been identified within the North Fiji Basin. Two of these features are studied in detail here: the Central Spreading Ridge and the South Pandora-Tripartite Ridges.

The Central Spreading Ridge (Fig. 1b) is the most widely explored and best known of all the spreading centres identified in the basin, and has been intensively explored during the cruises of the French-Japanese STARMER project (1987-1991). Six cruises were undertaken in the area during this project: 4 surface cruises (swath-bathymetry, geophysics and sampling) and 2 diving cruises. The Central Spreading Ridge is more than 800 km long and 50-60 km wide, and is segmented into three first order segments labelled, from north to south, N160, N15 and N-S according to their orientation. The N160 segment is 210 km long and is composed of three second-order segments (CSR1 to CSR3), which are a succession of long *en échelon* grabens, similar to that of the Mid-Atlantic Ridge. The N15 segment is 165 km long and comprises two segments, CSR4 and CSR5. The axial morphology is characterized by a double ridge, split by an axial graben. The N-S segment is 255 km long and divided into three second-order segments (CSR6 to CSR8). The segment morphology shows a central flat and rectangular high, like in the East Pacific Rise. Magnetic anomalies up to Anomaly 2A (3.5 Ma) are recognized along the N-S segment, whereas only Anomalies J and I (0.97 and 0.7 Ma, respectively) are clearly identified along the other two segments. The calculated spreading rate is intermediate, decreasing northwards from 80 to 50 mm/yr. In addition, there is a change in the axial gravity structure along the Central Spreading Ridge. The mantle Bouguer anomalies obtained on the northern part of the Central Spreading Ridge (N160/N15 segments) show "bull's eye" structures interpreted as the result of mantle upwelling at the middle of the segments. In contrast, the mantle Bouguer anomalies of the southern part of the ridge (N-S segment) are more homogeneous and consistent with the observed smooth topography.

The South Pandora-Tripartite Ridges (Fig. 1b) are located in the northern part of the North Fiji Basin, one of

the less explored areas of the basin. The area was surveyed by the NOFI cruise during which swath-bathymetry, geophysical and geological data were acquired. The South Pandora-Tripartite system extends over more than 800 km, and three first-order segments are distinguished according to their orientation: N75 and E-W (South Pandora Ridge) and N110 (Tripartite Ridge). The N75 segment is 170 km long and is composed of two second-order segments, SPR4 and SPR3. Its axial morphology is dominated by an axial graben disturbed only by an abrupt central seamount in the middle of segment SPR3. The E-W segment is 300 km long and composed of three segments, SPR2, SPR1 and SPR0, from west to east respectively. This segment also shows a contrasting longitudinal morphology. The N110 segment is 280 km long and composed by TR3, TR2 and TR1 second-order segments. Bathymetric maps show axial seamounts and deep troughs alternating along-axis. Preliminary interpretations of magnetic anomalies are presented, and Anomalies 1 to 3A (7 Ma) are identified along the South Pandora Ridge. The calculated spreading rate is ultra-slow at 16 mm/yr. In contrast, only Anomaly 1 is clearly identified along the Tripartite Ridge, with a full spreading rate decreasing from 8.5 to 0 mm/yr towards the southeast. The gravity structure also shows “bull’s eye” lows associated with the contrasting volcanic highs.

Several points are discussed concerning backarc evolution, the comparison between backarc and mid-ocean ridge spreading, the role of seamount volcanism, differences in thermal regimes along the Central Spreading Ridge, and models of backarc accretion. The main conclusions are:

- 1) The three areas studied have been classified in terms of backarc evolutionary stages, from incipient and pre-spreading rifting stages (Central and Eastern Bransfield Basins, respectively) to well organized seafloor spreading, and from young (Tripartite Ridge) to mature (Central Spreading Ridge and South Pandora Ridge).
- 2) The present-day opening seems to be related to the rollback of the subduction hinge in the Bransfield Basin. In the North Fiji Basin the opening seems to be linked to a regional thermal anomaly.
- 3) The initial rifting of the arc may pre-determine the future segmentation of the basin. Even if the accretionary processes are similar in backarc and mid-ocean ridge settings, differences appear concerning ridge segmentation and axial discontinuities. First-order backarc segmentation is short-lived and about half the length of that in mid-ocean ridges. A fundamental dif-

ference between backarc and mid-ocean ridges is the lack of large fracture zones and transform faults separating the backarc segments.

- 4) Large seamount volcanism may play a fundamental role in backarc axial construction, and may be a common characteristic of slow and ultra-slow mature spreading ridges and incipient spreading centres, as observed along the South Pandora-Tripartite Ridges and the Central Bransfield Basin, respectively.
- 5) The variability of the axial morphology and gravity structure observed along the Central Spreading Ridge is explained in terms of differences in thermal regime. The limits between “cold” and “hot” segments are propagating rifts, which may be interpreted as thermal boundaries.
- 6) Two end-member models of backarc crustal accretion and mantle upwelling are presented: focused-type and continuous-type accretion. The focused-type would show an extremely contrasted morphology and deep structure along the segments, with punctiform upwellings. The continuous-type accretion would be homogeneous and uninterrupted along the ridge, with a persistent magma chamber. Internal (ridge evolution, spreading rate, thermal regime) and external factors (nature of the surrounding lithosphere, proximity of mantle plumes and subduction zones) may control the different types of accretion.

---

**Data de Lectura:**

12 de Febrer de 1996

**Directors de Tesi:**

Dr. Miquel Canals Artigas

*(Dpt. G.D.G.P., Universitat de Barcelona)*

Dr. Jean-Marie Auzende

*(IFREMER-Brest, França)*

**Membres del tribunal**

**(segons normes del Doctorat Europeu):**

Dr. Mariano Marzo Carpio

*Dpt. G.D.G.P., Universitat de Barcelona*

Dr. Josep Anton Muñoz de la Fuente

*Dpt. G.D.G.P., Universitat de Barcelona*

Dr. Pere Enrique Gisbert

*Dpt. G.P.P.G., Universitat de Barcelona*

Dr. Yves Lagabrielle

*URA1278/CNRS, Brest (França)*

Dr. Jean Francheteau

*Université de Bretagne Occidentale, Brest (França)*