

# **Sistemas de Información Geográfica + Océanos**

---

**Una extraña combinación**

***Sedimentación y Crecimiento  
Continental  
en Modelos de S.I.G***

**Trabajo de Grado  
para la Licenciatura en Informática**

**Alumna: Gabriela Beatriz Arévalo**

**Directora: Lic. Silvia Gordillo**

**Facultad de Ciencias Exactas  
Universidad Nacional de La Plata  
Diciembre 1998**

**TES  
98/21  
DIF-02403  
SALA**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA  
FACULTAD DE INFORMÁTICA  
Biblioteca  
50 y 120 La Plata  
catalogo.info.unlp.edu.ar  
biblioteca@info.unlp.edu.ar**



DIF-02403

---

**Indice**

Dedicatoria .....	1
Agradecimientos.....	2
Capítulo 1- INTRODUCCION .....	3
1. 1 MOTIVACION .....	4
1. 2 OBJETIVOS.....	6
1. 3 METODOLOGIA .....	6
1. 4 RESUMEN DE LA TESIS.....	7
Capítulo 2 - HERRAMIENTAS PARA EL DISEÑO .....	8
2. 1 SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICA (S.I.G.).....	9
2. 2 Por qué usar un S.I.G. [Aronoff 91].....	10
2. 3 UNA BREVE INTRODUCCION A LA TECNICA DE MODELIZACION DE OBJETOS .....	11
2. 3. 1 Terminologia y Conceptos de OMT (Object Modeling Technique).....	12
2. 3. 2 Fundamentos de las Tecnicas de Modelos de Objetos .....	14
2. 3. 3 El Modelo de Objetos .....	15
2. 3. 4 El Modelo Dinámico.....	15
2. 3. 5 El Modelo Funcional.....	15
2. 4 PATRONES DE DISEÑO.....	16
2. 4. 1 Patrón de Diseño STATE [Gamma et al. 94].....	16
2. 4. 2 Patrón de Diseño STRATEGY [Gamma et al. 94].....	17
2. 4. 3 Patrón de Diseño COMPOSITE [Gamma et al. 94].....	18
2. 4. 4 Patrón de Diseño DECORATOR [Gamma et al. 94] .....	19
2. 4. 5 Patrón de Diseño FACTORY METHOD [Gamma et al. 94].....	20
2. 4. 6 Patrón de Diseño REFERENCE SYSTEM [Gordillo et. al. 97].....	21
2. 5 AGREGAR CARACTERISTICAS GEOGRAFICAS USANDO DECORATORS ....	23
2. 6 CAMPOS CONTINUOS [Gordillo 98].....	24
Capítulo 3: LA TECTONICA DE PLACAS .....	26
3. 1 INTRODUCCION .....	27
3. 2 EL ESTUDIO DE LOS FONDOS OCEANICOS .....	27
3. 3 PLACA TECTONICA: Definición y Características .....	28
3. 3. 1 Límites de Placas Convergentes.....	28
3. 3. 2 Límites de Placas Divergentes .....	30
3. 3. 3 Límites de Placas de Transformación .....	31
3. 4 EXTENSION CONTINENTAL Y CUENCA OCEANICA .....	32
3. 4. 1 La Costa: Características Topográficas de la Línea de Costa.....	32
3. 4. 2 La Orilla.....	33
3. 4. 3 Las Playas.....	34
3. 4. 4 Accidentes de la Extensión Continental y del Fondo Submarino .....	34
3. 4. 5 Características de los Accidentes Topográficos.....	36
3. 5 PROCESOS TECTONICOS: Descripción y Características .....	37
3. 5. 1 Grietas: Formación de Margen Continental y Cuenca Oceánica.....	37
3. 5. 2 El relieve de los rift valleys .....	38
3. 5. 3 Zonas de Subducción y Formación de Arcos Tectónicos.....	39
3. 5. 4 Fallas: Descripción y Clasificación .....	40

3. 6 ACCIDENTES GEOGRÁFICOS Y PROCESOS DE FORMACIÓN .....	42
3. 7 FENOMENOS RELACIONADOS: Vulcanismo y Terremotos .....	43
3. 7. 1 MOVIMIENTOS SISMICOS.....	43
3. 7. 1. 1 Descripción .....	43
3. 7. 1. 2 Ondas de Choque.....	44
3. 7. 1. 3 Tipos y Localizaciones de los Terremotos .....	45
3. 7. 1. 4 Escalas de Intensidad.....	46
3. 7. 2 VULCANISMO Y FORMACION DE VOLCANES .....	46
3. 7. 2. 1 Volcán: Descripción de Partes .....	46
3. 7. 2. 2 Volcán: Clasificación.....	47
3. 7. 2. 3 Volcán: Formas Topográficas y de Erupción .....	48
Capítulo 4: ANÁLISIS Y DISEÑO DEL DOMINIO.....	51
4. 1 INTRODUCCION .....	52
4. 2 ANALISIS Y DISEÑO DE LOS ELEMENTOS Y RELACIONES .....	54
4. 2 .1 Accidentes y Características Topográficas:	
Depresión, Elevación y Superficie de Llanura.....	54
4. 2. 2 Modelo de Accidentes Topográficos .....	56
4. 2 .3 Costas .....	67
4. 2. 4 Orilla y Playa .....	70
4. 2. 5 Margen Continental .....	75
4. 2. 6 Falla.....	77
4. 2. 7 Minerales Volcánicos.....	82
4. 2. 8 Límites.....	83
4. 2. 9 Placa Tectónica.....	84
4. 3 FENOMENOS RELACIONADOS: Terremotos y Vulcanismo .....	86
4. 3. 1 Los sistemas de medición .....	86
4. 3. 2 El vulcanismo y los volcanes.....	87
4. 3. 3 Terremotos .....	91
4. 4. ANALISIS DE LOS PROCESOS TECTONICOS .....	97
4. 4. 1 Formación de Margen Continental .....	97
4. 4. 2 Formación de Arco Tectónico.....	104
4. 4. 3 Formación de Zonas de Subducción.....	110
4. 4. 4 Creación de Volcanes .....	112
Capítulo 5 - CONCLUSIONES .....	117
5. 1 ANALISIS CRITICO DE LA ARQUITECTURA PLANTEADA.....	118
5. 2 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	120
Capítulo 6 BIBLIOGRAFÍA - APÉNDICES.....	122
6.1 Referencias Bibliográficas.....	123
6.2 Apéndice: Glosario.....	126

## Indice de Figuras

Figura 2.1 Notación utilizada para modelizar con OMT .....	13
Figura 3.1 Partes de una Placa .....	28
Figura 3.2 Convergencia oceánica - oceánica.....	29
Figura 3.3 Convergencia Oceánica - Continental.....	29
Figura 3.4 Convergencia Continental -Continental.....	29
Figura 3.5 Dorsal Medio Oceanica.....	30
Figura 3.6 Valle de Grietas.....	30
Figura 3.7 Falla de San Andrés.....	31
Figura 3.8 Esquema de los límites de una placa.....	31
Figura 3.9 Zona Costera: Costa, Orilla y Playa.....	32
Figura 3.10 Margen Continental.....	35
Figura 3.11 Creación de la Margen Continental.....	37
Figura 3.12 Formación de Arcos Tectónicos.....	39
Figura 3.13 Tipos de Fallas.....	41
Figura 3.14 Falla de Transformación.....	42
Figura 3.15 Ondas P.....	44
Figura 3.16 Ondas S.....	44
Figura 3.17 Parte superior: Ondas Q.....	44
Figura 3.18 Partes de un Volcán.....	47
Figura 3.19 Capas de Volcán.....	48
Figura 3.20 Parte Superior: Erupciones Islándica y Hawaiana - Parte Inferior: Topografía de Cono Cinder.....	49
Figura 3.21 Erupciones Stromboliana y Vulcaniana.....	49
Figura 3.22 Cono Composite.....	50
Figura 3.23 Erupciones Peleana y Pliniana.....	50
Figura 4.1 Perfiles de Relieve Submarino.....	54
Figura 4.2 Conceptos de Profundidad - Altura - Pendiente.....	55
Figura 4.3 Comparación de Altura y Profundidad.....	56
Figura 4.4 Campos Continuos gráficamente en el relieve submarino.....	56
Figura 4.5 Modelo Preliminar de Accidentes Topográficos.....	57
Figura 4.6 Conceptos de Ancho - Extensión.....	59
Figura 4.7 Modelo Definitivo de Accidentes Topográficos.....	60
Figura 4.8 Modelo de Depresión y su clasificación.....	65
Figura 4.9 Modelo de Elevación y su clasificación.....	66
Figura 4.10 Perfil de la Extensión Continental.....	67
Figura 4.11 Modelo Preliminar de Costa.....	67
Figura 4.12 Modelo de Costa Sumergente.....	68
Figura 4.13 Modelo de Costa Emergente.....	68
Figura 4.14 Modelo Definitivo de Costa.....	69
Figura 4.15 Perfil de la Extensión Continental.....	70
Figura 4.16 Modelo Preliminar de Playa / Orilla.....	70
Figura 4.17 Modelo Definitivo de Playa / Orilla.....	72
Figura 4.18 Perfil de la Playa con los Accidentes Topográficos.....	72

---

Figura 4.19 Perfil de la Extensión Continental.....	75
Figura 4.20 Modelo Preliminar de Margen Continental .....	75
Figura 4.21 Modelo Definitivo de Margen Continental.....	76
Figura 4.22 Modelo Preliminar de Falla.....	78
Figura 4.23 Modelo Definitivo de Falla .....	80
Figura 4.24 Depresión y Elevación formadas por la Falla .....	81
Figura 4.25 Modelo de Minerales Volcánicos.....	82
Figura 4.26 Modelo de Límite.....	83
Figura 4.27 Perfil de la Placa Tectónica .....	84
Figura 4.28 Modelo de Placa.....	85
Figura 4.29 Modelo de Medida.....	86
Figura 4.30 Modelo del Volcán.....	87
Figura 4.31 Modelo del Volcán y sus posibles estados.....	88
Figura 4.32 Modelo de Volcán y su proceso de formación.....	89
Figura 4.33 Modelo de Volcán y sus procesos de formación .....	90
Figura 4.34 Modelo Preliminar de Terremoto .....	92
Figura 4.35 Modelo Modificado de Terremoto.....	92
Figura 4.36 Comportamiento de Onda de Choque.....	94
Figura 4.37 Modelo de Ondas de Choque y su comportamiento.....	94
Figura 4.38 Modelo Definitivo del Terremoto.....	96
Figura 5.1 Definición de una elevación con dos campos continuos .....	118
Figura 5.2 Definición gráfica de una elevación.....	119
Figura 5.3 Definición de una Elevación y dos Depresiones.....	119
Figura 5.4 Manejo alternativo de Set de Superficie.....	120
Figura 5.5 Manejo alternativo de Superficie.....	121

## Dedicatoria

*A Papá y Mamá,  
por el cariño y el apoyo que me  
dieron en mi paso por la universidad;*

*A mi hermano Dario,  
por haberme dado el ejemplo  
en el camino del estudio;*

*A mi hermana Patricia,  
con quien siento la responsabilidad de  
transmitirle toda mi experiencia universitaria.*

## **Agradecimientos**

*A la Licenciada Silvia Gordillo, por aceptar la dirección de mi tesis y contribuir continuamente a mi crecimiento en el nivel universitario;*

*A los directores y profesores del L.I.F.I.A. por su constante apoyo y colaboración en mis últimos años de carrera;*

*Al grupo de G.I.S. por sus aportes en las etapas finales de esta tesis;*

*A mis compañeros del L.I.F.I.A., especialmente a Pablo Zanetti, y Alejandra Lliteras, por su ayuda y contribución,*

*A Julieta, por haberme facilitado material y sus conocimientos en el tema;*

*A mis amigos, por su paciencia.*

# **Capítulo 1**

# ***INTRODUCCIÓN***

**S.I.G. + Océanos = Una extraña combinación**

***Sedimentación y Crecimiento Continental  
en Modelos de SIG***

## Capítulo 1- INTRODUCCION

*“Cuál es la nueva frontera fascinante que cautivará al público y servirá a los intereses pragmáticos así como los vitales y los militares, mientras genera amplias oportunidades para trabajo e inversiones? Encuentro difícil proponer un ganador seguro en todas las disciplinas, pero nombraré a mi competidor favorito: el océano”*  
(Jerome Dobson, *G.I.S. World*, 1995)

### 1. 1 MOTIVACION

Una de las tecnologías más desarrolladas durante la última década ha sido los Sistemas de Información Geográfica (S.I.G). El desarrollo de aplicaciones ha apuntado a resolver las primeras necesidades industriales para el manejo de los datos espaciales. Estas aplicaciones basadas en tierra varían desde el manejo de información de tierra, planeamiento urbano, e investigación ambiental al manejo y diseño de ingeniería en las industrias petroleras, y análisis subsuperficial geológico [Li et. al. 93]. Los S.I.G son un poderoso recurso para analizar los sistemas interrelacionados implicados en estos tipos de problemas. Proveen métodos flexibles para explorar relaciones entre datos geográficos y asistir a los expertos de diversas disciplinas en combinar su conocimiento para resolver problemas complejos [Aronoff 91].

Pero los desarrollos actuales están muy focalizados en un problema específico a resolver, y fallan al proveer un ambiente adecuado para usuarios finales. [Medeiros et. al. 94] establece que los S.I.G. actuales proveen operaciones eficientes (por ejemplo, almacenamiento y recuperación) en datos geográficos, pero tienen grandes obstáculos en soportar las actividades básicas (modelización y análisis) desde el punto de vista del usuario. Con lo cual se puede afirmar que la investigación y el desarrollo que implican S.I.G. se clasifican en 2 clases:

- la que llevan a cabo los científicos de computación, y
- la que conducen los usuarios finales (por ejemplo, los cartógrafos, geógrafos, ingenieros),

lo que genera un gap entre estos dos mundos y diferentes puntos de vistas que influyen en el enfoque del problema de procesar datos georeferenciados.

- Los científicos (relacionados con las ciencias de la computación) a menudo carecen de un buen entendimiento de los requerimientos de los usuarios finales,
- Los usuarios raramente tienen el background de la computación para aprovechar las facilidades ofrecidas por un S.I.G..

[Egenhofer et. al. 95] afirma que “ la mayoría de los S.I.G. requieren un entrenamiento extensivo, no solamente para familiarizar a los usuarios con terminología de diseñadores del sistema, sino también para educarlos en formalizaciones usadas para representar datos geográficos y derivar información geográfica”. La mayoría de los problemas de los usuarios finales al usar S.I.G. se originan de dos puntos principales:

- Limitaciones de la interface y el modelo del S.I.G.: A menudo hay un desajuste entre el vocabulario y la comprensión del mundo del usuario y de la modelización y las facilidades de desarrollo ofrecidas por un S.I.G. determinado. Así, para desarrollar

aplicaciones o para consultar datos, los usuarios finales son forzados de alguna manera a distorsionar su vista del mundo para acomodarlo a los marcos de referencia, lenguaje y estructuras de datos del sistema

- Limitaciones debido a la falta de entrenamiento de los usuarios en Ciencias de la Computación: Los usuarios son expertos en su campo, pero raramente tienen el entrenamiento adecuado, ya sea en ingeniería de software o en técnicas de diseño y modelización de bases de datos, que los haría diseñar mejores aplicaciones, y mejorar los datos y reuso de software.

[Medeiros et. al. 94] describe, desde un macro punto de vista, que el desarrollo de una aplicación geográfica puede considerarse en 3 etapas: modelización del mundo real, especificación y carga de la base de datos y operación. Para solucionar el tipo de inconvenientes planteados y lograr acercarse al S.I.G. a la vista del mundo de los usuarios, se han desarrollado varias propuestas como [Gordillo et. al. 97] y [Medeiros et. al. 94], apuntando a la modelización de datos. La razón por la cual ese es el tópico a "atacar" es que las técnicas tradicionales de modelización de datos no sirven para manejar información geográfica con respecto a la locación donde son válidas el tiempo de observación y su precisión. [Medeiros et. al. 94] afirma que crear un modelo de datos geográficos es una tarea compleja porque implica la representación, en una forma discreta, del espacio de realidad continuo. Muchas de las propuestas muestran un creciente interés hacia el uso de la tecnología Orientada a Objetos para la modelización. [Gordillo et. al. 97] afirma que el diseño de entidades se realiza en términos de su representación espacial en lugar de su definición abstracta; el énfasis así se focaliza en "cómo se representa la información" en lugar de "qué información o comportamiento se necesita". La consecuencia es que las entidades con diferentes representaciones (por ejemplo, con diferentes escalas) se implementan usualmente como objetos diferentes cuando no lo son.

La ventaja del uso de modelos orientados a objetos es que permiten a los usuarios hacer especificación incremental y reusable, debido a las propiedades de herencia, composición y encapsulamiento. Más aún, distinto a otros modelos, los diseñadores también pueden describir el comportamiento de las entidades del mundo real, que permiten una modelización mejor de la dinámica inherente a los fenómenos del mundo real. En realidad, el paradigma orientado a objetos induce combinación de modelización de procesos y datos, permitiendo encapsulamiento de datos y comportamiento [Medeiros et. al. 94].

Esta tesis propone extender el estudio de las aplicaciones geográficas a una disciplina no muy explorada como la Oceanografía. [UNESCO 91] especifica que el "término ciencias marinas o del mar incluye la aplicación de las ciencias básicas (física, química, biología y geología) al estudio de los océanos; pero excluye los aspectos tecnológicos de las actividades y explotación de los océanos".

[Wright 97a] afirma que a pesar del gran potencial de la tecnología del S.I.G. para las aplicaciones oceanográficas, tuvo una penetración modesta en esta disciplina. Esto se debe a:

- La falta de conocimiento del potencial de la tecnología
- El costo de lograr un uso completo de S.I.G. operacionalmente
- La falta del análisis tridimensional

Aunque los datos oceanográficos son geográficamente referenciados, a veces las locaciones y los límites son más inciertos que en los ambientes terrestres, donde hay unos pocos puntos de control con coordenadas conocidas, como intersección de calles. También, las entidades en el ambiente marino es más probable que cambie de locación que en un ambiente terrestre. La locación puede cambiar debido a los procesos físicos (corrientes, flujos de lava en movimiento, etc.) o debido a la resolución variable o marco de referencia del vehículo o instrumento que derivó la locación.

Se precisa investigación en el desarrollo de estructuras de datos espaciales "basadas en medidas" que pudieran variar sus posiciones y valores relativos en el tiempo, dependiendo del proceso físico o marco de referencia de los instrumentos de colección de datos.

## 1. 2 OBJETIVOS

El tema específico a tratar es la tectónica de placas, una ventana a la fuerza más poderosa y destructiva provista por los océanos que cubren el 70% de la superficie terrestre.

La tesis se centrará en el estudio del dominio y en el diseño de los fenómenos relacionados con la sedimentación y crecimiento continental que provocan cambios en el fondo oceánico, usando una metodología de diseño orientada a Objetos.

- Grietas y Formación de una Margen Continental
- Características de la Márgenes Continentales y líneas de Costas
- Formación de Dorsales Oceánicas
- Zonas de subducción
- Formación de Arcos de Islas

Para esto será necesario el estudio y definición de arquitecturas de software que permitan la modelización y el diseño de este tipo de datos, así como la especificación de las operaciones que se utilizarán para la manipulación de datos.

## 1. 3 METODOLOGIA

Para lograr los objetivos planteados se realizarán los siguientes pasos:

- Estudio de los S.I.G.
- Estudio sobre técnicas de análisis y diseño de aplicaciones geográficas
- Diseño de fenómenos utilizando una metodología Orientada a Objetos
- Diseño de la arquitectura que permita modelizar datos continuos y variables que se presentan en aplicaciones oceanográficas
- Especificación de las operaciones necesarias para manipular este tipo de datos

---

## 1. 4 RESUMEN DE LA TESIS

Esta tesis se compone de 6 capítulos:

- En el capítulo 2, se describen los conceptos de un S.I.G. y las herramientas utilizadas para la modelización de los fenómenos
- En el capítulo 3, se describen los procesos de Tectónica de Placas estudiados
- En el capítulo 4, se muestra la arquitectura de modelización de los procesos usando las herramientas descritas en el capítulo 2.
- En el capítulo 5, se analizan las ventajas de la arquitectura, se describen las conclusiones y los trabajos futuros
- Finalmente se incluyen las referencias bibliográficas y un apéndice con un glosario de conceptos principales del dominio estudiado.

## **Capítulo 2**

# **HERRAMIENTAS DE DISEÑO**

**S.I.G. + Océanos = Una extraña combinación**

***Sedimentación y Crecimiento Continental  
en Modelos de SIG***

## Capítulo 2 - HERRAMIENTAS PARA EL DISEÑO

En este capítulo se describirán los elementos usados para el diseño de los fenómenos de la Tectónica de Placas:

- Sistemas de Información Geográfica
- La metodología OMT (Object Modeling Technique)
- Los patrones de diseño

### 2. 1 SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICA (S.I.G.)

Un Sistema de Información Geográfico (S.I.G.) es un conjunto de procedimientos basado en computadoras usado para almacenar datos geográficamente referenciados. Diferentes autores [Maguire et. al. 91] y [Rhind et. al. 88] proponen cada uno un conjunto de funciones para un S.I.G. Sin embargo, se considerarán las 4 clases principales de funciones que deben ser provista por S.I.G. propuestas por [Medeiros et. al. 94]:

1. Funciones de Input: Estas son funciones que deben llevarse a cabo antes del uso efectivo de datos en S.I.G.. En general, estas funciones consumen grandes cantidades de tiempo de procesamiento y E/S, y pueden cargar grandes volúmenes de datos en el sistema. En este grupo de funciones podemos citar:
  - 1.1. Capturar: procedimientos y dispositivos para colección de datos geográficos, como sensing remoto, GPS, scanners y digitalizadores de mesa
  - 1.2. Transferir: moviendo previamente los datos capturados, almacenados en formatos específicos de dispositivo en las bases de datos de S.I.G.
  - 1.3. Manejo de Error: validando los datos y corrigiendo valores inusualesLa aplicación de estas funciones a los datos georeferenciados implica problemas difíciles, que incluyen: integración de diferentes orígenes de datos, conversión de datos análogos a formato digital; clasificación de los datos de sensing remoto; garantía de calidad de datos [Fernandez et. al. 93]
2. Funciones de modelización de Datos: Las funciones en este grupo proveen soporte a las actividades de modelización de datos descritas en la sección previa. En otras palabras, estas funciones deberían permitir a los usuarios organizar los datos preparados e integrados por las funciones de input de acuerdo a las necesidades de las aplicaciones particulares, y siguiendo las vistas de los usuarios de la realidad geográfica.

La idea de la modelización de datos usualmente está ausente en los S.I.G.. Se separan de otros grupos de funciones porque son fundamentales a la especificación adecuada de la base de datos geográfica, y subsecuente reuso de datos.

Los S.I.G. actuales proveen solamente funciones de modelización de datos de muy bajo nivel, que están lejos de la visión del mundo del usuario. Más que la modelización de datos de alto nivel, se requiere que los usuarios almacenen y estructuren datos de acuerdo a las estructuras de datos implementadas por el S.I.G.. Esta organización de datos usualmente influye con respecto a los aspectos de

performance, y determina la representación interna y el rango de posibles funciones de análisis.

3. **Funciones de análisis:** Las funciones permitiendo consulta y optimización de datos almacenados en el S.I.G. son generalmente referidas como funciones de análisis. Juntos con las funciones de input, éstas han recibido considerable atención de la comunidad de S.I.G., ya que distinguen al S.I.G. de otros tipos de sistemas de información.

La modelización de proceso es, en realidad, una descripción de alto nivel que combina funciones de transformación de datos y análisis. Aunque las funciones de análisis han sido exhaustivamente estudiadas, su uso en el S.I.G. actual se impide por la ausencia de soporte de modelo de proceso adecuado. Un gran conjunto de funciones de análisis puede estar disponibles, pero los usuarios a menudo no conocen o no pueden favorecerse de esto, porque las estructuras de datos de S.I.G. no son lo suficientemente flexibles.

Lo que está faltando en este escenario es un modelo de datos semántico que permita a los usuarios definir entidades conceptuales (a través de atributos y comportamiento genérico) más que estructuras de datos (y operaciones específicas).

4. **Funciones de presentación:** Las funciones en este grupo se usan para preparar los resultados de análisis para output. Aunque la presentación a menudo se confunde con el análisis, es claro que la presentación y análisis son conceptos separados, ya que el resultado de un conjunto dado de operaciones de análisis puede presentarse en diferentes formas.

Las funciones de presentación son en realidad un tema de interface/visualización. Los ejemplos típicos de funciones de presentación son generación de display gráfico, escritura de reportes, resumen de datos tabulares, y uso de simbología cartográfica.

## 2. 2 Por qué usar un S.I.G. [Aronoff 91]

La habilidad de manipular los datos espaciales y la información del atributo correspondiente y de integrar diferentes tipos de datos en un simple análisis y a una alta velocidad no son igualados por los métodos manuales. La habilidad de llevar a cabo análisis espaciales complejos rápidamente, provee una ventaja cuantitativa además de cualitativa. Escenarios de planeamiento, modelos de decisión, detección y análisis de cambio, y otros tipos de planes pueden desarrollarse haciendo refinamientos hasta análisis exitosos. Este proceso iterativo solamente llega a ser práctico porque cada ejecución puede realizarse rápidamente y a un costo relativamente bajo.

No solamente diversos conjuntos de datos pueden integrarse, sino también diferentes procedimientos. Por ejemplo, los procedimientos de manejo de datos como la recolección de datos, verificación, y procedimiento de actualización pueden integrarse en lugar de dividirlos en funciones separadas. En el momento que los datos se ingresan al S.I.G., el S.I.G. puede checkear la exactitud de los cambios, y actualizar los mapas relevantes y los datos tabulares. De esta forma, los usuarios obtienen información más actual y puede manipularse para llegar a necesidades específicas.

## 2.3 UNA BREVE INTRODUCCION A LA TECNICA DE MODELIZACION DE OBJETOS

El desarrollo de software se realiza en tres etapas importantes: el análisis, el diseño y la implementación. El análisis abarca la descripción del problema y los requerimientos del usuario, el diseño trata la construcción de una solución, y la implementación trata la conversión del diseño a un ambiente de programación. En el Análisis y Diseño Orientado a Objetos (OOAD), estas etapas se facilitan a través de una construcción fundamental, el **objeto**. Un objeto es una entidad que combina los atributos y las funciones, y el software se organiza como una colección de objetos discretos que interactúan unos con otros.

Los lenguajes de modelización orientada a objetos comenzaron a aparecer entre mediados de los '70 y fines de los '80 cuando diferentes metodólogos experimentaban con técnicas para el análisis y el diseño orientado a objetos. Durante el período 1989-1994 el número de lenguajes se incrementó a más de cincuenta pero muchos usuarios no encontraban una satisfacción completa en esos lenguajes. Para mediados de los '90 comenzaron a aparecer nuevas versiones de estos métodos, el más notable fue la metodología de Booch [Booch 94], la evolución continuada de OMT (Object Modeling Technique) [Rumbaugh et. al. 91], y Fusion [Malan et. al. 96]. A partir de esa situación, se incorporaron otras técnicas que incluyeron los métodos de OOSE (Object Oriented Software Engineering) [Jacobson et. al. 92], OMT [Rumbaugh et. al. 91] y Booch [Booch 94]. OOSE es una técnica orientada a los casos de uso que provee soporte en ingeniería de negocios y análisis de requerimientos. OMT [Rumbaugh et. al. 91] es especialmente expresivo para el análisis y los sistemas de información intensivo en datos. La metodología Booch [Booch 94], es particularmente expresiva durante las fases de diseño y construcción de proyectos y para aplicaciones de ingeniería. Tanto las técnicas de Booch [Booch 94] como OMT [Rumbaugh et. al. 91], crecen independientemente y se reconocen como líderes en las disciplinas orientadas a objetos en todo el mundo. Por esta razón, se comenzó una unificación de trabajos creando un lenguaje de modelización unificada (Unifying Modeling Language: UML). UML [Booch et. al. 97] es un lenguaje para especificación, visualización, construcción y documentación de conceptos de sistemas de software, además de modelización de negocios sistemas no relacionados al software. Fusiona los conceptos de Booch [Booch 94], OMT [Rumbaugh et. al. 91] y OOSE [Jacobson et. al. 92]. El resultado es un lenguaje de modelización simple, común y usable ampliamente por usuarios de las otras técnicas mencionadas. Los objetivos principales en el diseño de UML [Booch et. al. 97] fueron:

- Proveer a los usuarios un lenguaje de modelización visual expresivo y fácil de usar, de tal manera que puedan desarrollar e intercambiar modelos
- Proveer mecanismos de extensibilidad y especialización para la extensión de los principales conceptos.
- Independencia de lenguajes de programación y procesos de desarrollo particulares
- Proveer una base formal para entender el lenguaje de programación
- Promover la expansión de las herramientas orientadas a objetos
- Soportar conceptos de desarrollo de alto nivel

En esta tesis, la metodología OOAD que se aplicó en el diseño del dominio es la conocida como Object Modeling Technique (OMT) [Rumbaugh et. al. 91]. OMT, en un estudio comparativo de diferentes técnicas de OOAD [Walker 88], ha sido identificado como "la técnica adecuada que tiene un conjunto de conceptos, un sistema de notación claro y un conjunto de etapas de proceso que metódicamente construye un conjunto consistente de representaciones del problema". La metodología OMT soporta el ciclo de vida de software en su totalidad y produce un diseño más fácil de testear, mantener y extender que los diseños convencionales porque las clases proveen una unidad natural de modularidad.

La metodología de desarrollo del software OMT involucra tres etapas. Primero se construye un modelo de análisis para abstraer los aspectos esenciales del dominio de la aplicación sin considerar una eventual implementación. Luego, se toman decisiones de diseño y se agregan detalles al modelo para describir y optimizar la implementación. Finalmente, el modelo de diseño se implementa en un lenguaje de programación orientado a objetos.

### 2. 3. 1 Terminología y Conceptos de OMT (Object Modeling Technique)

La siguiente es una breve descripción de términos comúnmente usadas en OMT [Rumbaugh et. al. 91].

Objeto: es un concepto, una abstracción o cosa con límites precisos y significado para el problema planteado.

Clase: es un grupo de objetos con propiedades similares (atributos), comportamiento común (operaciones), relaciones comunes con otros objetos y semántica común.

Atributo: es un valor de dato mantenido por los objetos en una clase.

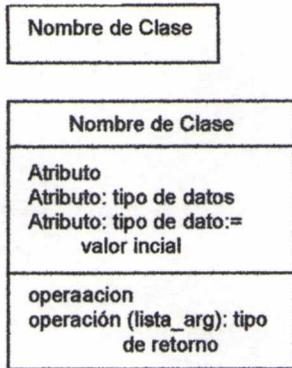
Operación: es una función o una transformación que puede ser aplicada a o por objetos en una clase. Todos los objetos en una clase comparten las mismas operaciones.

Método: es la implementación de una operación para una clase.

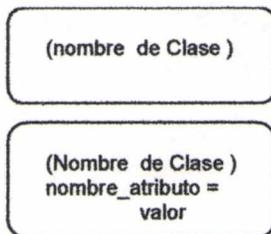
Link: es un medio de establecer una relación física o conceptual entre objetos

Asociación: describe un grupo de links con estructura y semántica comunes. Todos los links en una asociación conectan objetos de la misma clase.

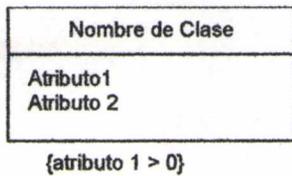
**Clase:**



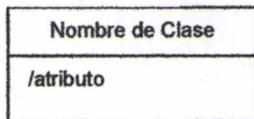
**Instancias de Objeto:**



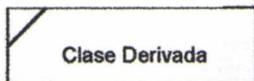
**Límites en los objetos:**



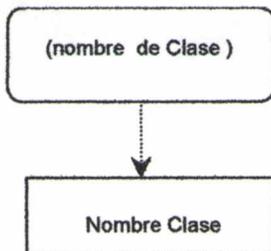
**Atributo Derivado:**



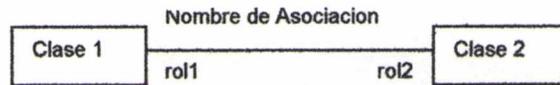
**Clase Derivada:**



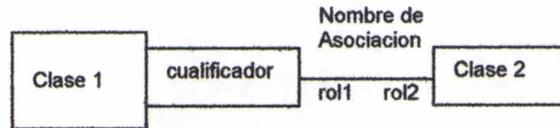
**Relación de instancias:**



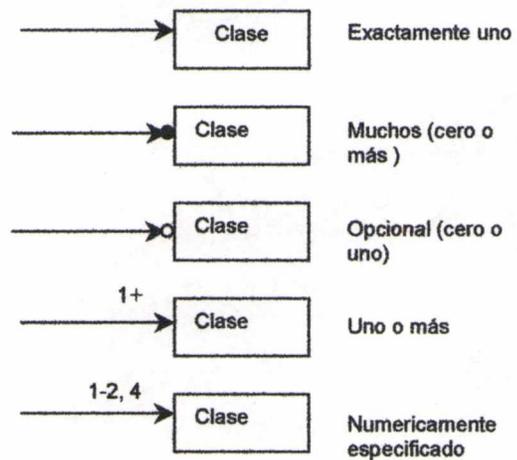
**Asociación:**



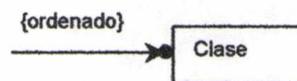
**Asociación Cualificada:**



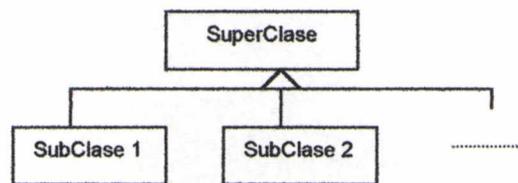
**Multiplicidad de Asociaciones**



**Ordenamiento:**



**Generalización (herencia):**



**Agregación:**

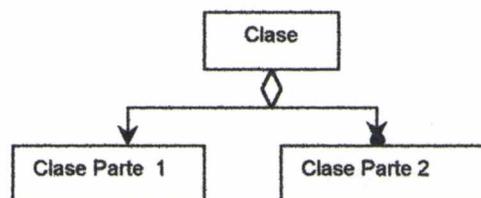


Figura 2.1 Notación utilizada para modelizar con OMT

Un modelo orientado a objetos debe demostrar las propiedades de abstracción, encapsulamiento, modularidad y jerarquía [Booch 94]:

**Abstracción:** significa centrarse en lo que un objeto es y hace, antes de decidir cómo debería implementarse. Un alto nivel de abstracción se logra si el objeto representa un modelo realista de la entidad del dominio de aplicación, con atributos y operaciones bien definidos.

**Encapsulamiento:** La construcción de una clase también soporta encapsulamiento separando los aspectos externos de un objeto que pueden acceder a otros objetos, de los detalles de implementación interna del objeto, que se esconden de otros objetos. Esto permite que mucho del mantenimiento se esconda de los usuarios de la clase y todas las interacciones con la vista externa sea vía la interface de la clase.

**Modularidad:** En el paradigma orientado a objetos, la organización en conjuntos de clases cohesivas y débilmente acopladas provee una manera natural para la descomposición del sistema en módulos. Esta modularidad se soporta tanto en el proceso de diseño como el de la implementación.

**Jerarquía:** Es un orden jerárquico de abstracciones. La herencia es la jerarquía "es un" más importante, donde una clase comparte la estructura y el comportamiento definidos en una o más superclases (que denotan la jerarquía simple y múltiple). Así, la herencia puede funcionar en dos direcciones: bottom-up por medio de la cual las superclases representan abstracciones generalizadas y top-down, donde las subclases representan especializaciones, donde las operaciones heredadas de la superclase se agregan, modifican o hasta se ocultan.

**Agregación:** es la jerarquía "parte de" tal que las subclases son componentes de la superclase, es decir las subclases refinan la implementación de la superclase.

### 2. 3. 2 Fundamentos de las Tecnicas de Modelos de Objetos

La metodología OMT tiene las siguientes etapas:

1. **Análisis:** El modelo de análisis es una abstracción precisa y concisa de qué es lo que hace el sistema, sin considerar cómo será hecho
2. **Diseño del Sistema:** El diseñador toma decisiones de alto nivel sobre la arquitectura en conjunto
3. **Diseño de Objeto:** El diseñador construye un modelo de diseño basado en el modelo de análisis. El enfoque del diseño de objetos está en los mecanismos (las estructuras de datos y algoritmos) necesarios para implementar cada clase
4. **Implementación:** Las clases de objetos y las relaciones desarrolladas durante el diseño de objetos finalmente se traducen en un lenguaje de programación o base de datos orientado a objetos.

Estos tres modelos relacionados pero diferentes, cada uno aplicable durante las etapas de desarrollo, se requieren para una completa descripción del sistema. El modelo de objetos representa los aspectos estáticos, estructurales de datos de un sistema. El modelo dinámico representa los aspectos temporales, de comportamiento, de control de un sistema. El modelo funcional representa el aspecto transformacional, funcional de un sistema. Para hacerlo simple, el modelo funcional especifica lo que sucede en un sistema, el modelo dinámico especifica cuando sucede y el modelo de objetos especifica

qué sucede. Una breve descripción se dará a continuación. Sin embargo, solamente el diseño del modelo de objetos será considerado en esta tesis y los dos modelos restantes se tomarán como trabajo futuro.

### 2. 3. 3 El Modelo de Objetos

El modelo de objetos provee el marco esencial en el cual se pueden colocar los modelos dinámico y funcional. El modelo de objetos se basa en identificar entidades llamadas objetos y describir la estructura de estos objetos en un sistema - su identidad, sus atributos, sus operaciones y sus relaciones con otros objetos. Estas entidades son luego agrupadas en clases de acuerdo sus características de información y funcionales. Estas clases, en turno se integran en un sistema del mundo en el cual el objeto "vive".

El modelo de objetos resulta en un modelo de tres capas del dominio de problema, donde cada capa construye sobre la anterior. El modelo de capas se construye usando un procedimiento de tres pasos:

- Identificar las clases y objetos -identificar las abstracciones principales en el espacio del problema y etiquetar como clases candidatas y objetos
- Identificar la semántica de clases y objetos -establecer los atributos y funciones para las clases y objetos identificados en el paso anterior
- Identificar las relaciones entre clases y objetos -establecer las interacciones de objeto y clase, como multiplicidad herencia y generalización

El modelo de objetos se representa gráficamente por medio de diagramas de objetos que son concisos, fáciles de entender y funcionan bien en la práctica. Las notaciones de objeto, que ayudan a ilustrar se pueden ver en la figura 2.1

### 2. 3. 4 El Modelo Dinámico

El modelo dinámico describe los aspectos de un sistema que cambian en el tiempo. Este modelo se usa para especificar e implementar los aspectos de control de un sistema, es decir describe las secuencias de operaciones que ocurre en respuesta a los estímulos externos, sin consideración de qué operaciones se llevan a cabo, en qué operan, o cómo son implementadas. Los mayores conceptos de modelización dinámica son eventos, que expresan los estímulos externos, y estados, que representan valores de objetos. El modelo dinámico se representa gráficamente por diagramas de estados, con un diagrama de estado para cada clases.

### 2. 3. 5 El Modelo Funcional

El modelo funcional describe los aspectos de un sistema concernientes a transformaciones de valores, como funciones, mapeos, límites, y dependencias funcionales. En otras palabras, este modelo describe computaciones dentro del sistema, sin considerar el orden en los cuales los valores se computan. El modelo funcional se representa por diagramas de flujo de datos que muestran el flujo de valores de inputs

externos, a través de operaciones y almacenamientos internos de datos, a outputs externos.

## 2. 4 PATRONES DE DISEÑO

Los patrones de diseño representan soluciones a problemas de diseño, y son un buen método para guardar experiencia de diseño. Los diseñadores expertos reusan una buena solución que encontraron para un problema específico, en diferentes aplicaciones. Estas soluciones permanecen en la mente del diseñador. Los Patrones de Diseño son un mecanismo útil para explícitamente capturar conocimiento del diseñador, ya que sus descripciones guardan alternativas de diseño e ingeniería. Cuando el mismo problema aparece en la construcción de otras aplicaciones, los diseñadores usaran este conocimiento, ya que tienen una comprensión mas clara para adoptar una solución particular [Gordillo et. al. 97] .

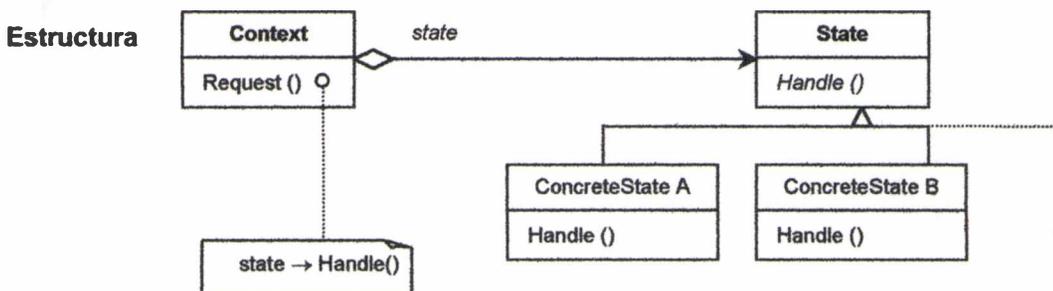
A continuación se describen sintéticamente los patrones de diseño utilizados en el diseño del dominio (Capítulo 3). [Gamma et al. 94] y [Alpert et. al. 98] proveen una clasificación de los diferentes patrones de diseño disponibles, ilustrando no sólo la estructura sino también ejemplos que ayudan a comprender la aplicabilidad de los mismos.

### 2 . 4. 1 Patrón de Diseño STATE [Gamma et al. 94]

**Intención:** Permitir a un objeto alterar su comportamiento cuando su estado interno cambia. El objeto parecerá que cambia su clase.

**Aplicabilidad:** El patrón State se usa en alguno de estos casos:

- El comportamiento de un objeto depende de su estado, y debe cambiar su comportamiento en tiempo de ejecución dependiendo de ese estado
- Las operaciones tienen grandes sentencias condicionales multipartes que dependen del estado del objeto. Este estado usualmente se representa por uno o más constantes enumeradas. A menudo, distintas operaciones contendrán esta misma estructura condicional. El patrón State pone cada camino del condicional en una clase separada. Esto permite tratar el estado del objeto como un objeto que puede variar independientemente de otros objetos.



**Participantes**

- Context: - define la interface de interes de los clientes  
 - mantiene una instancia de la clase de un ConcreteState que define el estado actual
- State: - define una interface para encapsular el comportamiento asociado con un estado particular del Context
- Subclases ConcreteState: - cada subclase implementa un comportamiento asociado con un estado del Context

**Colaboraciones**

- El Context delega pedidos especificos de estado al objeto actual ConcreteState
- Un contexto puede pasarse a sí mismo como un argumento al objeto State el manejo del pedido. Esto permite al objeto State acceder al contexto si es necesario
- El Contexto es la interface primaria para los clientes. Los clientes pueden configurar un contexto con los objetos State. Una vez que se configura el contexto, sus clientes no tienen que arreglárselas con los objetos State directamente

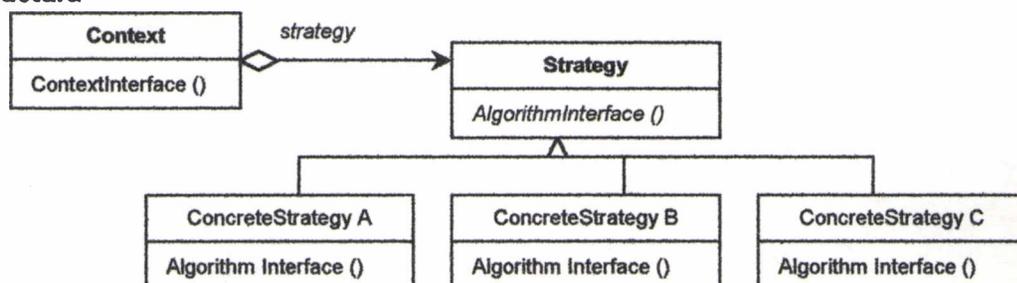
**2 . 4. 2 Patrón de Diseño STRATEGY [Gamma et al. 94]**

**Intención:** Definir una familia de algoritmos, encapsular cada uno, y hacerlos intercambiables. El Strategy permite que el algoritmo varíe independientemente de los clientes que lo usen.

**Aplicabilidad:** El Patrón Strategy se usa cuando

- muchas clases relacionadas difieren solamente en su comportamiento. Los Strategies proveen una forma para configurar una clase con uno de muchos comportamientos.
- Se necesitan diferentes variantes de un algoritmo.
- Un algoritmo usa los datos sobre los cuales los clientes no deberían saber. El patrón Strategy se usa para evitar estructuras de datos complejas especificas del algoritmo
- Una clase define muchos comportamientos, y éstos aparecen como sentencias condicionales múltiples en sus operaciones. En lugar de muchos condicionales, los caminos condicionales relacionados se mueven en su propia clase Strategy

**Estructura**



### Participantes

- **Strategy:** - declara una interface común a todos los algoritmos soportados. El Context usa esta interface para llamar al algoritmo definida por una ConcreteStrategy
- **ConcreteStrategy:** - implementa el algoritmo usando la interface de Strategy

### Colaboraciones

- Strategy y Context interactúan para implementar el algoritmo elegido. Un contexto puede pasar todos los datos requeridos por el algoritmo al strategy cuando se llama al algoritmo. Alternativamente, el context puede pasarse a sí mismo como un argumento las operaciones del Strategy. Eso permite que el strategy llame de vuelta en el contexto cuando se requiera
- Un contexto forwardea pedidos de sus clases a su strategy. Los clientes usualmente crean y pasan un objeto ConcreteStrategy al context; con lo cual los clientes interactúan con el contexto exclusivamente. Hay a menudo una familia de las clases de ConcreteStrategy para que un cliente elija.

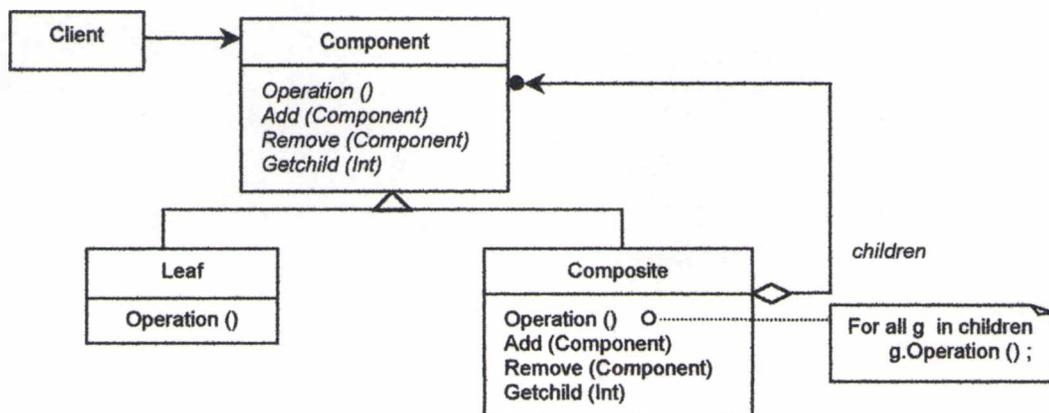
## 2.4.3 Patrón de Diseño COMPOSITE [Gamma et al. 94]

**Intención:** Componer los objetos en estructuras de árbol para representar jerarquías partes-todo. El Composite permite que los clientes traten a los objetos individuales y las composiciones de objetos uniformemente

**Aplicabilidad:** El patrón Composite se usa cuando:

- se quiere representar jerarquías partes-todo de objetos
- se quiere que los clientes puedan ignorar la diferencia entre composiciones de objetos y objetos individuales. Los clientes tratarán a todos los objetos en la estructura compuesta uniformemente

### Estructura



### Participantes

- **Component:** - declara la interface para los objetos en la composición

- implementa comportamiento por default para la interface común a todas las clases
- declara una interface para acceder y manejar sus componentes hijos
- (opcional) define una interface para acceder a un padre componente en la estructura recursiva, y lo implementa si es apropiado
- **Leaf:** - representa objetos hoja en la composición.
  - define el comportamiento para los objetos primitivos en la composición
- **Composite:** - define el comportamiento para los componentes que tienen hijos
  - almacena componentes hijos
  - implementa operaciones relacionadas a los hijos en la interface de Component
- **Client:** - manipula los objetos en la composición a través de la interface de Component

### Colaboraciones

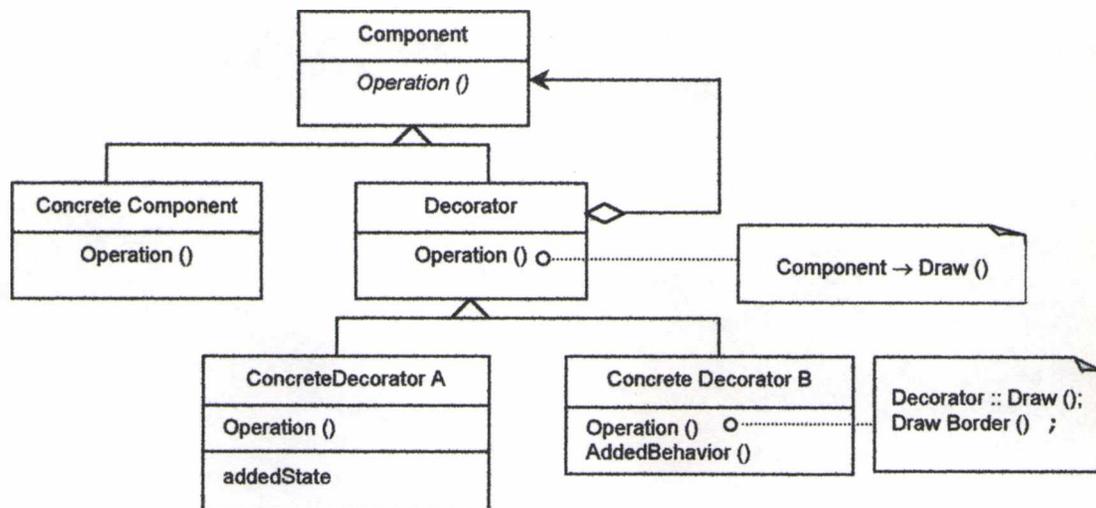
- Los clientes usan la interface de la clase Component para interactuar con los objetos en la estructura compuesta. Si el receptor es una hoja, el pedido se maneja directamente. Si el receptor es un Composite, usualmente se forwardea los pedidos a sus componentes hijos, posiblemente realizando operaciones adicionales antes y/o después del forwardeo

## 2 . 4. 4 Patrón de Diseño DECORATOR [Gamma et al. 94]

**Intención:** Agregar responsabilidades adicionales a un objeto dinámicamente. Los decorators proveen una alternativa flexible a la subclasificación para extender la funcionalidad

**Aplicabilidad:** El patrón de diseño Decorator se usa

- para agregar responsabilidades a objetos individuales dinámica y transparentemente, es decir, sin afectar otros objetos
- para responsabilidades que pueden ser aisladas
- cuando no es práctico extender por la subclasificación. A veces, es posible un gran número de extensiones independientes y produciría una explosión de subclases para soportar cada combinación. O la definición de una clase puede esconderse o no estar disponible para la subclasificación

**Estructura****Participantes**

- **Component:** - define la interface para que los objetos puedan tener responsabilidades agregadas dinámicamente
- **Concrete Component:** - define un objeto al cual pueden agregarse responsabilidades adicionales
- **Decorator:** mantiene una referencia a un objeto Component y define una interface que conforma la interface del Component
- **Concrete Decorator:** agrega responsabilidades al componente

**Colaboraciones**

- El Decorator forwardea los pedidos a su objeto Component. Opcionalmente puede realizar operaciones adicionales antes y después de forwardear el pedido.

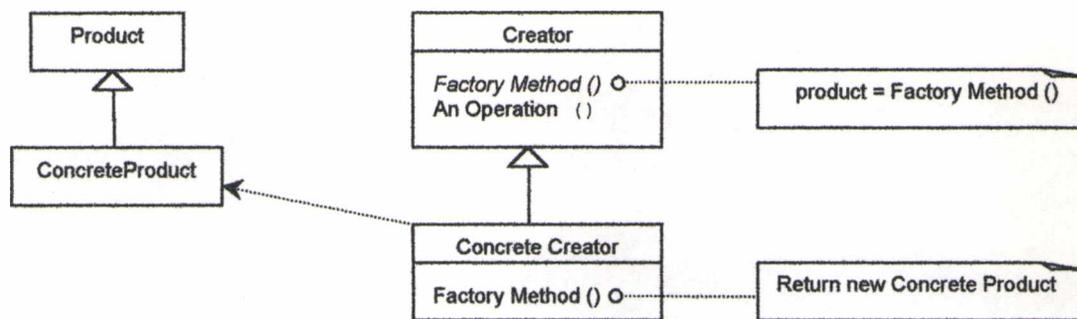
**2 . 4 . 5 Patrón de Diseño FACTORY METHOD [Gamma et al. 94]**

**Intención:** Definir una interface para crear un objeto, pero permitir que las subclasses definan que clase instanciar. El Factory Method permite que una clase difiera la instanciacion a las subclasses.

**Aplicabilidad:** El patrón Factory Method se usa cuando:

- una clase no puede anticipar la clase de objetos que debe crearse
- una clase quiere que sus subclasses especifiquen los objetos que crea
- las clases delegan responsabilidad a uno de los diferentes subclasses asistentes, y quiere localizar el conocimiento de a que subclase asistente se delegó.

### Estructura



### Participantes

- **Product:** define la interface de los objetos que el Factory Method crea
- **Concrete Product:** implementa la interface de Product
- **Creator:** declara el Factory Method, que retorna un objeto del tipo Product. El Creator también puede definir una implementación por default del Factory Method que retorna un objeto Concrete Product por defecto
- **Concrete Creator:** define el factory method para retornar una instancia de Concrete Product

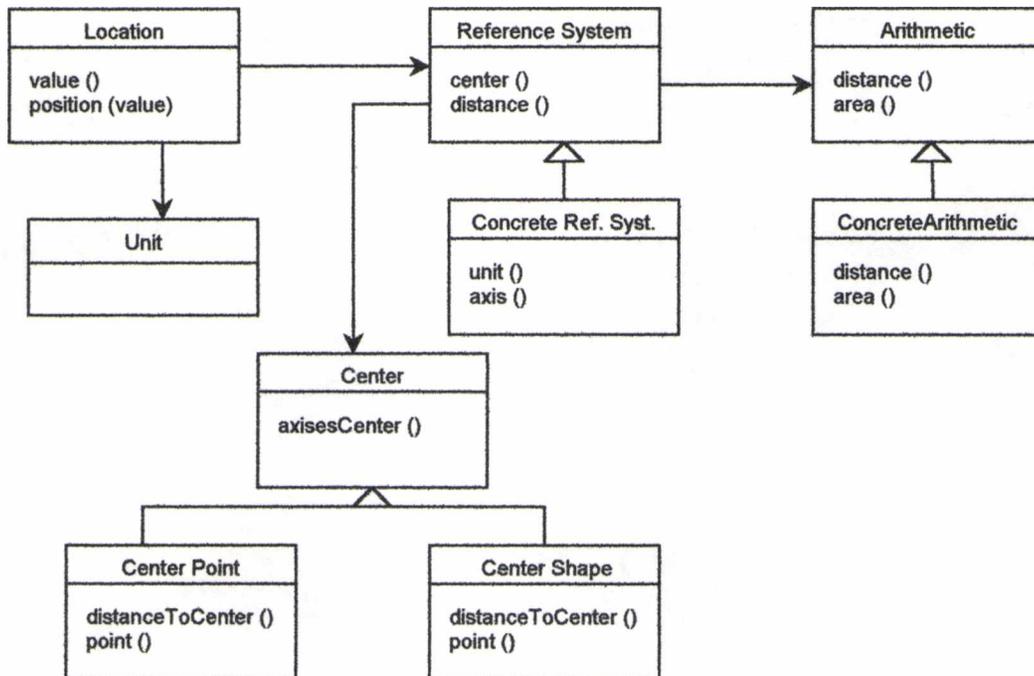
### Colaboraciones

- El Creator confía en sus subclasses para definir el factory method de tal manera que retorna una instancia de Concrete Product apropiada.

## 2. 4. 6 Patrón de Diseño REFERENCE SYSTEM [Gordillo et. al. 97]

**Intención:** Desacoplar una medida de su sistema de referencia, que hace posible explicar el valor. El sistema de referencia provee un background de conocimiento relacionado al valor. Sin un sistema de referencias, la medida actúa como un valor aislado, desacoplado así de las capacidades de prueba y comparación. El sistema de referencias también provee un conjunto de operaciones legales; este conjunto conforma el aritmética del sistema de referencia

## Estructura



Este patrón es útil para soportar múltiples maneras de representar las entidades georeferenciadas del mundo real. Más aún, hace posible cambiar de un sistema a otro. Este cambio no afecta el objeto referenciado. Cada locación conoce la unidad que se usa para representar el valor medido [Fowler 97]. Cada Reference System tiene que implementar sus operaciones legales y especificar operaciones de pasaje a otros sistemas. Coordinates Center implementa un tipo diferente de centro para cada sistema de referencia específico, este centro puede representarse como: un punto (Central Point) o un elemento complejo (Central Shape).

## Participantes

- **Location**: - implementa el comportamiento básico para soportar operaciones de posición. Puede explicar dónde está una entidad del mundo real
- **Reference System**: - describe un protocolo abstracto, que se usa para describir el contexto dónde está definida una Location. También define el conjunto de operaciones legales dentro la cual debe estar definida.
- **Coordinates Center**: - modela el centro del sistema de referencias. El centro de coordenadas es un aspecto característico de cada tipo de Reference System; generalmente sería un punto o una forma compleja, que se define por una ecuación.
- **Arithmetic**: - es un Bridge [Gamma et al. 94] sobre las operaciones de los Reference Systems; implementa esas operaciones definidas por una ecuación.
- **Center**: - es el objeto que representa el centro de coordenadas del sistema de referencias
- **Unit**: - se usa para representar un valor medido.

**Colaboraciones**

- El Reference System provee un conjunto de operaciones válidas. Cada vez que la Location necesita usar geo-operaciones, pide esas operaciones al Reference System.
- El aritmética es un Bridge [Gamma et al. 94]; Concrete Arithmetic implementa estas operaciones.
- La Location provee un protocolo unificado para representar la locación dentro de un sistema de referencia específico.

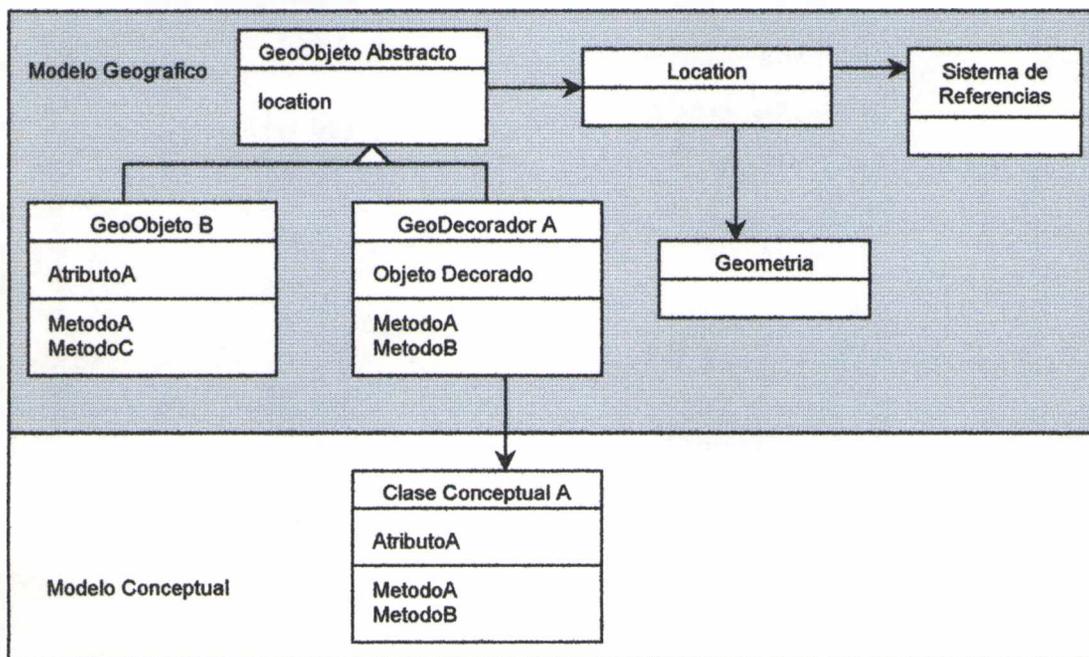
**2. 5 AGREGAR CARACTERISTICAS GEOGRAFICAS USANDO DECORATORS**

En la modelización de datos, la complejidad de los S.I.G reside en la definición y el uso de información espacial más que en comportamientos de los objetos conceptuales. [Gordillo et. al. 97] propone pensar en términos de la existencia de dos modelos: uno conceptual y uno geográfico, con el uso del Decorator [Gamma et al. 94].

El Modelo Conceptual describe el dominio en términos del mundo real. La intención es comprender el problema proveyendo una descripción abstracta en la cual se ignoran tanto las características geográficas como los detalles de implementación. El resultado obtenido no es diferente de una aplicación convencional diseñada bajo este paradigma.

El Modelo Geográfico especifica las características geográficas de los objetos definidos en la etapa anterior y, posiblemente, aparezcan nuevos objetos que sólo contienen características espaciales.

El arquitectura planteada es:

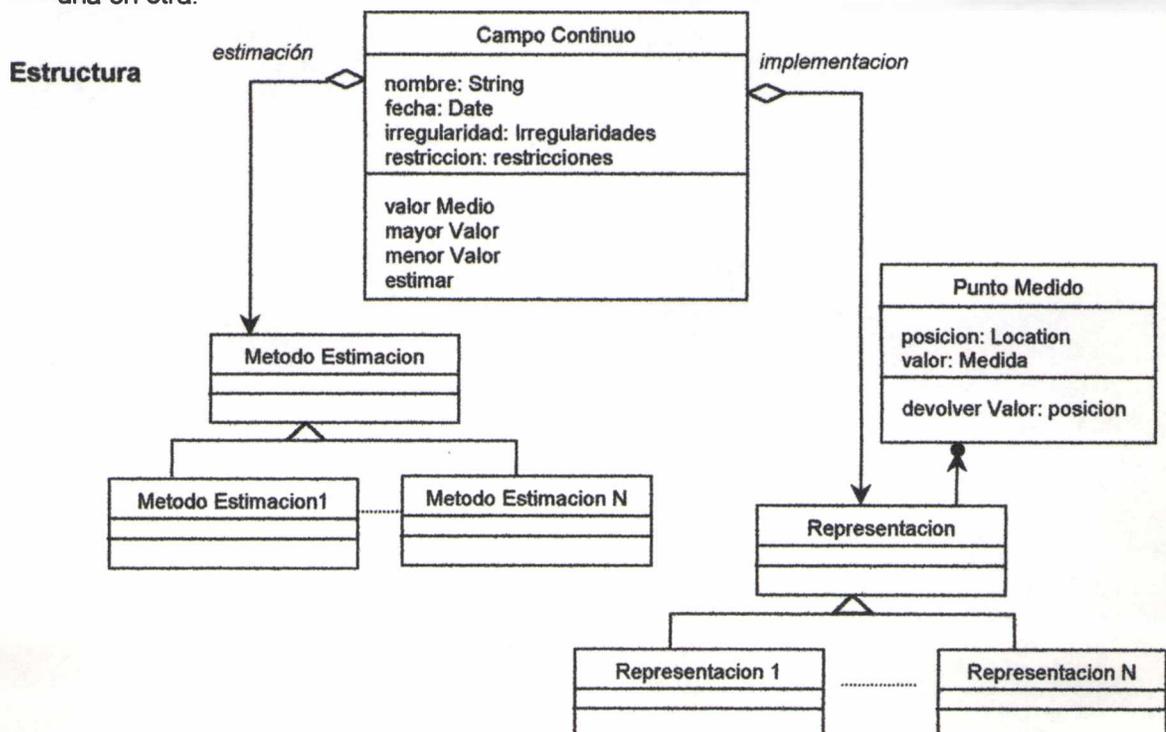


Se crea una clase abstracta que agrupa el comportamiento tanto de los objetos decorados como de los espaciales puros. A partir de esta arquitectura, se asumirá que un GeoObject tiene una Location [OpenGIS 96] asociada que define y manipula la posición y, eventualmente la información temporal de ese objeto. La geometría es la que determina todas las características topológicas de los objetos y las operaciones relacionadas.

## 2. 6 CAMPOS CONTINUOS [Gordillo 98]

Numerosos fenómenos geográficos están relacionados con la noción de campos continuos. En el dominio de la meteorología por ejemplo, datos como las temperaturas en una región, la densidad de las lluvias; la humedad; en aplicaciones que conciernen redes de datos como por ejemplo redes eléctricas de gas, de agua; aplicaciones de cartografía temática: vegetación, tipos de suelo, altitud, porcentaje de erosión, etc. Son algunos de los atributos que se manipulan en este tipo de aplicaciones y que requieren el uso de campos continuos. Para que un S.I.G. pueda manipular este tipo de información, estos fenómenos deben representarse como objetos informáticos y deben poder manipularse. Según [Kemp 97a] algunas de las estrategias que deberían tenerse en cuenta son:

- Se debe permitir la definición y manipulación de datos provenientes de campos continuos en un lenguaje simbólico.
- Se debe eliminar la necesidad de considerar la manera de discretizar el espacio, cada vez que sea posible
- Se debe proveer una sintaxis para incorporar operaciones primitivas apropiadas al modelo ambiental. Esto incluye operaciones para realizar versiones discretas de campos y la incorporación del concepto de campo vectorial
- Por último, se debe contar con la posibilidad de combinar representaciones discretas y continuas así como combinar dos representaciones distintas y aún transformar una en otra.



---

**Campo Continuo:** clase en la cual se especifica la información propia de la muestra.

**Método de Estimación:** clase asociada al Campo Continuo que permite generar valores de posiciones intermedias de la muestra. Es un Strategy [Gamma et al. 94]

**Representación:** clase que determina la forma de representar el campo continuo. Es un Bridge [Gamma et al. 94]

**Punto Medido:** representa a cada uno de los datos específicos que pertenecen a la muestra y de los cuales se sabe su posición y su valor del atributo de interés.

## **Capítulo 3**

# **LA TECTÓNICA DE PLACAS**

**S.I.G. + Océanos = Una extraña combinación**

***Sedimentación y Crecimiento Continental  
en Modelos de SIG***

## Capítulo 3: LA TECTÓNICA DE PLACAS

### 3. 1 INTRODUCCION

En las últimas décadas los conocimientos geológicos han experimentado un extraordinario desarrollo que ha resultado en la elaboración de la teoría de la tectónica de placas o tectónica global, que explica de manera satisfactoria la actividad geológica interna.

En sus aspectos básicos, la teoría de la tectónica de placas sostiene que la capa más superficial de la Tierra, la litósfera, está dividida en una serie de fragmentos o placas que se mueven unos en relación a los otros. En los bordes de estas placas, como las dorsales o zonas de expansión y las fosas abisales o zonas de subducción, se produce la mayor parte de la actividad interna. La teoría de la tectónica de placa explica de manera satisfactoria la evolución de las capas superficiales del planeta en los últimos 200 millones de años.

La primera teoría coherente sobre la fragmentación y la movilidad de los continentes fue enunciada por el geofísico alemán Alfred Wegener en 1912. Wegener afirmó que los actuales continentes procedían de la fragmentación de un primitivo continente, el Pangea. Las masas continentales originadas empezaron a desplazarse unas con respecto a otras en un movimiento que denominó Deriva Continental. Para apoyar su teoría, Wegener aportó pruebas sólidas de tipo geográfico (similitud de los contornos de diversos continentes que se pueden hacer encajar como las piezas de un rompecabezas), de tipo geológico (identidad en las formaciones geológicas entre continentes actualmente muy alejados) y paleontológicas (gran similitud entre las faunas y las floras fósiles de ciertos periodos geológicos de continentes separados hoy por miles de kilómetros). El aspecto menos válido de la teoría de Wegener era la causa que proponía para explicar la movilidad continental, basada en la rotación de la Tierra y en la atracción de la Luna y el Sol.

El gran aporte de Wegener reside en el hecho de que fue el primer científico que aportó pruebas concretas a las teorías movi listas de la Tierra, frente a las teorías fijistas aceptadas por buena parte de los geólogos de su época.

### 3. 2 EL ESTUDIO DE LOS FONDOS OCEANICOS

Durante mucho tiempo los conocimientos geológicos sobre la superficie terrestre se centraban en los continentes. La falta de medios técnicos hacía imposible el estudio de los fondos oceánicos.

A partir de mediados del presente siglo se empezó a tener datos importantes sobre los fondos oceánicos y la actividad geológica que en ellos se desarrolla. Como consecuencia del estudio sistemático de los fondos oceánicos, se resolvieron numerosos problemas geológicos y se enunció la teoría de la tectónica de placas.

Hoy día puede afirmarse que la clave para explicar la actividad interna de la Tierra se encuentra en los fondos oceánicos. Las investigaciones realizadas en las últimas décadas han permitido conocer con precisión la topografía y la actividad

geológica en los fondos oceánicos. Las campañas de investigación oceanográficas han tenido tres objetivos fundamentales:

- Estudio de la topografía y la morfología de los fondos oceánicos, cuyo resultado más importante ha sido el descubrimiento del sistema de dorsales oceánicas y del sistema de fosas abisales
- Estudio de la corteza oceánica
- Estudio in situ de ciertas zonas de los fondos oceánicos, que permitió en 1974 estudiar y fotografiar la actividad geológica de la dorsal del Atlántico cerca de las islas Azores.

### 3. 3 PLACA TECTONICA: Definición y Características

Una **placa tectónica** (también llamada placa litosférica) es una superficie de forma irregular formada por roca sólida. Está compuesta generalmente de **litósfera oceánica y continental**. La figura 3.1 muestra los dos tipos de litósfera. La extensión de la placa puede variar de unos pocos cientos a miles de kilómetros. El grosor de las placas también varía mucho; desde los 15 km. para la litósfera oceánica joven hasta los 200 km. o más para la litósfera continental antigua (por ejemplo, las partes interior de Norte y Sur América).

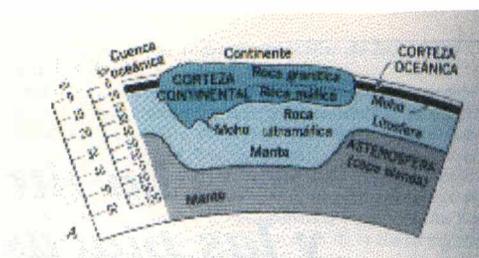


Figura 3.1 Partes de una Placa

La corteza continental se compone de rocas graníticas que están hechas de minerales livianos como el cuarzo y feldespato. Por contraste, la corteza oceánica se compone de rocas basálticas, que son más densas y pesadas. Las variaciones en el grosor de las placas son una forma natural de compensar parcialmente por el imbalance en el peso y densidad de los dos tipos de cortezas.

Como las rocas continentales son mucho más livianas, la corteza bajo los continentes es mucho más gruesa (casi 100 km.) mientras que la corteza bajo los océanos es de alrededor de 5 km. de grosor.

La Tierra se forma por las siguientes placas: la de América del Norte, de América del Sur, Africana, Antártida, Indica, Pacífica, Eurasiática, Indoaustraliana, de Nazca y placas menores. Cada placa está moviéndose a una velocidad diferente y en diferentes direcciones. A causa de esto, se forman diferentes tipos de límites.

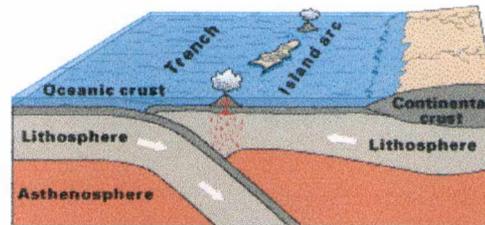
Los tres tipos mayores de placas son *los límites de placa convergentes*, *los límites de placa divergentes* y *los límites de placa de transformación*.

#### 3. 3. 1 Límites de Placas Convergentes

Los límites de placa convergentes son lugares en la Tierra donde dos placas tectónicas se encuentran. Hay 3 clases de límites convergentes. Toman el nombre del tipo de litósfera implicada. Hay límites convergentes Oceánico/Oceánico, límites

convergentes Oceánico/Continental, y límites convergentes Continental/Continental. Cada tipo produce diferentes características en la superficie.

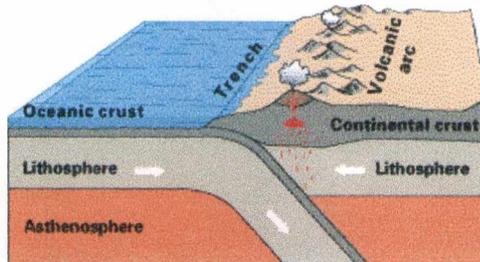
**Arco de isla:** Se forma cuando dos placas oceánicas colisionan. La figura 3.2 muestra esa colisión. Como ambos están hechos del mismo material litosférico denso, cada placa tiende a irse hacia abajo de la otra. Una de las placas ganará eventualmente y SE HUNDIRÁ bajo la otra. La placa hundida se derretirá y esta corteza oceánica derretida se elevará entonces a la superficie como material volcánico. Este material eventualmente se elevará a una altura que se extienda sobre el nivel del mar. Estos picos volcánicos forman una cadena de islas paralelas al límite de la placa. Esta cadena de isla se conoce como ARCO DE ISLA. Aparte de la actividad volcánica, el área alrededor de un arco de isla experimenta mucha actividad sísmica.



Oceanic-oceanic convergence  
Figura 3.2 Convergencia oceánica - oceánica

Esta actividad es el resultado del movimiento de una placa pasando a otra y la actividad volcánica relacionada en el área. Los arcos de islas pueden encontrarse en el Caribe y el Pacífico Sur.

**Zona de subducción:** Una zona de subducción ocurre cuando un pedazo de la corteza terrestre va abajo de otra y entonces se funde. La figura 3.3 ilustra esta situación

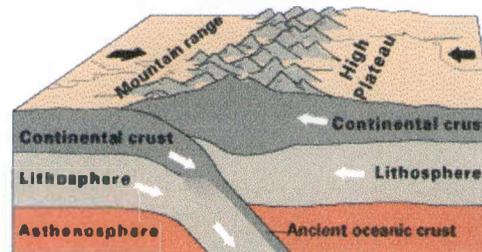


Oceanic-continental convergence  
Figura 3.3 Convergencia Oceánica - Continental

(Técnicamente esto hace que un arco volcánico sea también una zona de subducción). El término de ZONA DE SUBDUCCIÓN sin embargo, usualmente se usa para referirse a un área donde un pedazo de corteza oceánica se hunde bajo un pedazo de corteza terrestre. Esto causa que la corteza continental se doble. La corteza

oceánica también se funde causando que se formen volcanes. El resultado de esta subducción puede hallarse en áreas como los Andes de Sudamérica y Cadena de la Cascada en el oeste de los Estados Unidos

**Colisión continental:** Cuando dos piezas de corteza continental colisionan, no ocurre ninguna subducción. La figura 3.4 muestra el resultado. La corteza continental NO PUEDE hundirse. A causa de esto, no hay actividad volcánica asociada con este tipo de límites de placa. Las características de la superficie en estas áreas son cadenas montañosas elevadas hechas de rocas que han sido dobladas y plegadas hacia arriba porque las dos placas se encuentren. Ejemplos de cadenas montañosas formadas por convergencia continental son los Alpes



Continental-continental convergence  
Figura 3.4 Convergencia Continental - Continental

de Europa y las Montañas Himalayas de Asia. Las Montañas Rocosas y Apalaches de Estados Unidos se formaron también por este proceso millones de años atrás.

### 3. 3. 2 Límites de Placas Divergentes

Los límites de placa divergentes son lugares en la Tierra donde dos placas tectónicas se alejan una de la otra. Hay dos tipos de límites divergentes. Obtienen sus nombres a causa de la corteza litosférica implicada en cada tipo de límite. Son Oceánico/Oceánico y Continental/Continental. El límite oceánico forma una característica en la superficie conocida como un DORSAL MEDIO OCEANICA y el límite continental forma un VALLE DE GRIETAS.

**Dorsal oceánica:** Una dorsal oceánica es un lugar en la Tierra donde dos piezas de la corteza oceánica se alejan una de la otra. La figura 3.5 muestra el resultado de esa separación

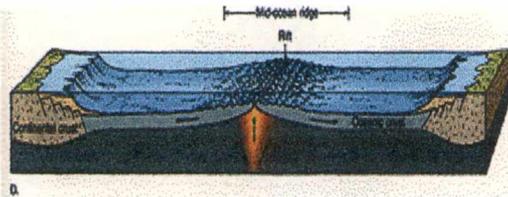


Figura 3.5 Dorsal Medio Oceanica

Mientras se apartan, la lava fluye a través del vacío creando nuevo suelo marino. La dorsal medio oceánica más grande se llama Dorsal Oceánica y se ubica en el medio del Océano Atlántico. Va desde el norte de Islandia hasta las regiones norte de Antártica. Esta dorsal está causando que Norteamérica y Europa se alejen una

de la otra. Se están alejando alrededor de 2 cm. Al año. La dorsal está sobre el nivel del mar en Islandia. A causa de esto Islandia experimenta mucha actividad volcánica y sísmica.

**Valle de grietas:** Un valle de grietas se forma cuando un pedazo de corteza continental comienza a dividirse. La figura 3.6 muestra el inicio de este proceso. En las primeras etapas de formación, un valle de grietas comienza a formar características llamadas GRABENS. Estos son terraplenes como escalones. Mientras el valle de grietas se profundiza y se ensancha, comienza a llenarse con agua. Eventualmente el valle de grietas se ensancha al punto que un mar nuevo se forme. Luego la lava comenzará a

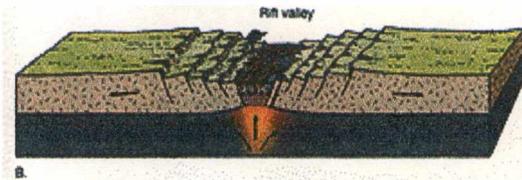


Figura 3.6 Valle de Grietas

fluir bajo el mar creando suelo marino. Cuando esto sucede el valle de grietas se convierte en dorsal oceánica. El Valle de Grietas Africano es un gran ejemplo de un valle de grietas. Etapas diferentes de separación pueden verse en diferentes locaciones en este valle.

### 3. 3. 3 Límites de Placas de Transformación

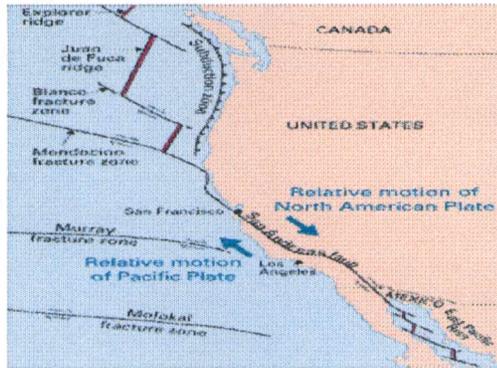


Figura 3.7 Falla de San Andrés

La figura 3.7 muestra el límite de transformación más famoso del mundo: la Falla de San Andrés. Tiene una sección de cruce de dos placas que se encuentran en un límite de transformación. En este tipo de límite, las placas se deslizan una respecto la otra. No se mueven uno hacia el otro como en un límite convergente o alejándose una de la otra como en un límite de placa divergente.

Estos límites son básicamente lo mismo sin importar el tipo de corteza litosférica implicada. Usualmente los límites de transformación son límites continental/continental. La actividad volcánica no está asociada usualmente con estos límites. Los terremotos sin embargo son muy comunes a lo largo de este tipo de límite.

La mayoría de los límites entre las placas individuales no pueden verse, porque están escondidos bajo los océanos. Los terremotos y la actividad volcánica se concentran cerca de estos límites. Se aprecia que una placa litosférica individual presenta simultáneamente un proceso de acreción (crecimiento por adición) y un proceso de consumición por fusión, de tal forma que las placas mantienen su tamaño sin que tengan que expandirse o disminuir. En realidad, la tectónica de placas incluye la posibilidad de que una placa de la litósfera oceánica pueda crecer o disminuir en extensión. Existen también modelos tectónicos que admiten la posibilidad de la creación de nuevas placas de la litósfera oceánica donde no existían, y de que otras desaparezcan por completo.

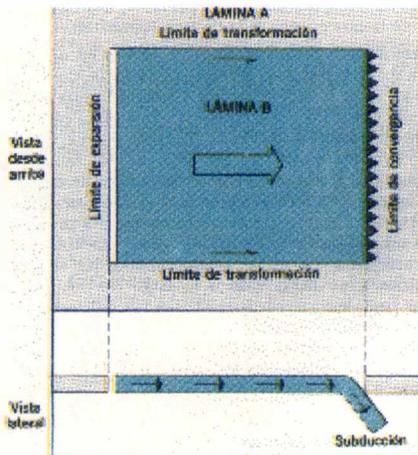


Figura 3.8 Esquema de los límites de una placa

En resumen, existen tres tipos de límites de las placas activas, ilustrados en la figura 3.8

Límites de Expansión: Nueva litósfera se está formando por acreción

Límites de Convergencia: La subducción está en progreso; la litósfera se está consumiendo

Límites de Transformación: Las placas se deslizan una delante de la otra en una falla de transformación.

### 3. 4 EXTENSION CONTINENTAL Y CUENCA OCEANICA

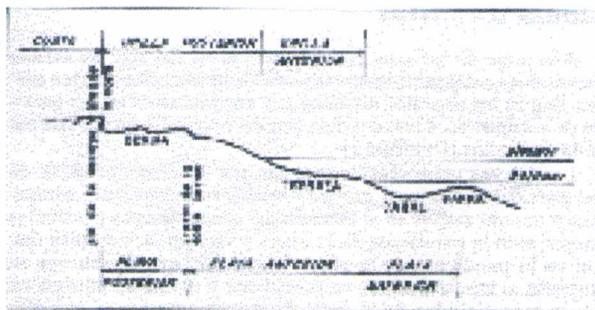


Figura 3.9 Zona Costera: Costa, Orilla y Playa

#### 3. 4. 1 La Costa: Características Topográficas de la Línea de Costa

La zona que divide el mar de la tierra es de naturaleza variable, tanto debido a los cambios de nivel de mar como a los procesos que resultan de su acción sobre la tierra, y en ella se presentan ciertas partes bien distintas, cada una de ellas caracterizada por formas que le son particulares y que se deben a la erosión o la deposición.

La figura 3.9 muestra que sobre las costas en general hay un acantilado o médanos producidos a lo largo de los tiempos por las ondas de tormenta que van acumulando el material que transporta y que señala el límite de la acción efectiva de las olas, llamado genéricamente *escarpa*.

Los procesos que se combinan para modificar la forma de la línea de costa son variados y complejos. La fuerza de cambio dominante es: el acción de las olas. Los factores secundarios son: el tipo y naturaleza de las rocas, los procesos tectónicos pasados y presentes y el clima. Las complejas relaciones entre estos factores causan que la evolución de las costas sean altamente variables aún en cortos segmentos.

La evolución de las líneas de costas pueden clasificarse en sumergentes o emergentes

- Las costas sumergentes son aquellas en las que el nivel del mar está por arriba de la línea de la costa
- Las costas emergentes son aquellas en las que el nivel del mar está por debajo de la línea de costa

Es importante saber que la sumersión o emersión de una costa está controlada por tectónica regional. Es decir, que la elevación de una región a lo largo de una costa produce una línea de costa emergente y el descenso de una región resulta en una línea de costa sumergente. No hay cambio en el nivel del mar, el que se mueve es el terreno. Los *procesos deposicionales* son los agentes dominantes de cambio a lo largo de las *costas sumergentes* y tales costas se conocen con el nombre de *líneas de costas constructoras*. Los *procesos erosionales* son los agentes dominantes de cambio a lo largo de las *costas emergentes* y estas costas se denominan *líneas de costas destructoras*.

**Costas Sumergentes:** Las formas de terreno generadas por procesos deposicionales a lo largo de líneas de costas sumergentes son: *Playas, Lenguas de Arena, Tómbolos, Barras, Islas de Barrera y Barreras de Bahía*

Cada una de estas formas de terreno pueden considerarse como una modificación o extensión de una o más de las otras formas. Por ejemplo, el desarrollo y crecimiento de una playa puede conducir al desarrollo y crecimiento de un lengua de arena, que puede eventualmente extenderse a lo largo de la desembocadura de una bahía para crear una barrera de bahía. Muchas otras combinaciones también son posibles. La costa Atlántica del este y sudeste y una porción de la costa del Golfo de E.E.U.U. se clasifican como sumergentes

**Costas Emergentes:** Las formas de terreno generadas por procesos erosionales a lo largo de líneas de costas emergentes son: *Risco marino, Grutas marina, Arcos Marinos, Pilas marinas, Plataforma Marina y Terraza Marina*

Como las formas de terreno de las costas sumergentes, el desarrollo de las formas de terreno erosionales a lo largo de líneas de costas emergentes está interrelacionado. Como una línea de costa sufre erosión, se forman los riscos y las bahías. La acción hidráulica del agua dirigida a los flancos de las puntas del terreno produce primero grutas marinas, luego se crean arcos marinos mientras las grutas marinas se agrandan y extienden a través de las puntas. La erosión continuada causa que el arco se caiga y el remanente erosional resultante es la pila marina. Las plataformas marinas se desarrollan mientras la erosión remueve todas o la mayoría de las pilas y otros accidentes hacia una superficie llana y amplia hacia el nivel del mar. El efecto neto de la plataforma es proteger la costa de futuras erosiones disipando la energía de las olas cuando cruzan la plataforma. La mayoría de la energía de las olas se pierde a lo largo de la margen más externa de la plataforma. Las terrazas marinas son plataformas marinas emergentes. Las playas son accidentes comunes de las líneas de costas emergentes pero raramente se desarrollan en la misma extensión que las costas sumergentes. La mayoría de las costas Pacíficas de E.E.U.U. es una línea de costa emergente.

### 3. 4. 2 La Orilla

Entre la *marca de la bajamar* y el *pie de la escarpa*, se extiende la **orilla**, que es la zona sobre la cual se traslada la línea de contacto entre el agua y la tierra que se denomina la **línea de agua**. La figura 3.9 muestra las características y la ubicación dentro de la zona costera

La orilla se divide en:

- **orilla anterior.** desde la marca de bajamar a la de pleamar, y
- **orilla posterior.** desde la pleamar hasta el pie de la escarpa.

Detrás de la orilla se extiende la **costa** y que queda separada de aquella por la **línea de la costa** y que marca la escarpa.

### 3. 4. 3 Las Playas

Las **playas** representan una zona de transición entre la tierra y el mar, y cuando ocurren ocupan la parte que ha sido definida como la **orilla**, o sea la que *va desde la marca de bajamar hasta el pie de la escarpa* que establece el límite del transporte de sedimento por las olas. La figura 3.9 muestra las características y la ubicación dentro de la zona costera

Se presentan con características diferentes ya sea respecto de su estructura, la clase de sedimento que las forma, o el lugar en que están ubicadas en relación con la acción de las corrientes, las mareas y las olas, así como con el tipo de orilla sobre la que se encuentran.

En general, y *desde el mar hacia la costa*, la estructura de las playas comprende:

- **barra**: con profundidad vinculada a la altura de las olas que rompen
- **canal**: se extiende entre la barra y la marca de bajamar
- **terrazza**: comprendida por las marcas de bajamar y pleamar
- **doble berma** y la **berma**: cuyas pendientes dependen del tipo de sedimento de la playa
- **escarpa**: señala la línea de la costa

llamándose:

- **playa exterior**: la zona que va de la barra a la marca de bajamar
- **playa anterior**: la zona que va de al marca de bajamar a la cresta de la primera berma
- **playa posterior**: la zona que se encuentra entre primera berma y la escarpa

No siempre en cada una de las playas existen todas las características mencionadas, pues en algunas suelen ser inconspicuas o faltar una o ambas bermas, o la barra o la terraza o la escarpa.

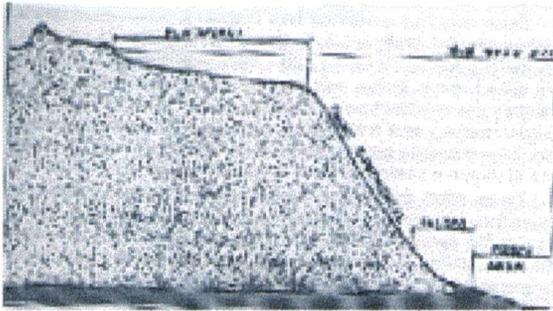
Las playas se encuentran más frecuentemente a lo largo de las costas bajas y son poco comunes sobre las costas rocosas, donde suelen, sin embargo, aparecer en el fondo de las bahías o en la boca de los cursos de agua que se vuelcan en ellas, o en las pequeñas entradas de mar. Las primeras tienen usualmente barra y se denominan, por lo tanto, **playas de barra**; las segundas se llaman **playas en media luna** debido a ser ésta su forma habitual, y las últimas se reconocen como **playas de saco**.

### 3. 4. 4 Accidentes de la Extensión Continental y del Fondo Submarino

La extensión continental puede describirse en:

- **plataforma continental**: el fondo de pendiente suave (aprox. 0,1°) que se extiende desde la costa hasta la profundidad de unos 200 metros y algunas veces hasta la de unos 600 metros, y a partir de donde hay un aumento abrupto de la pendiente hasta alcanzar las grandes profundidades oceánicas que rara vez excede 5°
- **talud continental** a la pendiente más pronunciada del fondo (unos 4°) desde la plataforma continental hasta una profundidad de aproximadamente 3000 metros
- **elevación continental** al declive menor que sigue (de 0.3° a 0,05°) hasta una profundidad de más o menos 5000 metros

- **fondo abisal**, que comprende la llanura abisal y las colinas abisales, a la parte del suelo submarino que tiene más de unos 5000 metros de profundidad
- **elevación oceánica** a la pendiente que se encuentra entre aproximadamente los 5000 y los 4000 metros de profundidad hacia el lado del mar
- **dorsal medio oceánica** a la cordillera submarina de desarrollo mundial que se levanta del fondo adyacente de unos 2000 a 3000 metros y tiene de 1000 a 4000 kilómetros de ancho.



La *plataforma continental* y el *talud continental* constituyen juntos la **terraza continental**; esta última y la *elevación continental* forman el **margen continental**; (figura 3.10) y el *fondo abisal*, la *elevación oceánica* y los *montes submarinos* aislados o agrupados comprenden la **cuenca oceánica**

**Figura 3.10 Margen Continental**

En la cima de la dorsal medio oceánica y a todo su largo corre una **grieta** de 20 a 40 kilómetros de ancho que es de carácter volcánico y está dividida en secciones, de unos 500 a 2000 kilómetros de largo, desplazadas lateralmente por **fracturas** de la corteza terrestre normales a ella en las que hay gran sismicidad.

Dentro de los accidentes del fondo submarino se reconocen dos tipos principales de accidentes topográficos: **depresión** y **elevación**. A su vez, en cada caso se clasifican en primarias y secundarias

Las depresiones primarias se denominan:

- **hoya**: tienen una forma más o menos circular o elíptica
- **hondonada**: son alargadas y anchas con bordes de pendiente suave
- **fosa**: aparecen como alargadas y angostas con flancos escarpados
- **foso**: se trata de aquellas partes con más de 6000 metros de profundidad

Dentro de las depresiones secundarias:

- **caldera**: una hoya chica
- **valle submarino o cañón submarino**: una depresión alargada y angosta, con lados de gran pendiente en forma de V y que corta el talud continental extendiéndose hacia la costa en la plataforma continental casi perpendicular a aquel y mostrando a veces tributario
- **canal oceánico o canon oceánico**: muy larga, angosta con lado de gran pendiente en forma de U y está en la llanura abisal.

Las elevaciones primarias se denominan:

- **loma**: son largas y anchas con faldas de pendiente poco pronunciada
- **espinazo**: tienen forma alargada y angosta con laderas de mucha pendiente
- **meseta**: resulta de cima extensa casi horizontal y con laderas de gran pendiente

La elevación secundaria se clasifican en:

- **domo**: que se alza aislada con lados de fuerte pendiente y la cresta roma que está a más de 200 metros de la superficie del mar
- **banco**: tiene la cima más o menos plana a menos de 200 metros de la superficie, sin llegar a impedir la navegación por sobre ella
- **bajo**: un banco que representa un peligro para la navegación siempre que no sea de roca o coral
- **arrecife**: un banco de roca o coral
- **monte submarino**: es aislada y relativamente puntiaguda, alzándose a 1000 metros o más del suelo del mar
- **colina**, se levanta por debajo de los 1000 metros
- **cono submarino truncado o guyot**: todo monte submarino de cima aplanada

Toda elevación que separa dos depresiones se denomina **umbral** y la parte más alta de una elevación se conoce como **cresta**.

El suelo submarino muestra también un llamado **microrrelieve** que es, en general, el resultado de procesos físicos, químicos y biológicos que se verifican entre el agua y el fondo del mar más o menos sólido. La fotografía submarina, que es factible a las mayores profundidades, revela los rasgos del microrrelieve submarino.

### 3. 4. 5 Características de los Accidentes Topográficos

El relieve submarino sobre las plataformas continentales es accidentado de modo que su profundidad no suele aumentar de manera uniforme hacia el alta mar, siendo generalmente extensas cuando se desarrollan frente a una costa baja, y angostas frente a una costa montañosa, especialmente si las montañas son jóvenes.

Según [Panzarini 84] el ancho medio de las plataformas continentales es de 40 millas marinas, la profundidad media a la que se produce el *mayor cambio de pendiente del fondo en el borde de la plataforma continental es de 132 metros, la profundidad media de la parte más llana es de 64 metros*, el 60% de los perfiles hechos a través de las plataformas continentales mostró elevaciones con un relieve de 18 o más metros, el 35 % de los mismos perfiles exhibieron depresiones de 18 o más metros y *la pendiente media del fondo es de 0° 07' de arco*

De acuerdo con el mismo autor, *la pendiente media del talud continental es de 4° 17' en la parte de los primeros 1800 metros de profundización, siendo menor frente a las costas deltaicas donde desembocan grandes ríos y mayor frente a las costas montañas o de falla donde la pendiente puede exceder los 25° aunque en promedio es de 5° 40'.*

*Las plataformas continentales suelen estar atravesadas por valles o cañones submarinos que cortan el talud continental adentrándose hacia el alta mar y ensanchándose, teniendo muchos valles tributarios y pareciendo ser la huella de antiguos cauces de ríos en una época ecológica durante la cual las aguas del mar no cubrían las plata formas continentales*

*La topografía del fondo del océano profundo muestra en general depresiones extensas separadas por elevaciones alargadas, fosas siempre próximas a la tierra en*

regiones volcánicas, y un perfil del fondo que sigue la curvatura general del globo. Exhibe también todos los accidentes e irregularidades de la topografía que se observa sobre la tierra, habiéndose encontrado pendientes de hasta 52° y teniendo las fosas costados con el mayor declive del lado de la tierra.

### 3. 5 PROCESOS TECTONICOS: Descripción y Características

#### 3. 5. 1 Grietas: Formación de Margen Continental y Cuenca Oceánica

Según su formación los márgenes continentales, se clasifican en:

- **margen continental activa**, relacionada con el proceso de ruptura continental
- **margen continental pasiva**, relacionada con el proceso de subducción

Los márgenes continentales que bordean al Océano Atlántico tanto por el este como por el oeste, son muy diferentes del margen activo de una zona de subducción. Los bordes del Atlántico no presentan actividad tectónica en el presente; por lo que se denominan **márgenes continentales pasivos**. Representan el contacto entre litósfera continental y litósfera oceánica. Para comprender cómo se formaron los márgenes pasivos, analizaremos paso a paso la historia tectónica que conduce a la división de una única placa litosférica continental: **ruptura continental**.

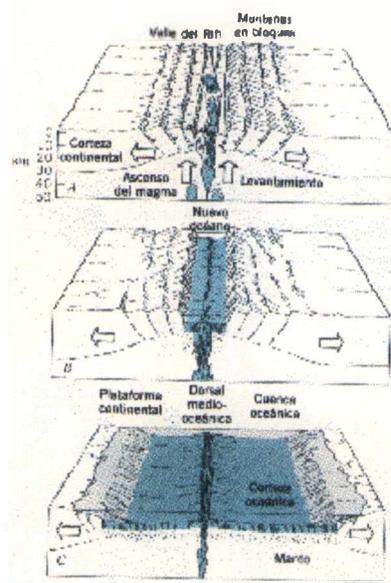


Figura 3.11 Creación de la Margen Continental

1. La corteza es levantada y estirada mientras la placa litosférica es arqueada hacia arriba. En esta etapa se forman *montañas en bloques fallados*, que son el resultado de una tectónica de extensión
2. Aparece un largo y estrecho valle, denominado *valle de grietas*. La grieta, que se va ampliando, es continuamente rellenada por magma que asciende desde el manto. Este magma se solidifica formando nueva corteza en el suelo del *valle de grietas*. Los bloques de la corteza se deslizan hacia abajo a lo largo de una serie de fallas, manteniendo el paisaje montañoso.

3. Como la separación continúa, acabará por aparecer un estrecho océano; por debajo de su centro existe un *límite de divergencia*. Se produce entonces la acreción de la placa, originándose así corteza oceánica y litósfera. Actualmente podemos encontrar un ejemplo de estrecho océano formado por ruptura continental en el Mar Rojo. Sus costas rectas y abruptas son rasgos que deberíamos esperar de tal evolución. La ampliación de la cuenca oceánica puede continuar hasta formar un gran océano que separe a los continentes.

La figura 3.11 en la parte media e inferior muestra los resultados de este último paso del proceso

Durante el proceso de apertura de una cuenca oceánica, en el límite de divergencia se desarrollan una *serie de desplazamientos*. Los *bordes del desplazamiento del rift axial* están conectados por una activa *falla de transformación*. Al continuar la separación, se forma una especie de grieta en el suelo del océano como extensión de la falla de transformación. Estas *grietas de transformación* tienen la forma de *estrechos escarpes* y pueden extenderse durante cientos de kilómetros a lo largo del suelo oceánico. Este nombre todavía persiste y puede verse en mapas del fondo del océano. Las grietas no están, al menos en la mayoría de casos, relacionados con fallas activas, aunque en algunas ocasiones pueden producirse pequeños movimientos.

En los *márgenes pasivos* se acumulan sedimentos terrestres, formando la *plataforma continental sobre la corteza continental*, mientras que sobre la *corteza oceánica se acumula una cuña de profundos sedimentos marinos*. El margen continental se hunde gradualmente al aumentar el espesor de los sedimentos, hasta que éstos alcanzan un grueso de varios kilómetros. Las plataformas continentales amplias y poco profundas son típicas de los márgenes continentales pasivos. Los grandes deltas construidos por los ríos contribuyen al aumento de los materiales de la plataforma. Las corrientes de turbidez transportan los sedimentos a través del talud continental y los extienden por la pendiente continental, originando profundos conos submarinos.

### 3. 5. 2 El relieve de los rift valleys

El sistema de rift valley del este de África ha atraído la atención de los geólogos desde 1900. El término *rift Valley* fue utilizado por primera vez en 1920 para describir los elementos estructurales de esta área fallada del este africano. La longitud total del sistema, que abarca desde el Mar Rojo al norte hasta el río Zambeze al sur, es de unos 3000 km.

El sistema consiste en una *serie de fosas* que tienen de 30 a 60 km. de amplitud. Son como bloques de piedra de un arco, hundidos entre bloques vecinos debido a que el arco se ha separado. Por lo tanto, el suelo de los rifts valleys está por encima de la altura de la mayor parte de la superficie continental africana, incluso *algunos están ocupados por largos y profundos lagos y por grandes ríos*. *Las laderas de los rift valleys presentan múltiples fallas*. El sistema de rift valley está formado por una serie de ondulaciones en forma de domo, la mayor de las cuales forma el macizo Etíope al norte. *Lavas basálticas han ascendido por las fisuras del suelo de los rifts valleys y forman los flancos de los domos*. Los sedimentos procedentes de altas llanuras que constituyen la parte superior de las laderas, forman espesas capas en el suelo. El lago Victoria está flanqueado por

dos rift valleys que se unen al sur del lago. A partir de esta unión, se extiende hacia el sur un único rift valley.

La actividad tectónica y volcánica que produjo este sistema comenzó en el Eoceno y ha continuado esporádicamente hasta ahora. Una proposición especulativa afirma que el sistema se convertirá con el tiempo en el límite de una placa tectónica, *la placa de Somalia*. De acuerdo con la interpretación de la futura evolución, se abriría el límite de una placa a lo largo del rift valley del lago Nyasa, originando una nueva cuenca oceánica, mientras una falla de transformación continuaría en la parte norte del sistema del rift hasta el Golfo de Aden. Toda la placa se desplazaría hacia el noreste, por delante de la Placa Árábica.

### 3. 5. 3 Zonas de Subducción y Formación de Arcos Tectónicos

Los *límites de convergencia de las placas*, con el progreso de la subducción, son zonas de *intensa actividad tectónica y volcánica*. La estrecha zona de un continente que se encuentra sobre una placa en subducción constituye un *margen continental activo*. La figura 3.12 muestra los perfiles de la formación de un arco tectónico

1. El eje de la fosa representa la línea de contacto de los sedimentos procedentes de dos fuentes diferentes. Las placas oceánicas transportan sedimentos oceánicos – arcilla fina y ooze – que han sido depositados en el suelo del océano. Del continente llegan sedimentos terrestres en forma de arena y barro transportados por los ríos hasta la playa y arrastrados después hacia el océano por la acción de las corrientes.

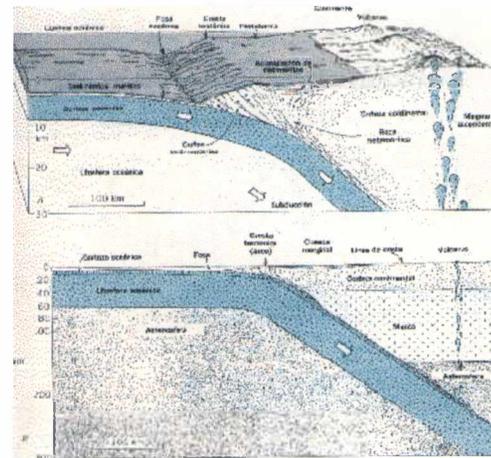


Figura 3.12 Formación de Arcos Tectónicos

2. En el fondo de la fosa ambos tipos de sedimentos se hallan fuertemente deformados y son impulsados hacia abajo por el movimiento de la placa. Los sedimentos adquieren entonces forma de *cuña*, superponiéndose unas a otras sobre abruptos *planos de falla*
3. Las *cuñas* se acumulan en un *prisma acrecionario* en el cual se produce el metamorfismo.
4. De esta forma, el margen continental es empujado hacia el exterior y se va formando una nueva corteza continental a base de rocas metamórficas.
5. El prisma acrecionario tiene una densidad relativamente baja y tiende a ascender, formando una *cresta tectónica*. Esta cresta suele estar sumergida pero en algunos casos forma una cadena de *islas paralelas a la costa*, denominada *arco tectónico*. Entre el arco tectónico y la tierra firme existe una depresión que recibe el nombre de *cuenca marginal*. Esta cuenca recoge gran cantidad de sedimentos terrestres. El

fondo de la depresión se hunde constantemente por el peso de la carga sedimentaria. En algunos casos *el suelo marino es llano y poco profundo, originando una especie de plataforma continental*. Los sedimentos son arrastrados hacia la vertiente exterior del prisma acrecionario por efecto de las corrientes de turbidez.

6. La figura 3,12 en la parte inferior muestra una placa litosférica hundiéndose en la astenosfera. *El intenso calentamiento de la parte superficial de la placa funde la corteza oceánica, formando magma basáltico. Cuando este magma asciende, su composición química cambia en la base de la corteza y se transforma en magma andesítico. Éste será el magma que llegue a la superficie, originando volcanes de lava andesítica, tales como los que existen en los Andes de Sudamérica.*

Un excelente ejemplo de límite de subsidencia se encuentra en el sistema de arcos volcánicos y tectónicos de Sumatra y Java, bordeados por la profunda Fosa de Java. El primer elemento a considerar es la acumulación de materiales dentro de la fosa. La **cuña sedimentaria** representa los sedimentos arrancados a la placa en movimiento. La fosa de Java se encuentra a una profundidad aproximada de unos 6.000 m. Junto al suelo de la fosa, los depósitos de las corrientes de turbidez y los sedimentos oceánicos están siendo convertidos en un **prisma acrecionario**. El prisma va creciendo lentamente hasta que su **cresta** forma el **arco volcánico**. En la región de Java, el arco tectónico se encuentra sumergido a profundidades de 1.000 a 2.000 m, pero hacia el oeste, lejos de la costa de Sumatra, se eleva sobre el nivel del mar hasta formar una **cadena de islas**, las Mentawai.

Junto al arco tectónico se encuentra la **cuenca marginal**, que recibe sedimentos procedentes de los **arcos volcánicos** de las islas de Sumatra y Java. Los materiales que cubren esta cuenca tienen más de 4.000 m de espesor. Los sedimentos son arcillas, limos y arenas, erosionados de las abruptas laderas de las cadenas montañosas volcánicas.

Una **estrecha cadena montañosa axial** representa el **arco volcánico** del sistema. Bajo la roca volcánica se encuentra la corteza continental. Al norte del arco existe una **cuenca interior**, de 100 a 200 m de amplitud, que representa el tercer tipo de cuenca sedimentaria del sistema. En Sumatra esta zona se encuentra por encima del nivel del mar, constituyendo una **baja llanura costera**.

Hacia el este de las islas Flores, la **cuenca interior** se hace más profunda, transformándose en la Fosa de las Flores, cuya profundidad es superior a los 3.000 m. En esta zona las **cuenca marginal e interior** forman una única cuenca más o menos continua con una divisoria submarina. Al norte de la cuenca interior se encuentra la corteza continental. Por lo tanto, la península Malaya y la isla de Borneo representan **salientes continentales**.

### 3. 5. 4 Fallas: Descripción y Clasificación

Una falla de la corteza terrestre es el resultado de una rotura repentina, debido a la diferencia de fuerzas. El proceso de rotura viene acompañado de un desplazamiento a lo largo del **plano de falla**. Las fallas tienen, a menudo, una gran extensión horizontal, de manera que la **línea de falla** puede ser apreciada en el suelo durante muchos kilómetros.

El origen de las fallas puede atribuirse a los movimientos repentinos que dan lugar a los terremotos. Un movimiento particular, de los que originan una falla es el desplazamiento de unos centímetros a 15 metros como máximo. Los movimientos pueden estar separados por períodos de años o décadas, e incluso algunos siglos, pero la suma de estos pequeños desplazamientos da lugar a las decenas o cientos de metros de salto total. En algunos lugares, pueden reconocerse claramente capas de rocas sedimentarias que se encuentran a ambos lados de una falla y el desplazamiento puede medirse con exactitud.

Según sea el ángulo de inclinación y la dirección del desplazamiento, se pueden establecer cuatro tipos básicos de fallas, mostrados en la figura 3.13

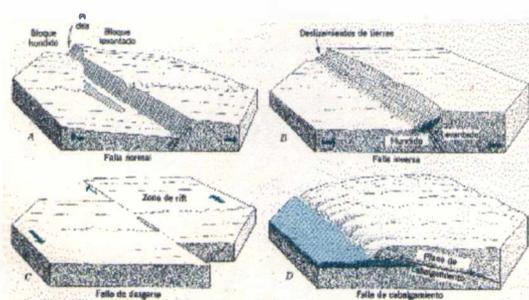


Figura 3.13 Tipos de Fallas.

Parte superior: Falla Normal y Falla Inversa

Parte inferior: Falla de Desgarre y Falla de Cabalgamiento

Una **falla normal** tiene el *plano de falla muy inclinado o casi vertical*. El movimiento predominante tiene *dirección vertical*, y por eso un bloque se levanta respecto del otro, que se hunde. Una falla normal suele traducirse en un *escarpe de falla*, cuya altura puede ser una medida aproximada de la componente vertical del desplazamiento. La altura de los escarpes de falla puede oscilar de unos pocos metros a varios centenares de metros. Su longitud suele medirse en kilómetros, alcanzando a menudo hasta 100 km. o

más. Una falla normal es la expresión de un movimiento de tensión de la corteza terrestre. Las fallas raramente aparecen como hechos aislados. Las fallas normales suelen producirse en grupos, normalmente en series paralelas. Esto da lugar a unos rasgos característicos del paisaje. Un *bloque hundido* situado entre *dos fallas normales* constituye una **fosa tectónica**. Un *bloque levantado* entre *dos fallas normales* se denomina **horst**. Las fosas tectónicas originan formas topográficas, en forma de zanja con paredes rectas y paralelas. Los horsts constituyen mesetas o montañas, que tienen a menudo la parte superior bastante plana y las vertientes escarpadas, pero con el perfil también rectilíneo. Ejemplo de una gran fosa tectónica producida por una rotura continental es la fosa del Mar Rojo que separa la Península Arábiga de África. Dos fosas más pequeñas forman el Golfo de Suez y el Golfo de Aqaba.

Una **falla inversa** tiene la *inclinación del plano de falla* tal que un *bloque cabalga sobre el otro* y se produce una reducción de la corteza. Las fallas inversas producen *escarpes de falla* similares a los de las normales, pero la posibilidad de deslizamiento de tierras es mayor debido a que tiende a formarse un *escarpe saliente*. En 1971, el terremoto de San Fernando, California, fue generado por un deslizamiento en una falla inversa.

Una **falla de desgarre** es la única en que predomina el *movimiento en dirección horizontal*. En una llanura plana ideal *no se formaría escarpe de falla*. En su lugar se observaría solamente una *delgada línea* a lo largo de una superficie. En algunas ocasiones, los ríos se desvían y siguen la línea de falla durante una corta distancia.

Otras veces, la línea de falla queda marcada por una especie de estrecha zanja, denominada también *rift*.

Una **falla de transformación** es un caso especial de las *fallas de desgarre*. La figura 3.14 muestra una falla de este tipo. La falla de San Andrés es una falla de transformación y constituye una parte del límite activo entre la Placa del Pacífico y la Placa Norteamericana. En California existen otras muchas fallas de desgarre, pero son de menor importancia y no señalan límite entre placas

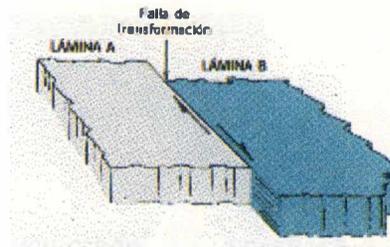


Figura 3.14 Falla de Transformación

- Una **falla de cabalgamiento** también presenta un predominio del *movimiento horizontal*, pero el *plano de falla es casi horizontal*. Uno de los bloques cabalga sobre la superficie del suelo adyacente. El *área de cabalgamiento* puede tener hasta 50 km. de anchura.

### 3. 6 ACCIDENTES GEOGRÁFICOS Y PROCESOS DE FORMACIÓN

Las cuencas oceánicas están caracterizadas por una estructura montañosa central que divide la cuenca aproximadamente en dos mitades. La dorsal medio-oceánica consiste en unas elevaciones submarinas que van ascendiendo progresivamente hasta la zona montañosa central. Precisamente en el centro de la dorsal, en su punto más alto, se encuentra un rift axial, que es una especie de fosa. La forma de este rift sugiere que la corteza se está separando por la línea que forma el eje del rift. La dorsal medio-oceánica y su rift axial pueden ser localizados a lo largo de las cuencas oceánicas en una distancia total de 64.00 km. Desde el Atlántico Sur, la dorsal gira hacia el este y entra en el océano Índico. Aquí, una rama se dirige hacia África mientras la otra continúa hacia el este entre Australia y la Antártida, desde donde pasa al Pacífico Sur. Cerca de América del Sur gira hacia el norte y entra en América del Norte en el comienzo del Golfo de California.

El rift axial está fragmentado en muchos lugares por fracturas de la corteza. El movimiento en esas líneas de fractura (fallas) ha originado desviaciones bruscas del rift. Estas fracturas extienden la dorsal medio-oceánica por los dos lados. El rift axial y sus fracturas representan el límite entre placas litosféricas adyacentes que se están separando.

A cada lado de la dorsal medio-oceánica existen amplias llanuras y cinturones de colinas que pertenecen al suelo de la cuenca oceánica. Su profundidad media es de unos 5 km. Las superficies planas se denominan llanuras abisales, son extremadamente llanas porque se han formado con sedimentos muy finos.

Cerca de los continentes el suelo oceánico comienza a ascender gradualmente, formando la pendiente continental. Después el suelo asciende bruscamente por el talud continental. Al final de este talud se encuentra la plataforma continental, una llanura inclinada suavemente de 120 a 160 km. de anchura a lo largo del margen oriental de

América del Norte. La profundidad del agua es unos 180m en el límite exterior de la plataforma.

El margen continental puede ser definido como una estrecha zona en la que la litósfera oceánica está en contacto con la litósfera continental. Por lo tanto, el margen continental se divide entre el continente y la cuenca oceánica.

El modelo simétrico del diagrama es una simplificación de las cuencas oceánicas del Atlántico Norte y Atlántico Sur. También puede aplicarse a las cuencas del Océano Artico y Océano Indico. Los márgenes de estas cuencas simétricas se describen como márgenes continentales pasivos, lo cual quiere decir que no han estado sujetas a la actividad volcánica y tectónica del Cenozoico.

La cuenca oceánica pacífica, aunque tiene una dorsal medio-oceánica, con suelo de la cuenca oceánica a ambos lados, tiene unos márgenes continentales bastante diferentes; están caracterizados por la existencia de arcos montañosos y arcos de islas, y por las fosas oceánicas. Los geólogos se refieren a estos límites de las cuencas oceánicas como márgenes continentales activos.

El suelo de las fosas alcanza profundidades de 7 km. e incluso más. Muchas evidencias científicas muestran que la corteza terrestre está bruscamente doblada hacia abajo para formar esas fosas, y que ellas marcan el límite entre dos placas litosféricas que se unen.

En la cuenca oceánica del Pacífico existen muchas subdivisiones del suelo oceánico conocidas como cuencas limitadas por arcos. Una típica cuenca de este tipo está limitada por el lado continental por una profunda fosa o por un margen continental pasivo y por el lado marino por un arco de islas y su fosa adyacente. Un ejemplo de esto es la Llanura Abisal de Bering, situada entre el margen continental de Alaska y Siberia, y el arco de islas Aleutianas, con su Fosa de Aleutianas. Un segundo ejemplo es la profunda cuenca oceánica que se encuentra entre la Fosa Ryukyu-Filipinas y el sistema de arcos de islas Bonin-Mariana-Yap-Palau.

### 3. 7 FENOMENOS RELACIONADOS: Vulcanismo y Terremotos

#### 3. 7. 1 MOVIMIENTOS SISMICOS

##### 3. 7. 1. 1 Descripción

Un **terremoto** son vibraciones producidas en la corteza terrestre cuando las rocas que se han ido tensando se rompen de forma súbita y rebotan. Las vibraciones reciben el nombre de **ondas sísmicas** y pueden oscilar desde las que apenas son apreciables hasta las que alcanzan carácter catastrófico. Las ondas sísmicas se originan en una región profunda (entre unos pocos kilómetros y más de 700 por debajo de la superficie) llamada **foco o hipocentro**. En la superficie y en la vertical del hipocentro se encuentra el **epicentro**, que suele ser la zona más afectada por el terremoto.

Los terremotos tectónicos se clasifican según su profundidad de origen:

- Superficiales: cuando su hipocentro está situado a menos de 60 km. de profundidad

- Intermedio: cuando su hipocentro está situado a una profundidad de 60 a 300 km.
- Profundo: cuando su hipocentro está a más de 300 km. bajo la superficie.

### 3. 7. 1. 2 Ondas de Choque

Hay cuatro tipos de ondas de choque que se originan:

**Ondas P** (Figura 3.15): tienen longitud corta y alta frecuencia. Son ondas longitudinales y pueden viajar a través de toda la tierra. Son las primeras en llegar a la superficie de la Tierra. Viajan a velocidades increíbles de 14000 mph en la superficie a más de 25000 mph a través del corazón de la Tierra. Cuando golpea un objeto, lo empuja y lo atrae.

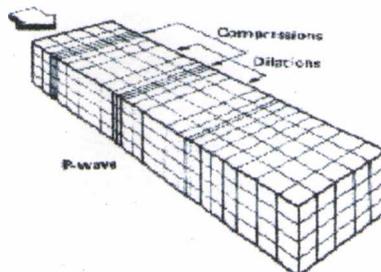


Figura 3.15 Ondas P

**Ondas S** (Figura 3.16): tiene longitud corta y alta frecuencia. Son ondas transversales y no pueden viajar a través de partes líquidas de la Tierra. Alcanzan la superficie después que las ondas P. Viajan a la mitad de la velocidad de las ondas P. Mueven los objetos en un movimiento de arriba hacia abajo en el dirección en la que se mueve. Pueden viajar solamente a través de sólidos y a causa de esto, puede viajar solamente a través de la corteza y el manto

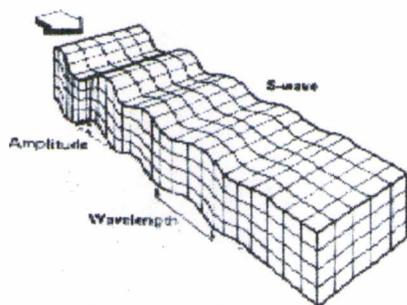


Figura 3.16 Ondas S

de la Tierra. Cuando las ondas S golpean el corazón de la Tierra, que está hecho de hierro y nickel líquido, las ondas paran

**Ondas L** (Figura 3.17): ocurren solamente en la corteza terrestre. Tienen longitud larga y baja frecuencia, confinadas a la superficie de la Tierra, causan los daños más grandes. Se originan del arribo de las ondas P y S en la superficie. Son mucho más lentas que las ondas S y las P. Ondas L ocurren en dos formas:

- **Ondas Q:** hay un fuerte movimiento horizontal perpendicular a la dirección de la onda.
- **Ondas R:** hay un movimiento vertical en la dirección de la onda, casi circular

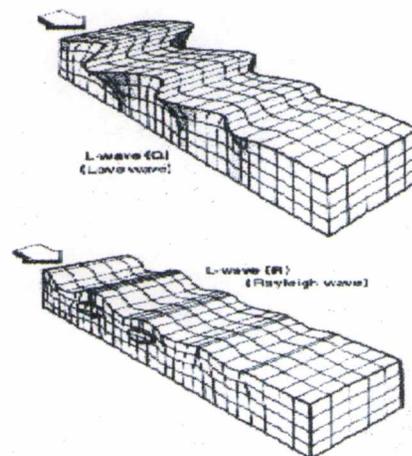


Figura 3.17 Parte superior: Ondas Q  
Parte Inferior Ondas R

### 3. 7. 1. 3 Tipos y Localizaciones de los Terremotos

En la actualidad se reconocen tres clases generales de terremotos: tectónicos, volcánicos y artificiales. Los sismos de la primera de ellas son, con diferencia, los más devastadores además de que plantean dificultades especiales a los científicos que intentan predecirlos.

Los causantes últimos de los terremotos de la *tectónica de placas* son las tensiones creadas por los movimientos de alrededor de doce placas, mayores y menores, que forman la corteza terrestre. La mayoría de los sismos tectónicos se producen en las fronteras de dichas placas, en zonas donde alguna de ellas se desliza sobre otra, como ocurre en la falla de San Andrés en California y México, o es subducida (se desliza bajo otra). Los sismos de las zonas de subducción son casi la mitad de los sucesos sísmicos destructivos y liberan el 75% de la energía sísmica. Están concentrados en el llamado Anillo de Fuego, una banda estrecha de unos 38.600 km. de longitud que coincide con las orillas del océano Pacífico. En estos sismos los puntos donde se rompe la corteza terrestre suelen estar a gran profundidad, hasta 645 km. bajo tierra. En Alaska, el desastroso terremoto del Viernes Santo de 1964 es un ejemplo de este caso.

Los terremotos tectónicos localizados fuera del Anillo de Fuego se producen en diversos medios. Las dorsales oceánicas (centros de expansión del fondo marino) son el escenario de muchos de los de intensidad moderada que tienen lugar a profundidades relativamente pequeñas. Casi nadie siente estos sismos que representan sólo un 5% de la energía sísmica terrestre, pero se registran todos los días en la red mundial de estaciones sismológicas. Otro escenario de sismos tectónicos es una zona que se extiende desde el Mediterráneo y el mar Caspio, a través del Himalaya, terminando en la bahía de Bengala. En esta región, donde se libera el 15% de la energía sísmica, las masas continentales de las placas eurasiática, africana y australiana se juntan formando cordilleras montañosas jóvenes y elevadas. Los terremotos resultantes, producidos a profundidades entre pequeñas e intermedias, han devastado con frecuencia regiones de Portugal, Argelia, Marruecos, Italia, Grecia, Turquía, Macedonia y otras zonas de la península de los Balcanes, Irán y la India.

Otra categoría de sismos tectónicos incluye a los infrecuentes pero grandes terremotos destructivos producidos en zonas alejadas de cualquier otra forma de actividad tectónica. Los principales ejemplos de estos casos son los tres temblores másivos que sacudieron la región de Missouri, en 1811 y 1812; tuvieron potencia suficiente para ser sentidos a 1.600 km. de distancia y produjeron desplazamientos que desviaron el río Mississippi. Los geólogos creen que estos temblores fueron síntoma de las fuerzas que desgarran la corteza terrestre, como las que crearon el Rift Valley en África.

De las dos clases de terremotos no tectónicos, los de origen volcánico son rara vez muy grandes o destructivos. Su interés principal radica en que suelen anunciar erupciones volcánicas. Estos sismos se originan cuando el magma asciende rellenando las cámaras inferiores de un volcán. Mientras que las laderas y la cima se

dilatan y se inclinan, la ruptura de las rocas en tensión puede detectarse gracias a una multitud de pequeños temblores. En la isla de Hawai, los sismógrafos pueden registrar hasta mil pequeños sismos diarios antes de una erupción.

### **3. 7. 1. 4 Escalas de Intensidad**

Los sismólogos han diseñado dos escalas de medida para poder describir de forma cuantitativa los terremotos. Una es la escala de Richter que mide la energía liberada en el foco de un sismo. Es una escala logarítmica con valores entre 1 y 9; un temblor de magnitud 7 es diez veces más fuerte que uno de magnitud 6, cien veces más que otro de magnitud 5, mil veces más que uno de magnitud 4 y de este modo en casos análogos. Se estima que al año se producen en el mundo unos 800 terremotos con magnitudes entre 5 y 6, unos 50.000 con magnitudes entre 3 y 4, y sólo 1 con magnitud entre 8 y 9. En teoría, la escala de Richter no tiene cota máxima, pero hasta 1979 se creía que el sismo más poderoso posible tendría magnitud 8,5. Sin embargo, desde entonces, los progresos en las técnicas de medidas sísmicas han permitido a los sismólogos redefinir la escala; hoy se considera 9,5 el límite práctico.

La otra escala, introducida al comienzo del siglo XX por el sismólogo italiano Giuseppe Mercalli, mide la intensidad de un temblor con gradaciones entre I y XII. Puesto que los efectos sísmicos de superficie disminuyen con la distancia desde el foco, la medida Mercalli depende de la posición del sismógrafo. Una intensidad I se define como la de un suceso percibido por pocos, mientras que se asigna una intensidad XII a los eventos catastróficos que provocan destrucción total. Los temblores con intensidades entre II y III son casi equivalentes a los de magnitud entre 3 y 4 en la escala de Richter, mientras que los niveles XI y XII en la escala de Mercalli se pueden asociar a las magnitudes 8 y 9 en la escala de Richter.

## **3. 7. 2 VULCANISMO Y FORMACION DE VOLCANES**

### **3. 7. 2. 1 Volcán: Descripción de Partes**

Según la definición de el Diccionario de la Real Academia Española (Ed. 1995) un volcán es una apertura de la corteza terrestre, por donde salen humo, llamas y materias ígneas. Normalmente, un volcán estrato suele usarse como modelo para describir las partes internas y externas, que se muestran en la figura 3.18.

Cámara de magma (A). El magma se localiza bajo la superficie de la tierra. Una cámara de magma usualmente se ubica muy profundo con respecto a la superficie de la Tierra donde una placa continental hunde a la oceánica en el manto. La placa oceánica se derrite mientras desciende en el manto y parte del agua oceánica queda atrapada con la placa oceánica y se convierte en vapor debido al intenso calor. El magma es poco denso, y bajo presiones extremas es forzado a ascender hacia la superficie. Esta roca derretida y el gas se reúne en la cámara de magma hasta que puede escapar a la superficie.

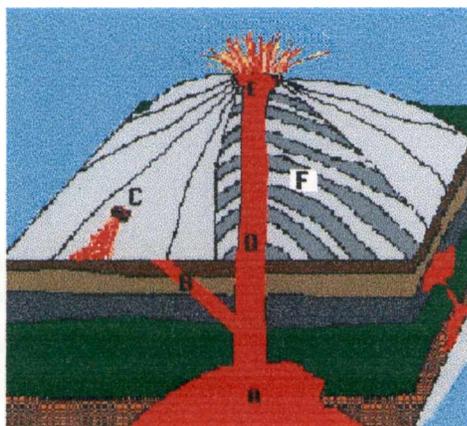


Figura 3.18 Partes de un Volcán

Dique (B). Los volcanes estrato se construyen por erupciones alternadas de lava y ceniza. El magma abajo y dentro de la montaña ejerce mucha presión en el corteza y en el volcán mismo. Luego empuja a través de pequeños hendiduras en el corteza y finalmente alcanza la superficie. Esto ultimo causa la formación del dique.

Chimenea lateral (C). Cuando el magma alcanza la superficie de la Tierra se denomina lava. La lava que avanza por la chimenea lateral causa que el volcán agregue una capa de lava y usualmente

una capa de ceniza con cada erupción. Estas erupciones construyen el volcán más alto y más ancho. Hawaii tiene volcanes con muchas chimeneas laterales que han construido las islas con bases muy amplias. Algunos volcanes por el otro lado tienen pocas o ninguna chimeneas. El material que "decora" el magma (gases, minerales, vapor) determina cómo llegará a la superficie

Conducto (D). Un conducto es el sendero principal para que el magma alcance la superficie. El Devils Tower en Wyoming es un ejemplo de un antiguo conducto enfriado y sin actividad. El origen de magma se movió y el magma en el conducto se enfrió y endureció en rocas de lava muy dura llamada basalto. El cono volcánico se hizo de material volcánico más liviano, probablemente ceniza y piedra pómez que lentamente erosionó su superficie dejando solamente el conducto.

Cráter y Chimenea Principal (E). El cráter es una apertura de forma redondeada ubicada en el tope del volcán. Está hecho de paredes empinadas de lava endurecida que rodea la chimenea principal. La lava puede fluir de la chimenea principal, pero no todos los volcanes expulsan grandes cantidades. Algunos volcanes expulsan roca derretida y grandes cantidades de gas de la chimenea principal. Los volcanes no siempre están haciendo erupción y el cráter puede ser una caldera de lava sin suficiente presión para erupcionar.

Capas de toba y lava (F). Cuando un volcán erupciona puede expulsar lava, roca de lava y ceniza. Cuando los volcanes estratos se construyen, partes de lava y ceniza queda en la superficie del volcán y lo construye más alto con cada erupción. La ceniza se endurece en la roca que se denomina toba

### 3. 7. 2. 2 Volcán: Clasificación

Los volcanes se clasifican como activos, inactivo y extinto. Los volcanes activos están o erupcionando y han erupcionado en algún momento de la historia. Hay más de 500 volcanes en la Tierra en este estado. Los volcanes inactivos no están erupcionando pero se considera que probablemente lo harán. El Monte St. Helens estuvo inactivo por 123 años antes que erupcionó en 1980. Los volcanes extintos no han erupcionado y no se espera que lo hagan.

### 3. 7. 2. 3 Volcán: Formación

Los volcanes tienen una formación progresiva por capas a través de las diferentes erupciones. La figura 3.19 muestra claramente las capas de un volcán.

En 1943 en México se observaron unas fisuras en el campo que crecían en ancho. Al día siguiente apareció un cono volcánico creciente en ese mismo campo (Verde Claro). Durante la semana, el cono creció 500 pies más alto (Verde Oscuro). Al año (gris oscuro) Paricutin tenía más 1200 pies de alto más que el ambiente que la rodeaba. Durante los 8 años siguientes el volcán no creció mucho más alto que la base del cono que creció en ancho (Gris claro) Paricutin dejó de erupcionar en.

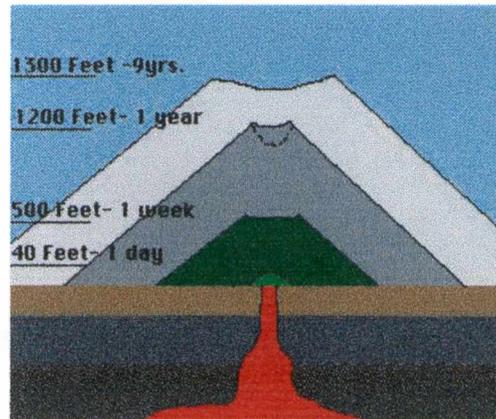


Figura 3.19 Capas de Volcán

1952 casi tan rápido como empezó. Continúa en ese estado en la actualidad El volcán usualmente muestra signos de erupción produciendo terremotos mientras el magma se eleva dentro del volcán.

Hay dos zonas relacionadas con los fenómenos que se estudiaron en esta tesis, que tienen actividad volcánica:

- Zona de Subducción: Son los tipos volcánico más violentos y destructivos
- Dorsal Medio Oceánica: Son más comunes en las zonas de grietas

### 3. 7. 2. 3 Volcán: Formas Topográficas y de Erupción

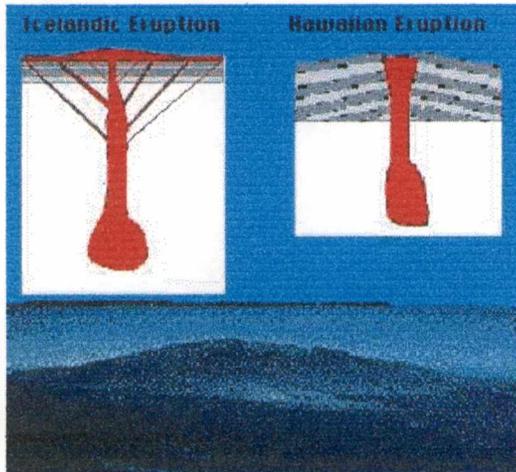
Los distintos magmas tienen cantidades variables de silicio y gas que causan que la lava sea o bien gruesa y pastosa o fina y corrediza. El grosor y la delgadez del magma determinarán como un volcán hará erupción y qué clase de cono formará.

*Los volcanes erupcionan por dos razones:*

- El magma profundo bajo la corteza es menos denso que la roca que lo rodea causándoles que se eleve.
- Mientras el magma se aproxima a la superficie de la Tierra, el gas presente en el magma se convierte en burbujas, ya que la presión alrededor del magma descenderá más cerca de la superficie.

Los volcanes se clasifican por el tipo de erupción y por la forma del cono volcánico. Hay 3 tipos de formas de cono y 6 tipos de erupción. Las 3 formas de cono son: conos cinder, cono shield y cono composite o volcanes estrato. Los 6 tipos de erupción son (en orden de menos explosivo a la más explosiva): Islándica, Hawaiana, Stromboliana, Vulcaniana, Peleana y Pliniana. Se debe notar que cuanto más violenta es la erupción, las formas del cono se construyen más empinada.

Las erupciones islándica (figura 3.20), de inundación o de fisuras son todos términos para erupciones volcánicas que inundan la superficie de la Tierra con masivas cantidades de lava muy caliente, muy fina y corrediza. La lava sale del piso a través de largas fisuras en el superficies. Algunas fisuras miden hasta 15 millas de longitud. El tipo de cono producido por las erupciones islándicas es el cono shield (figura 3.20).



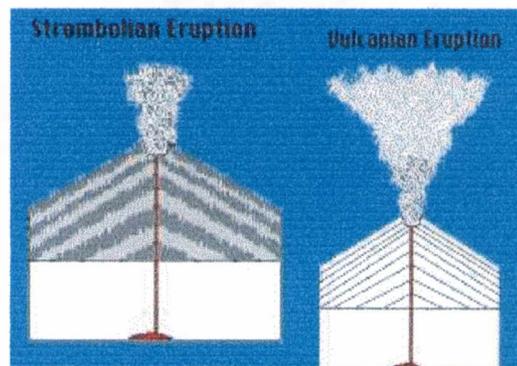
**Figura 3.20 Parte Superior: Erupciones Islándica y Hawaiana - Parte Inferior: Topografía de Cono Cinder**

Los conos shield son volcanes muy bajos y anchos de forma y erupcionan muchas veces sobre la misma área formando mesetas de lava enormes y gruesas. Se forman de lava caliente, corrediza que erupciona del volcán a través de su cima y muchas chimeneas laterales y fisuras alrededor de los lados del volcán. Por ejemplo el volcán Mauna Ea, se ubica en la gran isla de Hawaii. El volcán Mauna Loa, que está en la gran isla también, es el volcán más grande en la Tierra y la montaña más alta en el mundo si se mide desde el suelo oceánica donde se formó. Mauna Loa tiene 13677 pies sobre el nivel del

mar pero 17000 pies de altura que yace bajo el agua. Esta montaña volcánica tiene 30000 pies de altura desde el suelo oceánico a la cima. La meseta Deccan de la India se formó de esta manera y cubre 100000 millas cuadradas. La meseta de Columbia del Oeste de los E.E.U.U. es la meseta más grande del mundo. Cubre casi 100000 millas cuadradas y tiene casi una milla de grosor en algunos lugares.

Las erupciones Hawaianas (figura 3.20) son similares a las erupciones Islándicas ya que ambos tipos de erupción tienen muchas fisuras que transportan lava a la superficie. La lava que fluye de ambos tipos de erupciones es muy caliente, delgada, y corrediza que permite flujos que corren muy rápidos. La principal diferencia es que en realidad la mayoría de las erupciones Hawaianas tienen cantidad más grande de lava fluyendo por la chimenea principal en la cumbre del volcán, no a lo largo de las fisuras laterales. Estas erupciones por la cima construyen el cono más empinado y más alto.

Las erupciones Stromboliana y Vulcaniana (figura 3.21) son más explosivas que las erupciones Islándica y Hawaiana. Las erupciones Stromboliana (figura 3.21) se conocen como tal por la isla volcánica de la costa de Italia. El Stromboli ha tenido erupciones casi constantemente durante muchos siglos. Stromboli se conoce como la "Casa de Luces del Mediterráneo" ya que erupciona cada 20 minutos. Las erupciones Strombolianas son erupciones explosivas de corta vida que arroja lava pastosa y muy gruesa al aire con estallidos de vapor y gas Las erupciones



**Figura 3.21 Erupciones Stromboliana y Vulcaniana**

Strombolianas usualmente producen poco o nada de lava. A causa de estos, los conos que se producen por este tipo de erupción es un cono muy empinado lateralmente llamado cono cinder (figura 3.21). Son la formación volcánica más simple. Se forman de explosiones de carbonos y cenizas caliente de magma. Estos elementos se establecen alrededor de la chimenea principal y construyen un cono muy empinado. Muy poca lava erupciona de un cono cinder y muy raramente se elevan más de 1000 pies de altura sobre el paisaje que lo rodea. Los conos cinder se conocen por las erupciones muy violentas y explosivas. El volcán Paricutin en México y Monte Vesubio en Italia son conos cinders famosos. Las erupciones Vulcaniana (figura 3.21) son más violentas y explosivas que las Strombolianas. Contienen altas nubes oscuras de vapor, cenizas y gas. La elevación de ceniza construye una cima con forma de coliflor y base más delgada como el tronco del árbol. Cuando el volcán para de erupcionar ceniza y gases, expulsa lava pastosa y gruesa. Las erupciones vulcanianas usualmente construyen un cono con laterales empinados que es más simétrico que un cono cinder. Las erupciones vulcanianas elevan la ceniza a una altura de 2 a 9 millas.

Los conos Estrato o Composite (figura 3.22) se forman de una combinación de erupciones.



Figura 3.22 Cono Composite

El volcán primero tendrá una erupción explosiva que expulsa grandes cantidades de vapor, gas y ceniza. Esto será seguido por la expulsión de lava. Un volcán Estrato se construye con muchas capas de ceniza y lava. Los Stratovolcanos son el tipo de cono más común. Hay muchos stratovolcanes famosos, por ejemplo el Monte St. Helens y Rainier en

Washington, Mt. Fuji en Japón, Monte Pinatubo en las Filipinas, y el Mt. Etna en Sicilia

Las erupciones Peleana y Pliniana (figura 3.23) son los tipos de erupción más peligrosa y explosiva. Las erupciones Peleanas (figura 3.23) se conocen como tal por la erupción catastrófica de la isla Martinica en el Mar Caribe en 1902. La erupción y el flujo piroclástico mató casi instantáneamente a 29000 personas. Las "nubes resplandecientes" de gas y ceniza fluían de la montaña a 70 millas por hora. La nube estaba tan llena de ceniza que era más pesada que el aire y

el suelo cuando se aproximaba a la costa. Las temperaturas fueron probablemente de 700 grados F La erupción Pliniana (figura 3.23) es el tipo de erupción más explosiva. El Mt. St. Helens era una erupción pliniana. Se caracterizan por una nube de ceniza muy alta que se eleva casi 10 millas de altura. Los flujos piroclásticos mortales son también parte de la erupción pliniana. El caso más conocido es el Monte Vesubio

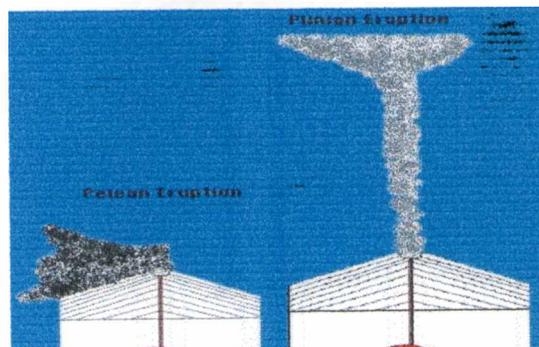


Figura 3.23 Erupciones Peleana y Pliniana

## **Capítulo 4**

# **ANÁLISIS Y DISEÑO DEL DOMINIO**

**S.I.G. + Océanos = Una extraña combinación**

***Sedimentación y Crecimiento Continental  
en Modelos de SIG***

## Capítulo 4: ANÁLISIS Y DISEÑO DEL DOMINIO

### 4. 1 INTRODUCCION

El objetivo principal de esta tesis es la representación de fenómenos oceánicos a través del uso de estructuras de datos espaciales, usadas en los S.I.G.

Específicamente

1. estudiar fenómenos relacionados con la sedimentación y el crecimiento continental que provocan cambios en el fondo oceánico, y
2. estudiar y definir las arquitecturas de software que permitan la modelización y el diseño de este tipo de datos.

El dominio de estudio elegido se concentró en cinco puntos principales:

- Formación de márgenes continentales
- Características de márgenes continentales y líneas de costas
- Formación de Dorsales Oceánicas
- Zonas de subducción
- Formación de arcos de islas

Los elementos de diseño usados para la definición de la arquitectura de software fueron:

- La metodología de análisis y diseño orientada a objetos OMT (Object Modeling Technique) [Rumbaugh et. al. 91]
- El uso de patrones de diseño para modelo de objetos [Gamma et al. 94] y para aplicaciones geográficas [Gordillo et. al. 97]
- El uso de la arquitectura de campos continuos [Gordillo 98]

Como se pudo comprobar en el capítulo 3, el dominio es complejo a causa de la cantidad y comportamiento de agentes participantes. A esto debemos agregarle dos fenómenos naturales adyacentes bien identificados: la formación de volcanes y los movimientos sísmicos. No tiene sentido un análisis superficial integral del dominio, sin enfocar a cada uno de los "actores" por separado.

El dominio estudiado es parte de la Tectónicas de Placas, por lo que el elemento más importante es la **placa**. Cada una tiene una formación rocosa, originada a partir de los **minerales volcánicos** de las capas internas de la Tierra. Todos los movimientos tectónicos se concentra en los diferentes **límites** de las placas, que se clasifican en **Límite Divergente**, **Límite Convergente** y **Límite de Transformación**.

Los **límites divergentes** son límites de expansión que están continuamente creando nuevo suelo oceánico a partir del **material volcánico** que se expulsa desde el interior de la Tierra. Así comienza la formación de **dorsales**: Primero aparecen **elevaciones y depresiones** que van expandiendo la superficie del fondo oceánico. Durante el proceso de creación de dorsales, fuerzas de presión presentes en el relieve generan **fallas de transformación** en la longitud de la cadena montañosa. Finalmente, con la presencia del agua, el valle generado

por la ruptura de una placa, se convierte en las **costas** y **márgenes continentales**, formando la extensión del continente. Las líneas de costas sufren dos procesos de sedimentación: deposición y erosión, que provocan cambios notorios en la topografía .

Los **límites convergentes** son límites de contracción que consumen suelo oceánico, y se crean a partir del contacto (choque) entre dos placas que viajan en dirección una hacia la otra. El choque de dos placas (en el ambiente oceánico) provoca una **zona de subducción**, pues una de las placas debe hundirse bajo la otra, y la formación de una **fosa**. El material rocoso de la placa hundida se expone a altas temperaturas en el interior de la Tierra, y esto provoca que ese material experimente diferentes cambios de estado, y pueda ascender a través de las capas más externas de la Tierra. El resultado es que el material expulsado se solidifica en contacto con la atmósfera terrestre, y produce **elevaciones volcánicas**, formando cadenas montañosas volcánicas paralela a la **fosa**. Cuando el tipo de placa afectado es una formación oceánica, si el altura del volcán supera el nivel del mar se tiene la formación de **islas volcánicas** (cimas de las elevaciones formadas).

Los continuos procesos de desgaste de la superficie terrestre , y la contribución de agentes ambientales (vientos, precipitaciones) provocan que los **sedimentos** se acumulen en la **línea de costa** y, a veces, sea transportado a la **fosa** adyacente a la costa. La acumulación de sedimentos provoca un aumento en la profundidad y eventualmente una reacción: el metamorfismo. Si se produce, la fosa expulsa esos sedimentos, y puede lograr una extensión del continente con la formación de una margen continental, formando un conjunto de **islas tectónicas** paralelas a la costa.

Los **límites de transformación** no consumen ni crean suelo oceánico, simplemente son la respuesta a grandes movimientos de presión y compresión, a los que están sometidos los sedimentos. Como consecuencia el suelo se quiebra por líneas de relieve y permite el cese de estas fuerzas, resultando un movimiento opuesto de cada una de las partes del quiebre del terreno, formando **fallas de transformación**.

A continuación, se analizarán por separado los elementos participantes en cada proceso construyendo para cada uno (si es posible) dos modelos: conceptual y geográfico usando la arquitectura propuesta en [Gordillo et. al. 97]. Se incluirán la formación de volcanes y terremotos. Finalmente, se mostrará cómo interactúan usando diagramas de interacción y diagramas de instancias [Rumbaugh et. al. 91] que muestren la evolución de la colaboración entre los objetos.

## 4. 2 ANALISIS Y DISEÑO DE LOS ELEMENTOS Y RELACIONES

### 4. 2 .1 Accidentes y Características Topográficas: Depresión, Elevación y Superficie de Llanura

En el fondo marino, se distinguen tres tipos de formaciones topográficas: las depresiones, las elevaciones y las superficies de llanura. Según [Strahler et. al. 89], se define una *depresión* como "el área de suelo de forma cóncava que presenta todas las laderas, que encierran su superficie, inclinadas hacia el interior, con respecto al nivel del suelo", un *llano* como "superficie de escasa elevación y poco relieve" y una *elevación* como "el área de suelo que presenta sus laderas levantadas, con respecto al nivel de suelo". Si se observa los perfiles del fondo oceánico de la figura 4.1, se puede decir que se distinguen:

- 3 depresiones representados por los polígonos abiertos BCD, GHI, NOPQ (marcados en verde)
- 3 elevaciones representados por los polígonos abiertos EFG, KLM y RSTU (marcados en rojo)
- 6 superficies de llanura representados por los polígonos abiertas: AB, DE, IJ, MN, QR y UV (marcados en azul).

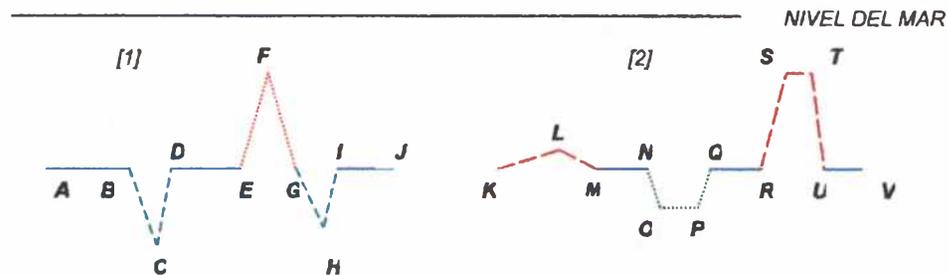


Figura 4.1 Perfiles de Relieve Submarino

Semánticamente, cada formación topográfica maneja conceptos descriptivos propios, los cuales son: profundidad, pendiente y altura. En términos geométricos, según el Diccionario de la Real Academia Española (Ed. 1995), se definen la *profundidad* como "la dimensión perpendicular a una superficie dada"; el *altura*, como "la perpendicular trazada desde el punto más elevado de una figura o cuerpo en su base"; y la *pendiente*, como "la inclinación de un terreno o una superficie". En el caso de las superficies de llanura, se las describe con los conceptos de profundidad y pendiente. En el caso de las depresiones, se las describe con el concepto de la profundidad. Finalmente, a las elevaciones se las describe con el concepto de altura. En términos clásicos, cuando se citan los conceptos de profundidad y altura, se asume que la referencia de medición es el nivel del mar; sin embargo el dominio estudiado provee otras variantes a estas definiciones.

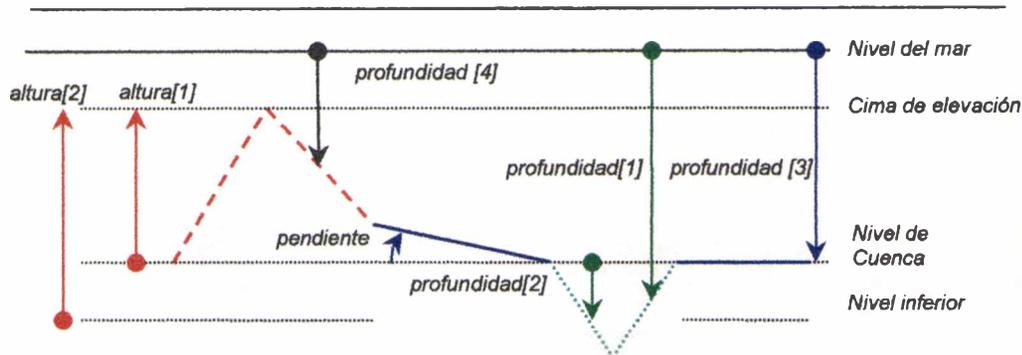


Figura 4.2 Conceptos de Profundidad - Altura - Pendiente

Previamente se sostuvo que las elevaciones se describen con el concepto de altura. Si se habla de los accidentes presentes en las masas continentales, resulta obvio que se trata de la altura con respecto al nivel del mar. Pero el dominio de las cuencas oceánicas permite dos variantes de altura (mostradas en la figura 4.2) para las elevaciones:

- altura[1]: usa como plano de referencia la superficie de la cuenca, por ejemplo en el caso de la Dorsal Medio Oceánica
- altura[2]: usa como plano de referencia un nivel inferior, por ejemplo a los volcanes pueden medírseles por el altura que definen a partir de su cámara de magma, presente en superficies internas de la Tierra.

Con respecto a las depresiones, se sostuvo que pueden describirse con el concepto de profundidad, pero en esta definición también se permiten dos variantes de profundidad (mostradas en la figura 4.2):

- profundidad[1]: usa como plano de referencia el nivel del mar
- profundidad[2]: usa como plano de referencia el nivel de cuenca

Finalmente, se sostuvo que las superficies de llanura se describen con el concepto de profundidad y pendiente. En este caso, se manejan conceptos clásicos que se muestran en la figura 4.2:

- profundidad[3] (el mismo significado semántico que profundidad[1]): usa como plano de referencia el nivel del mar
- pendiente: usa, para la apertura del ángulo de inclinación, como plano de referencia el nivel de cuenca. Cabe destacar que las pendientes están en un rango de  $0^\circ$  (llanura) a  $90^\circ$  (pared). Esto quiere decir que si se mide el ángulo de inclinación en el sentido de las agujas del reloj, no deberá superar el ángulo de  $90^\circ$ . En caso de suceder esto último, la medida de la pendiente deberá medirse en el sentido contrario a las agujas del reloj, usando siempre como plano de referencia el nivel de cuenca.

La explicación sobre los conceptos de profundidad, altura y pendiente merece dos observaciones importantes.

1. Salvo para las elevaciones, las mediciones se expresan con la profundidad usando mayormente como plano de referencia el nivel del mar. Sin embargo, se debería tener en cuenta que una elevación se podría medir utilizando el concepto de profundidad (profundidad [4] mostrado en la Figura 4.2), sin perder la posibilidad de expresar el altura con las dos variantes posibles.

- Con respecto al concepto de altura (altura[1] mostrado en la Figura 4.2), que usa como plano de referencia el nivel de cuenca, se debe tener en cuenta que "no siempre dos elevaciones con la misma altura responderán a la misma profundidad" Si se observa la figura 4.3, se puede decir que las medidas [1] y [2] de altura correspondientes a dos elevaciones diferentes, son iguales. Sin embargo existe una diferencia entre las medidas [3] y [4] de profundidad. Esto se debe a que el plano de referencia usado para las profundidades, es el mismo, o sea, el nivel ideal del mar; pero en el caso de las alturas fue diferente. Es decir que la medición de altura con respecto al nivel de la cuenca, usa un plano de referencia local.

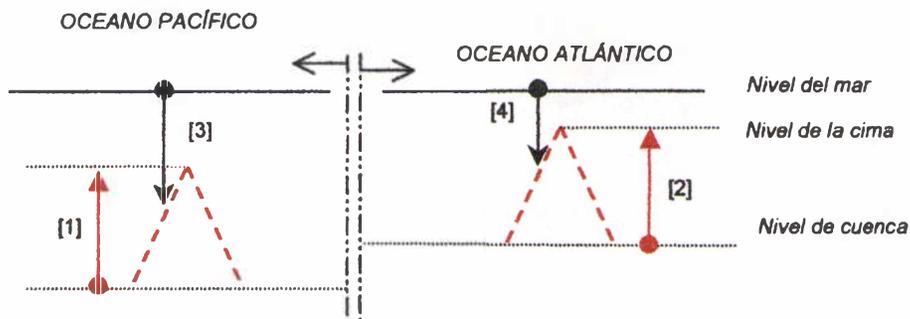


Figura 4.3 Comparación de Altura y Profundidad

#### 4. 2. 2 Modelo de Accidentes Topográficos

Usando el principio de herencia [Rumbaugh et. al. 91], se construyó una jerarquía de Accidentes Geográficos con las clases: Superficie, Elevación y Depresión; y con el uso del modelo de Campos Continuos [Gordillo 98], se modelaron las características descriptivas de cada uno. El uso de ésta última arquitectura se muestra gráficamente en la figura 4.4, donde asociamos a la elevación un campo continuo de altura, a la depresión, uno de profundidades, y para la superficie tiene dos campos asociados, el de la pendiente (que indica que una región responde a igual pendiente) y el de la profundidad (que pueden ser un conjunto de mediciones si la pendiente es distinta de 0°).

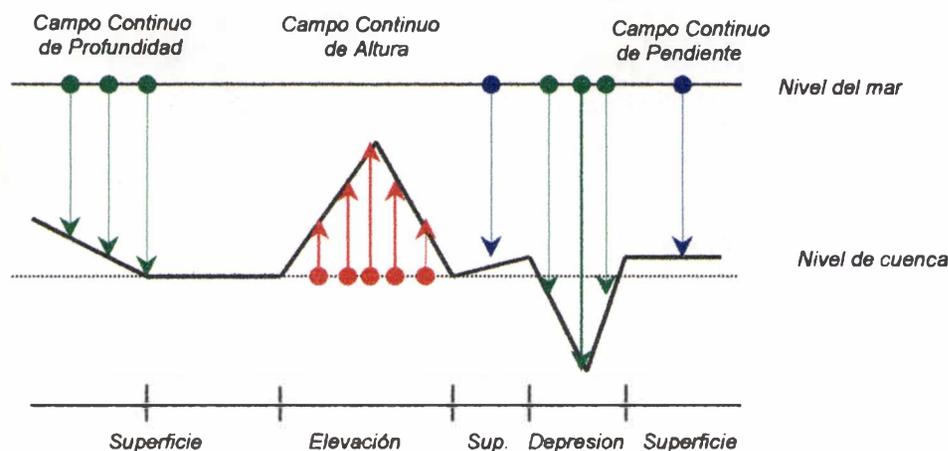


Figura 4.4 Campos Continuos gráficamente en el relieve submarino

El primer modelo resultante se muestra en la figura 4.5

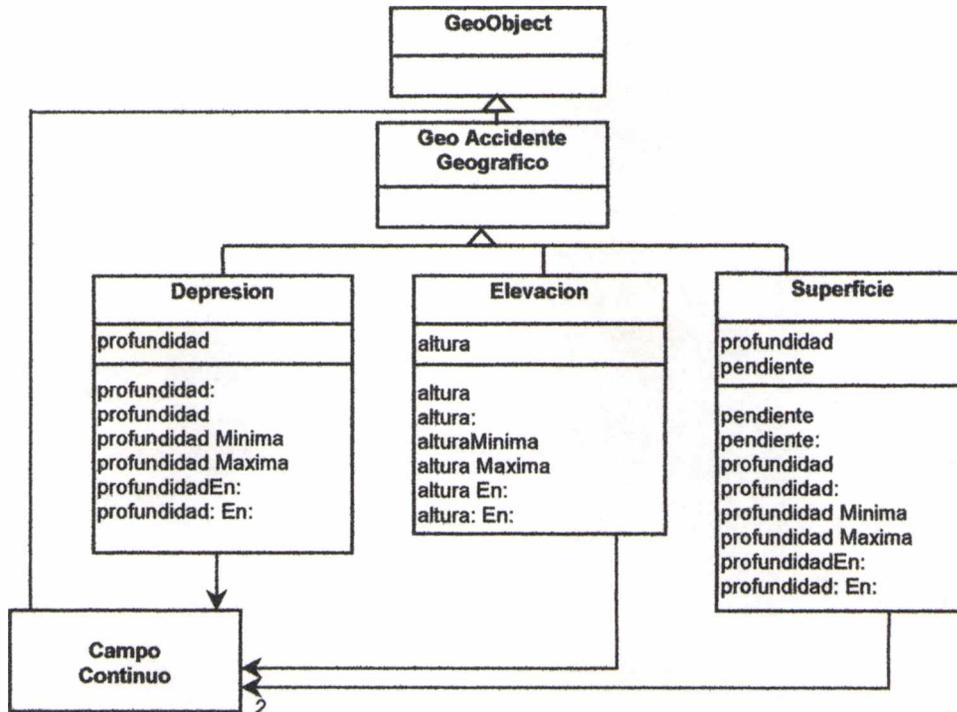


Figura 4.5 Modelo Preliminar de Accidentes Topográficos

La especificación de las operaciones permite ver cómo colaboran los campos continuos con los accidentes topográficos. Se asumen operaciones predefinidas en la Clase Campo Continuo [Gordillo 98] que son capaces de buscar un mínimo, un máximo o un valor en una posición determinada (las operaciones mínimo, máximo, buscar, modificar respectivamente)

Depresión

profundidad:aContinuousField {Modifica el campo continuo profundidad}

profundidad:=aContinuousField

profundidad {Retorna el campo continuo profundidad}

return profundidad

profundidadMinima {Retorna la profundidad minima de la depresión}

return profundidad minima

profundidadMaxima {Retorna la profundidad minima de la depresión}

return profundidad máximo

profundidadEn:aPosition {Retorna el valor de una profundidad en una aPosition determinada}

return (profundidad buscar: aPosition)

profundidad:aReal En:aPosition {Modifica el valor de una profundidad en una aPosition determinada}

(profundidad buscar:aPosition) modificar:aReal

**Elevación****altura:**aContinuousField {Modifica el campo continuo altura}**altura:** =aContinuousField**altura** {Retorna el campo continuo altura}

return altura

**alturaMinima** {Retorna el altura minima de la elevación}

return altura minima

**alturaMaxima** {Retorna el altura maxima de la elevación}

return altura maxima

**alturaEn:**aPosition {Retorna el valor del altura en una aPosition determinada}

return (altura buscar: aPosition)

**altura:**aReal En:aPosition {Modifica el valor del altura en una aPosition}

(profundidad buscar:aPosition)modificar z:aReal

**Superficie****pendiente:**aNumber {Modifica la pendiente}**pendiente:** =aContinuousField**pendiente** {Retorna la pendiente}

return pendiente

**profundidad:**aContinuousField {Modifica el campo continuo profundidad}**profundidad:** =aContinuousField**profundidad** {Retorna el campo continuo profundidad}

return profundidad

**profundidadMinima** {Retorna la profundidad minima de la depresión}

return profundidad minima

**profundidadMaxima** {Retorna la profundidad minima de la depresión}

return profundidad máximo

**profundidadEn:**aPosition {Retorna el valor de una profundidad en una aPosition determinada}

return (profundidad buscar: aPosition)

**profundidad:**aReal En:aPosition {Modifica el valor de una profundidad en una aPosition determinada}

(profundidad buscar:aPosition) modificar:aReal

En la Elevación se puede utilizar el principio de composición [Rumbaugh et. al. 91] sobre sí misma, para mostrar la relación entre una elevación y su cima. Esto se usa en el caso en que la elevación marina supere en altura al nivel de

mar, por lo que se puede considerar que hay una elevación sobre el nivel, sin importarnos que forma parte de una masa estructural más grande.

Resulta interesante introducir el concepto de ancho, extensión y altura (con respecto al nivel de cuenca), como campos continuos, dentro de los atributos de la superficie. Si se observa la figura 4.6, y asumiendo que esta superficie tiene la misma pendiente, se definieron dos campos continuos: uno para el ancho (marcado con violeta) y otro para la extensión (marcado con verde). Estos campos continuos pueden considerarse con 3 componentes: dos puntos que definen 1 medida (dos puntos que determinan una recta).

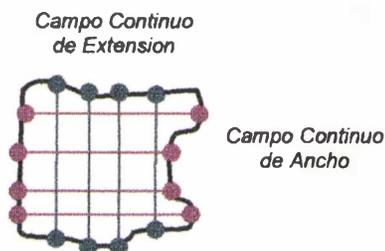


Figura 4.6 Conceptos de Ancho - Extensión

Entre la Depresión y la Elevación existen dos relaciones

1. *separados por*: dos depresiones están separadas por una elevación
2. *conoce*: una elevación puede conocer dos depresiones, que son las que se forman por sus laderas - una depresión puede conocer una elevación, si se forma a partir de una de sus laderas

En función de las dos relaciones planteadas y observando la figura 4.1 (Perfiles del Relieve Submarino), se puede decir que las elevaciones y las depresiones son composiciones de varias superficies. Por ejemplo en la figura 4.1 [2] (Perfiles del Relieve Submarino), tanto la elevación como la depresión se pueden definir con la composición de tres superficies.

Usando las tres ideas planteadas previamente, se modifica el modelo planteado en la figura 4.5, y el nuevo modelo se muestra en la figura 4.7

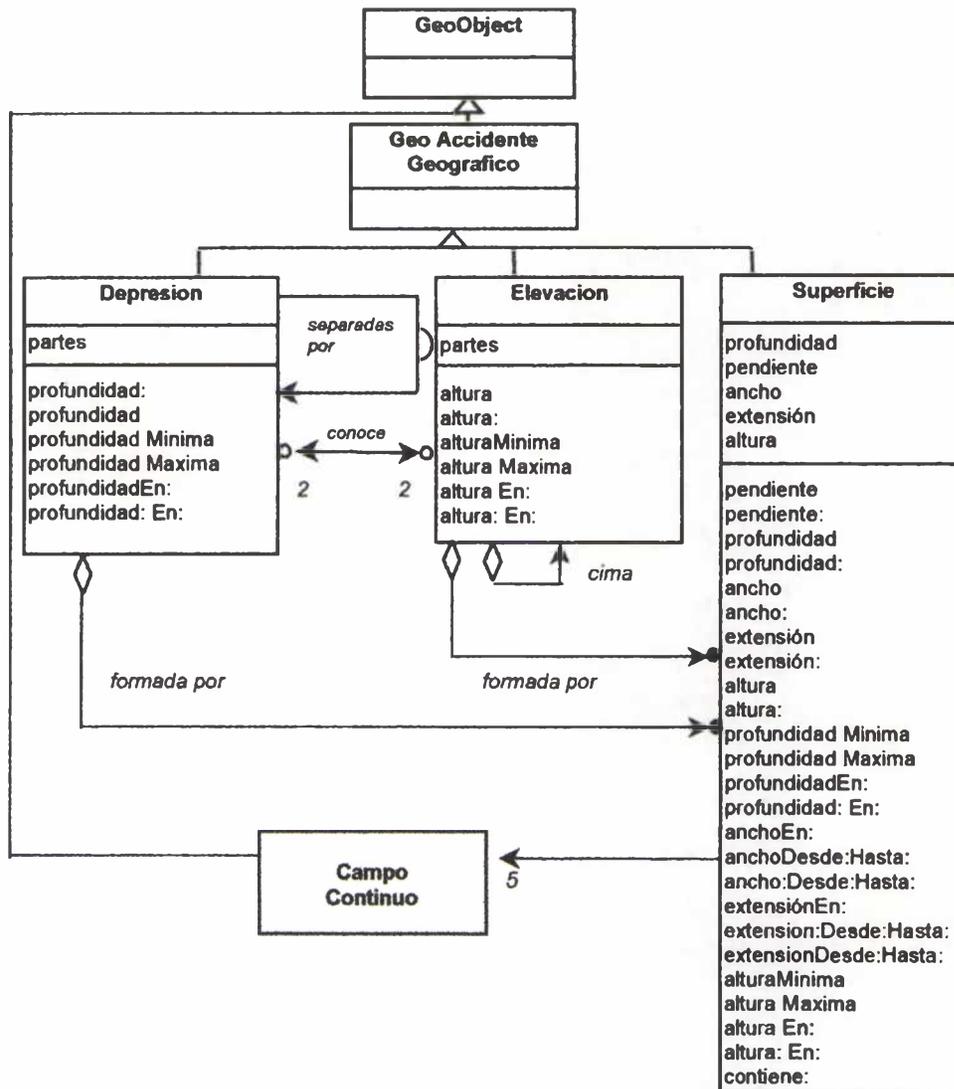


Figura 4.7 Modelo Definitivo de Accidentes Topográficos

Las modificaciones realizadas al modelo preliminar mostrado en la figura 4.5 son:

- En Superficie se agregaron los conceptos de ancho, extensión y altura con las operaciones correspondientes
- En Depresión y Elevación, el atributo partes es el que mantiene el conjunto de Superficies que definen el accidente topográfico.
- La nueva relación de composición entre Depresión/Elevación y Superficie permite la eliminación de las relaciones de Depresión/Elevación con el Campo Continuo, pues ahora todo se define a partir de la clase Superficie.

Las modificaciones planteadas provocan cambios en la definición de las operaciones y aparición de nuevas operaciones. Entonces, debemos observar cómo se definen las operaciones con una nueva especificación de las mismas:

**Superficie**

ancho {Retorna el campo continuo de ancho}

return ancho

ancho: aContinuousField {Modifica el campo continuo de ancho}

ancho: = aContinuousField

extensión {Retorna el campo continuo de extensión}

return extensión

extensión: aContinuousField {Modifica el campo continuo de extensión}

extensión: = aContinuousField

altura {Retorna el campo continuo de altura}

return altura

altura: aContinuousField {Modifica el campo continuo de altura}

altura: = aContinuousField

pendiente: aNumber {Modifica la pendiente}

pendiente: = aNumber

pendiente {Retorna la pendiente}

return pendiente

profundidad: aContinuousField {Modifica el campo continuo profundidad}

profundidad: = aContinuousField

profundidad {Retorna el campo continuo profundidad}

return profundidad

profundidadMinima {Retorna la profundidad minima de la depresión}

return profundidad minima

profundidadMaxima {Retorna la profundidad minima de la depresión}

return profundidad máximo

profundidadEn: aPosition {Retorna el valor de una profundidad en una aPosition determinada}

return (profundidad buscar: aPosition)

profundidad: aReal En: aPosition {Modifica el valor de una profundidad en una aPosition determinada}

(profundidad buscar: aPosition) modificar: aReal

anchoEn: aPosition {Retorna el ancho en aPosition}

return (ancho buscar: aPosition)

---

```

anchoDesde:aPosition1 Hasta:aPosition2 {Retorna el ancho desde aPosition1 hasta
aPosition2}

```

```

return (calcular (ancho buscar:aPosition1) (ancho buscar:aPosition2))

```

```

ancho:aReal Desde:aPosition1 Hasta:aPosition2 {Modifica el segmento de ancho con aReal
entre aPosition1 hasta aPosition2 }

```

```

(segment (ancho buscar:aPosition1) (ancho buscar:aPosition2)) modificar:aReal

```

```

extensiónEn:aPosition {Retorna extensión en aPosition}

```

```

return (extensión buscar:aPosition)

```

```

extensionDesde:aPosition1 Hasta: aPosition2 {Retorna la extensión desde aPosition1 hasta
aPosition2}

```

```

return (calcular (extensión buscar:aPosition1) (ancho buscar:aPosition2))

```

```

extensión:aReal Desde:aPosition2 Hasta:aPosition2 {Modifica el segmento de extensión con
aReal entre aPosition1 hasta aPosition2 }

```

```

(segment (extensión buscar:aPosition1) (ancho buscar:aPosition2)) modificar:aReal

```

```

alturaMinima {Retorna el altura minina}

```

```

return altura mínima

```

```

altura Maxima {Retorna el altura máxima}

```

```

return altura máxima

```

```

altura En: aPosition {Modifica el altura en aPosition}

```

```

return (altura buscar:aPosition)

```

```

altura: aReal En:aPosition {Modifica el altura con aReal en aPosition}

```

```

(altura buscar:aPosition) modificar:aReal

```

```

contiene: aPosition {Retorna True si aPosition está en la location de la superficie}

```

```

return (aPosition isIn: self Location)

```

```

Depresión

```

```

profundidad:aContinuousField {Modifica la profundidad}

```

```

pendientes ← medir pendientes de aContinuousField

```

```

for each p en pendientes

```

```

    subcampo ← aContinuousField armarSubcamposBy: p

```

```

    partes agregar: subcampo

```

```

profundidad {Retorna el campo continuo profundidad}

```

```

for each p en partes

```

```

    result agregar: (p profundidad)

```

```

return result

```

```

profundidadMinima {Retorna la profundidad minima de la depresión}
minimo:= 10000 m.
for each p en partes
    m ← p profundidadMinima
    if m < mínimo then minimo:=m
return mínimo

```

```

profundidadMaxima {Retorna la profundidad minima de la depresión}
maximo:= 0 m.
for each p en partes
    m ← p profundidadMaxima
    if m > máximo then maximo:=m
return máximo

```

```

profundidadEn:aPosition {Retorna el valor de una profundidad en una aPosition determinada}
for each p en partes
    if (p contiene: aPosition) then return (p profundidadEn:aPosition)

```

```

profundidad:aReal En:aPosition {Modifica el valor de una profundidad en una aPosition
determinada}
for each p en partes
    if (p contiene: aPosition) then (p profundidad:aReal En:aPosition)

```

```

Elevación
altura:aContinuousField {Modifica el campo continuo altura}
pendientes ← medir pendientes de aContinuousField
for each p en pendientes
    subcampo ← aContinuousField armarSubcamposBy: p
partes agregar: subcampo

```

```

altura {Retorna el campo continuo altura}
for each p en partes
    result agregar: (p altura)
return result

```

```

alturaMinima {Retorna el altura minima de la elevación}
minimo:= 10000 m.
for each p en partes
    m ← p alturaMinima
    if m < mínimo then minimo:=m
return mínimo

```

alturaMaxima {Retorna el altura maxima de la elevación}

maximo: = 0 m.

for each p en partes

    m ← p alturaMaxima

    if m > máximo then maximo: =m

return máximo

alturaEn:aPosition {Retorna el valor del altura en una aPosition determinada}

for each p en partes

    if (p contiene: aPosition) then return (p alturaEn:aPosition)

altura:aReal En:aPosition {Modifica el valor del altura en una aPosition}

for each p en partes

    if (p contiene: aPosition) then (p altura:aReal En:aPosition)

Las ventajas de esta arquitectura se plantea en cuatro puntos importantes:

1. Todo el manejo que se refiere a los conceptos de altura, profundidad, ancho, extensión y pendiente con respecto a un plano de referencia, se deriva en la arquitectura de Campo Continuo [Gordillo 98]
2. Permite el manejo de la cuenca como un conjunto de superficies continuas.
3. Permite la diferenciación topográfica entre llanuras, elevaciones y depresiones. Este tratamiento ayuda a seguir manejando los conceptos clásicos de profundidad y altura asociados a depresión y elevación respectivamente.
4. En todos los casos, la modelización de los atributos con campos continuos permitirá preguntar, por ejemplo, altura en un determinado punto de la elevación, sin necesidad de "atarnos" siempre a la altura máxima con la cual se caracteriza a las elevaciones, o la profundidad máxima en el caso de las depresiones

Aprovechando la posibilidad de discriminar entre elevación y depresión, en el capítulo 3, se describió una clasificación de las depresiones y las elevaciones. Según la forma y la profundidad/altura, las depresiones/elevaciones adquieren nombres que las identifican. A su vez, por procesos de acumulación de sedimentos, en ambos casos pueden cambiar su forma, lo cual implica un posible cambio de nombre. Un diseño propuesto se muestra en las figuras 4.8 y 4.9, donde se usa el principio de herencia [Rumbaugh et. al. 91], que permitirá la subclasificación de Depresión/Elevación donde cada clase tiene características especiales. La única desventaja de esta arquitectura es que si alguna Depresión/Elevación cambia su forma (lo cual implica un cambio de nombre) deberá mudar todo su comportamiento de una clase a otra. Es decir cambiará la clase a la que pertenece.

Existe otra alternativa posible para esta arquitectura. Definir solamente la clase Elevación/Depresión, y cuando se está interesado en un determinado tipo de estos accidentes, se efectúa una consulta a la base de datos y se obtiene un conjunto de instancias que responden a características comunes. La ventaja de

esta arquitectura es que no se tendrá el problema de mudar instancias de una clase a otra, pero estaremos perdiendo la posibilidad de manejar clases que a través de su semántica, indican qué tipos de accidentes representan.

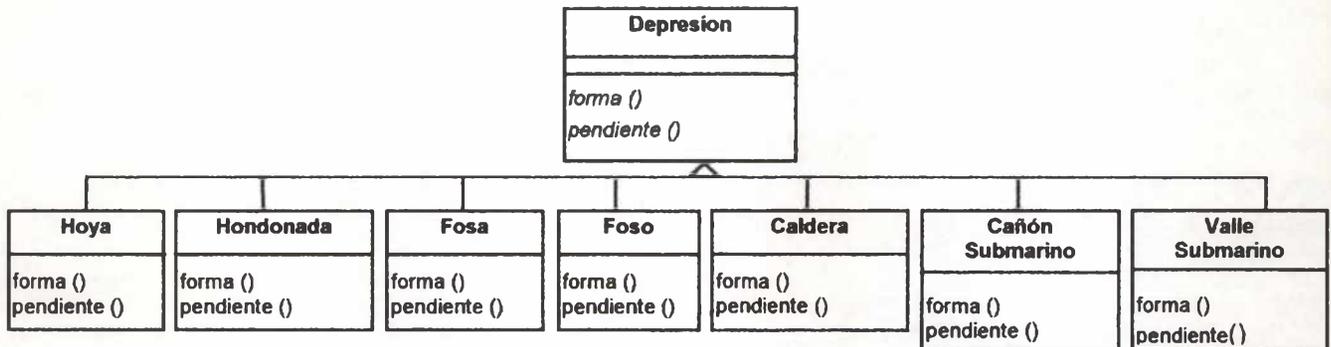


Figura 4.8 Modelo de Depresión y su clasificación

La especificación de las operaciones de Forma permite analizar las diferencias de forma de la depresión

**Hoya**

forma {Retorna la forma de la pendiente}  
return forma elíptica

**Hondonada**

forma {Retorna la forma de la pendiente}  
return forma ancha y larga

pendiente {Retorna la forma de la inclinación}  
return suave

**Fosa**

forma {Retorna la forma de la pendiente}  
return forma larga y angosta

pendiente {Retorna la forma de la inclinación}  
return escarpada

**Cañón Submarino**

forma {Retorna la forma de la pendiente}  
return larga y angosta

pendiente {Retorna la forma de la inclinación}  
return forma V

**Cañón Oceánico**

forma {Retorna la forma de la pendiente}  
return larga y angosta

pendiente {Retorna la forma de la inclinación}  
return forma U

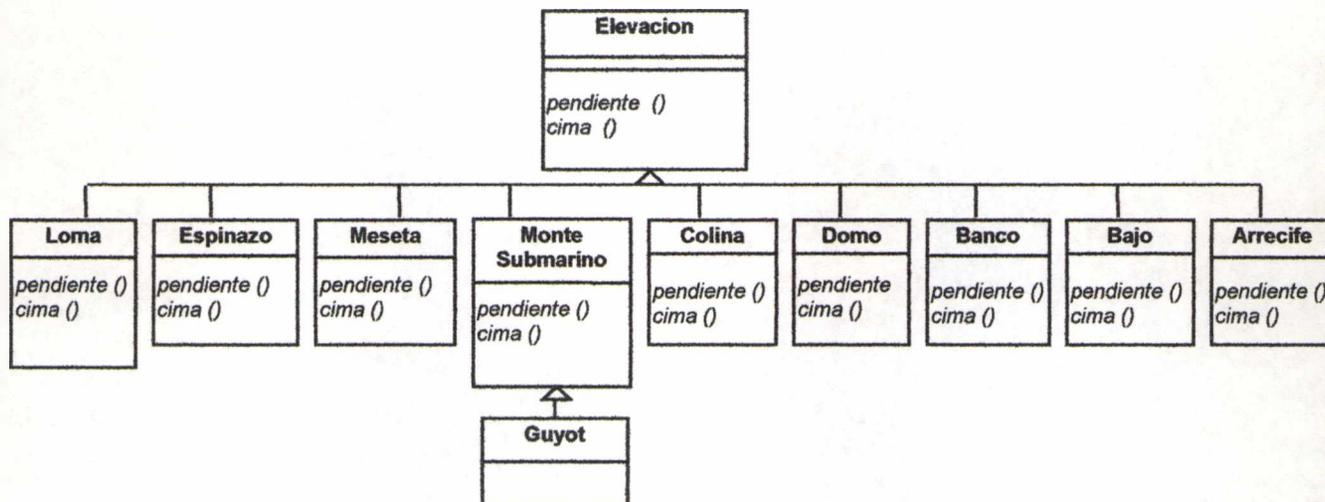


Figura 4.9 Modelo de Elevación y su clasificación

Nuevamente se puede recurrir a observar las operaciones para ver los cambios en la topografía.

**Forma Elevación**

**Loma**

cima {Retorna la forma de la cima}  
 return larga y ancha  
 pendiente {Retorna la forma de la inclinación}  
 return poco pronunciada

**Espinazo**

cima {Retorna la forma de la cima}  
 return larga y angosta  
 pendiente {Retorna la forma de la inclinación}  
 return escarpada

**Meseta**

cima {Retorna la forma de la cima}  
 return horizontal  
 pendiente {Retorna la forma de la inclinación}  
 return escarpada

**Monte Submarino**

cima {Retorna la forma de la cima}  
 return puntiaguda

**Domo**

cima {Retorna la forma de la cima}  
 return forma roma  
 pendiente {Retorna la forma de la inclinación}  
 return escarpada

**Banco**

cima {Retorna la forma de la cima}  
 return plana

### 4. 2 .3 Costas

La costa es la zona de transición entre el mar y la tierra. La figura 4.10 muestra el perfil de la extensión continental (A) y marca claramente a partir de donde comienza la costa.

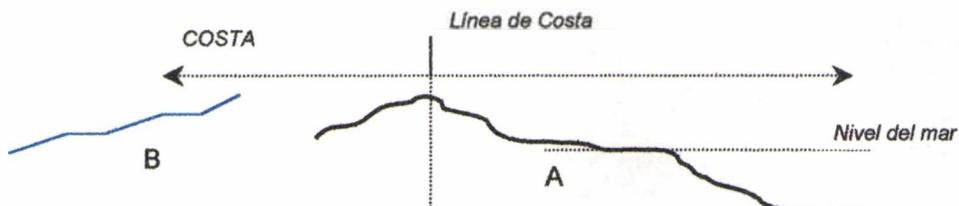


Figura 4.10 Perfil de la Extensión Continental

Si se observa el perfil (B), se puede decir que es una aproximación de la forma de la costa. Es decir, la costa se puede caracterizar con 1 o más superficies, con lo cual se propone un modelo usando el principio de composición [Rumbaugh et. al. 91] y la Clase Superficie (descrita previamente) mostrado en la figura 4.11.

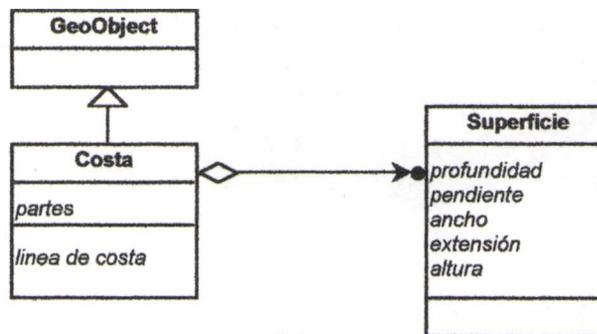


Figura 4.11 Modelo Preliminar de Costa

Esta estructura puede responder a un comportamiento muy importante, que es el de marcar el límite con el resto de las formaciones de la extensión continental, y lo hace a través de la operación línea de costa

**línea de costa** {Retorna el límite que la separa del resto de la extensión continental}  
 máximo:=0.

```

for each p in partes
    m ← p alturaMaxima
    if m > máximo then máximo := m.
return máximo
    
```

Existen diferentes procesos oceánicos que modifican la forma de la costa según la descripción en el capítulo 3. El proceso dominante es el acción de las olas; y los secundarios son el tipo y la naturaleza de las rocas que la componen, movimientos tectónicos y el clima. La evolución de una costa puede clasificarse como sumergente o emergente y, a su vez, existen varias formas que puede adoptar. Los procesos pueden hacer que evolucione y cambie su forma.

El diseño orientado a objetos provee el patrón de diseño State [Gamma et al. 94], que permite representar conceptualmente este tipo de problemas, desacoplando la forma de la costa misma. Los modelos resultados se muestran en las figuras 4.12 y 4.13.

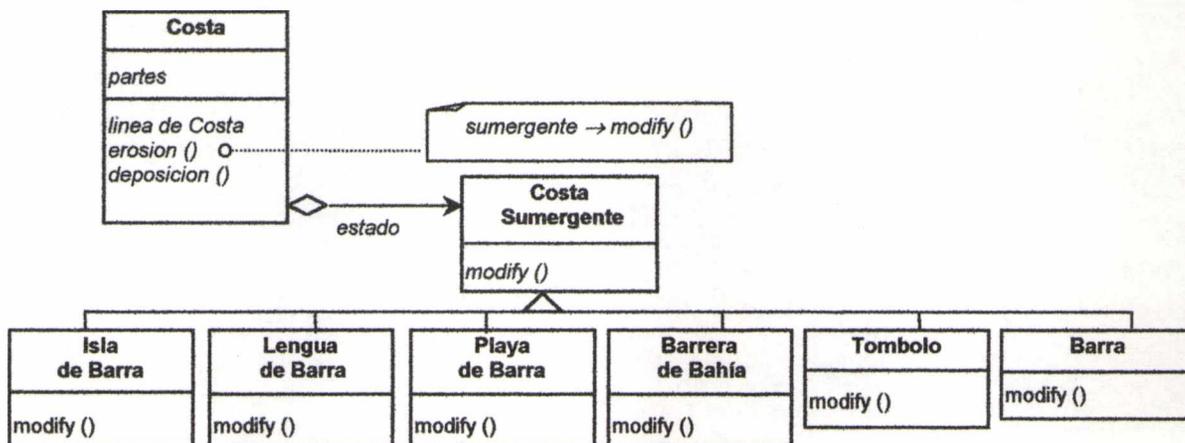


Figura 4.12 Modelo de Costa Sumergente

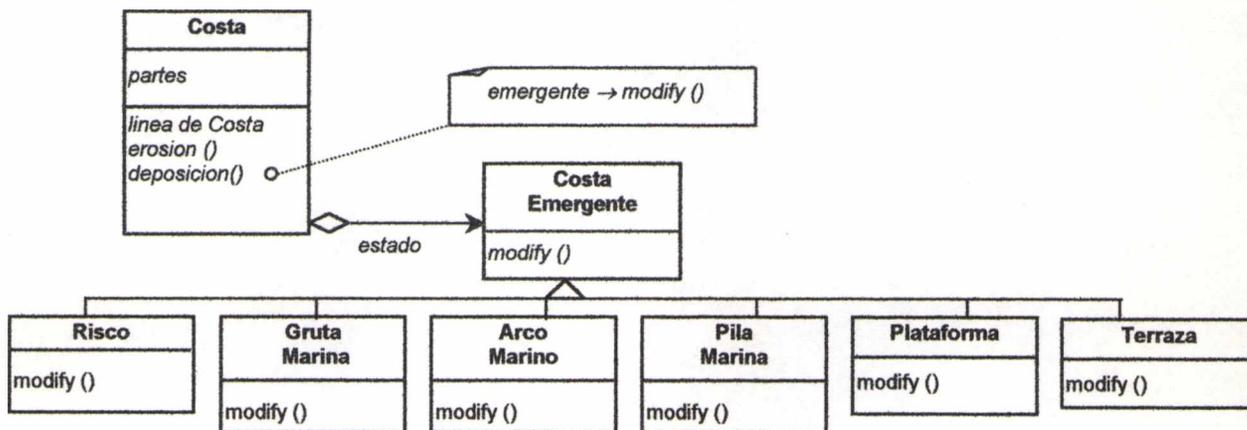


Figura 4.13 Modelo de Costa Emergente

La costa es un accidente topográfico que soporta dos tipos de procesos modificadores: la deposición y la erosión. Estos procesos son los que modifican su estado. Con lo cual cada vez que debe responder a estas acciones, dependerá de su estado. En algunas ocasiones, la respuesta producirá un cambio de estado (equivalente a un cambio de forma topográfica). Para entender los cambios, se puede ver la especificación de operaciones.

Costa Sumergente

modify {Propaga la modificación de la forma topográfica si es necesario}

if (hay cambios en la topografía)

then modify

Playa de Barra

modify {Modifica la forma topográfica}

costa cambiar: Lengua de Barra

Lengua de Barra

modify {Modifica la forma topográfica}

costa cambiar: Barrera de Bahía

Costa Emergente

```

modify {Propaga la modificación de la forma topográfica si es necesario}
if (hay cambios en la topografía)
    then modify
    
```

Gruta Marina

```

modify {Modifica la forma topográfica}
costa cambiar: Arco Marino
    
```

Arco Marino

```

modify {Modifica la forma topográfica}
costa cambiar: Pila Marina
    
```

Pila Marina

```

modify {Modifica la forma topográfica}
costa cambiar: Plataforma
    
```

Plataforma

```

modify {Modifica la forma topográfica}
costa cambiar: Terraza
    
```

La separación de costas entre sumergentes y emergentes permitirá preguntar como está la costa con respecto al nivel del mar, sin depender "siempre" de las medidas provistas por la Clase Superficie. El modelo definitivo se muestra en la figura 4.14

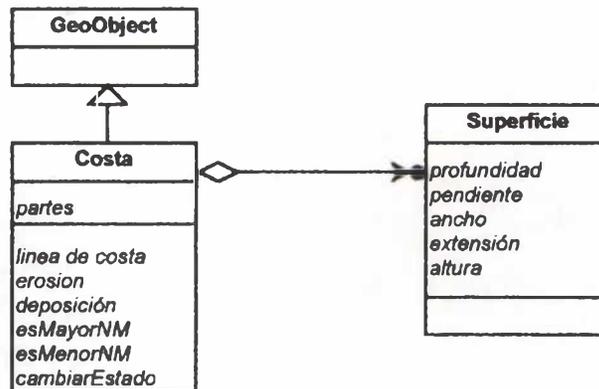


Figura 4.14 Modelo Definitivo de Costa

La especificación de las operaciones de GeoCosta ayuda a entender cómo se comporta el estado en esta clase.

```

esMayorNM {Si la costa es emergente, es superior al NM}
return (costa estado es emergente)
    
```

```

esMenorNM {Si la costa es sumergente, es inferior al NM}
return (costa estado es sumergente)
    
```

cambiarEstado

```

if línea altura es mayorNM
    then costa estado: emergente
    else costa estado: sumergente
    
```

### 4. 2. 4 Orilla y Playa

Como fue descrito en el capítulo 3, la orilla y la playa están muy relacionadas, y constituyen la continuación de la costa en lo que se considera la extensión continental. Puede considerarse que ambas son una inclinación hacia el mar que poseen diferentes elevaciones, depresiones y llanos, producto del avance/retroceso del mar en esa zona. La figura 4.15 muestra un perfil de la extensión continental denotando las diferentes partes de la playa y la orilla, los límites establecidos y los Accidentes que las componen.

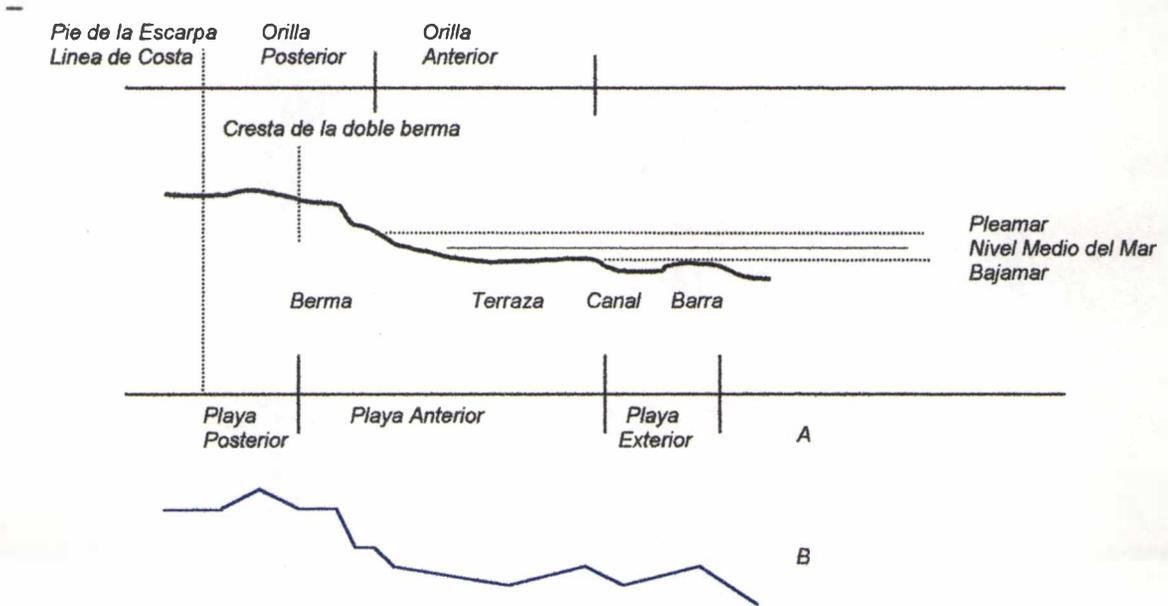


Figura 4.15 Perfil de la Extensión Continental

En la parte (B) del perfil se muestra una poligonal que marca la forma de la playa y la orilla. Por lo que, al igual que en la costa, se puede pensar que la playa y la orilla están formadas por superficies. Se plantea entonces, un primer modelo de las mismas que se muestra en la figura 4.16

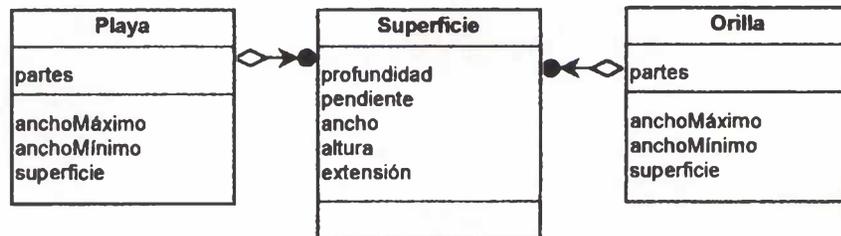


Figura 4.16 Modelo Preliminar de Playa / Orilla

La especificación de sus operaciones es la misma para ambas clases, y es la siguiente:

---

Playa / Orilla

anchoMáximo {Calcula el máximo ancho de la playa/orilla}

maximo:=0

for each p in partes

    m ← p AnchoMaximo

    if m > máximo then maximo:=m

return máximo

anchoMínimo {Calcula el mínimo ancho de la playa/orilla}

mínimo:=1000

for each p in partes

    m ← p AnchoMinimo

    if m < mínimo then mínimo:=m

return mínimo

superficie {Calcula la superficie de la playa/orilla}

superficie:=0

for each p in partes

    superficie += sum (p superficie)

Pero según el esquema de la figura 4.14, cada clase tiene sus subdivisiones con límites bien marcados, entre los cuales se hallan la línea de pleamar y bajamar. Éstas últimas son datos que se calculan para conocer con exactitud cuanto avanza/retrocede el mar en esta zona de transición. A su vez, tanto la orilla como la playa tienen "pequeños" accidentes topográficos que las forman. La figura 4.17 muestra el modelo completo considerando las subdivisiones como atributos de las clases, e incluyendo que cada una tenga conocimiento de las líneas de nivel del mar, que se modelan como Location. Cada una de los atributos que determinan la división de la región son una composición de superficies.

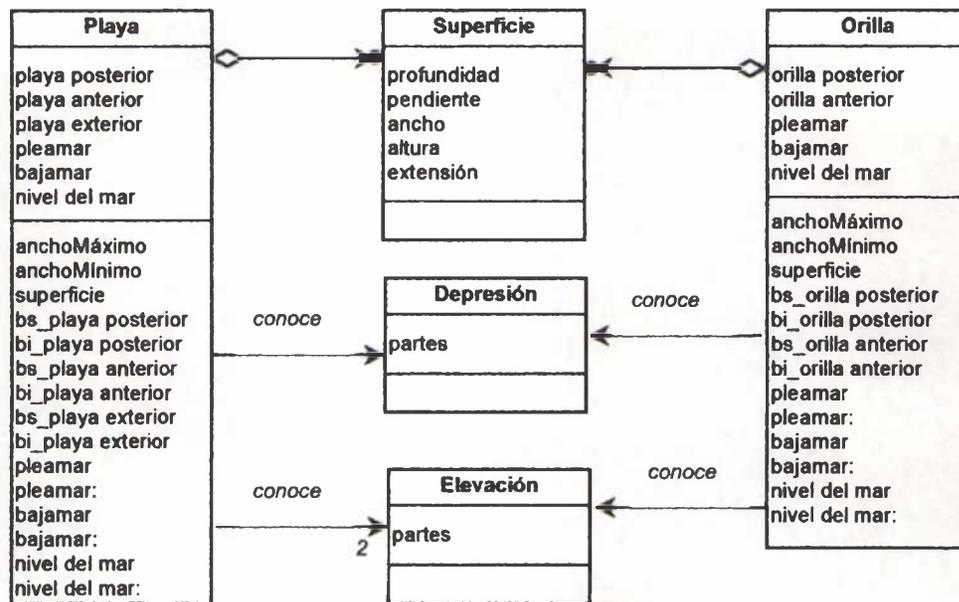


Figura 4.17 Modelo Definitivo de Playa / Orilla

Las relaciones de conocimiento que se establecen de la playa y la orilla hacia la depresión y la elevación podrían obviarse, pues como ya se describió la depresión y la elevación se forman a partir de las superficies, que en este caso marcan la forma de la playa. La figura 4.18 muestra el perfil de la playa marcado en azul, las elevaciones en rojo y la depresión en verde. Puede verse que se tendrá una superposición de dos o más superficies. En el mejor de los casos, todas tendrán las mismas mediciones, y en el peor de los casos, cada una con mediciones diferentes. En todos los casos, se deberá prestar atención al tratamiento de las superficies.



Figura 4.18 Perfil de la Playa con los Accidentes Topográficos

A nivel de instancias, la superficie llana debería recibir el nombre de escarpa, la depresión, el nombre de canal y las dos elevaciones, barra y berma.

La influencia de contemplar las subdivisiones puede verse en la especificación de las operaciones. Para definir las operaciones se definieron el borde superior e inferior de una playa. Estos se interpretan de la siguiente manera: Si se observa la figura 4,18 , la playa tiene una inclinación hacia la zona marítima, por lo que se considera que la parte más alta de la playa es el borde superior y la más baja, es el borde inferior. Estos dos nuevos conceptos agregados permiten definir los límites de las subdivisiones.

**Playa**

**bs\_playa posterior** {Retorna la Location que marca el borde superior de la playa posterior}  
maximo:=0

```
for each p in playa posterior
    m ← p alturaMáxima
    if m > máximo then maximo:=m.
return máximo
```

**bi\_playa posterior** {Retorna la Location que marca el borde inferior de la playa posterior}  
minimo:=1000

```
for each p in playa posterior
    m ← p alturaMinima
    if m < mínimo then mínimo:=m.
return mínimo
```

**bs\_playa anterior** {Retorna la Location que marca el borde superior de la playa anterior}  
maximo:=0

```
for each p in playa anterior
    m ← p alturaMáxima
    if m > máximo then maximo:=m.
return máximo
```

**bi\_playa anterior** {Retorna la Location que marca el borde inferior de la playa posterior}  
return bajamar

**bs\_playa exterior** {Retorna la Location que marca el borde superior de la playa exterior}  
return bajamar

**bi\_playa exterior** {Retorna la Location que marca el borde inferior de la playa exterior}  
maximo:=0

```
for each p in playa exterior
    m ← p alturaMáxima
    if m > máximo then maximo:=m.
return máximo
```

**pleamar** {Retorna la Location que marca la línea de pleamar}  
return pleamar

**pleamar: aLocation** {Modifica con una location la línea de pleamar}  
pleamar:=aLocation

**bajamar** {Retorna la Location que marca la línea de bajamar}  
return bajamar

**bajamar: aLocation** {Modifica con una Location la línea de pleamar}  
bajamar: aLocation

**nivel del mar** {Retorna la Location que marca la línea de nivel del mar}  
return nivel del mar

---

nivel del mar: aLocation {Modifica con una Location la línea de nivel del mar}  
nivel del mar: = aLocation

#### Orilla

bs\_orilla posterior {Retorna la Location que marca el borde superior de la orilla posterior}

maximo: =0

for each p in orilla posterior

    m ← p alturaMáxima

    if m > máximo then maximo: =m.

return máximo

bi\_orilla posterior {Retorna la Location que marca el borde inferior de la orilla posterior}

return pleamar

bs\_orilla anterior {Retorna la Location que marca el borde superior de la orilla anterior}

return pleamar

bi\_orilla anterior {Retorna la Location que marca el borde inferior de la orilla posterior}

return bajamar

pleamar {Retorna la Location que marca la línea de pleamar}

return pleamar

pleamar: aLocation {Modifica con una location la línea de pleamar}

pleamar: =aLocation

bajamar {Retorna la Location que marca la línea de bajamar}

return bajamar

bajamar: aLocation {Modifica con una Location la línea de pleamar}

bajamar: aLocation

nivel del mar {Retorna la Location que marca la línea de nivel del mar}

return nivel del mar

nivel del mar: aLocation {Modifica con una Location la línea de nivel del mar}

nivel del mar: = aLocation

### 4. 2. 5 Margen Continental

La margen continental es una extensión del continente y es la continuación de la zona de playa. La figura 4.19 muestra la extensión continental y la ubicación de la margen continental, junto con sus divisiones.

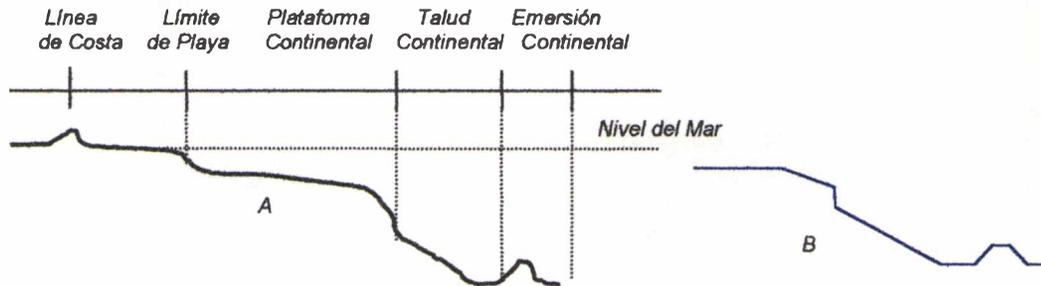


Figura 4.19 Perfil de la Extensión Continental

De la misma manera que se modelaron la playa y la costa, y observando el perfil (B) de la figura 4.19, la margen continental puede modelarse como una combinación de superficies. Usando el principio de composición [Rumbaugh et. al. 91], la figura 4.20 muestra el modelo preliminar de margen continental.

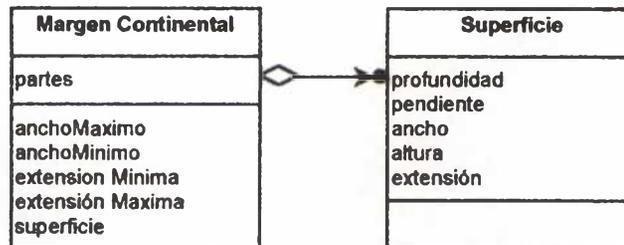


Figura 4.20 Modelo Preliminar de Margen Continental

La especificación de las operaciones es sencilla.

```

ancho Mínimo {Retorna el ancho mínimo en la margen continental}
minimo: = 1000
for each p in partes
    M ← p ancho mínimo
    If m < mínimo then minimo: =m
return mínimo
    
```

```

ancho Máximo {Retorna el ancho máximo en la margen continental}
minimo: = 0
for each p in partes
    M ← p ancho máximo
    If m > máximo then máximo: =m
return máximo
    
```

```

extensión Mínimo {Retorna la extensión Minima de la margen continental}
mínimo:= 1000
for each p in partes
    M ← p extensión mínimo
    If m < mínimo then mínimo:=m
return mínimo
    
```

```

extensión Máximo {Retorna la extensión Maxima de la margen continental}
máximo:=0
for each p in partes
    M ← p ancho máximo
    If m > máximo then máximo:=m
return máximo
    
```

```

superficie {Retorna la superficie de la Margen Continental}
for each p in partes
    Superficie += sum (p superficie)
    
```

Pero la margen continental presenta divisiones: Plataforma Continental, Talud Continental y Emersión Continental. Todas tienen características similares y cada una con límites establecidos pero no estáticos, puesto que depende de la forma y la profundidad, y cualquier proceso de erosión puede modificarlos. La figura 4.21 muestra el modelo definitivo

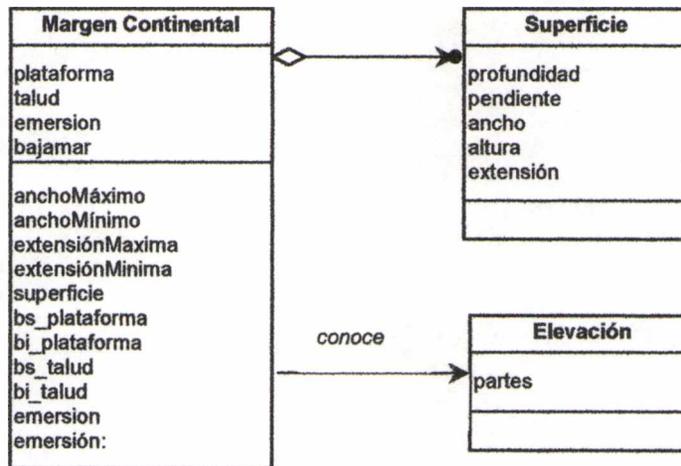


Figura 4.21 Modelo Definitivo de Margen Continental

Cabe la misma aclaración que se hizo en playa/orilla con respecto a la relación conoce. Puede obviarse pues con la composición de superficies la misma se define. Sin embargo, a los fines semánticos es útil pues ayuda a saber que una elevación forma parte de la margen continental

La especificación de las operaciones es similar a la de playa/orilla.

```

bs_plataforma {Retorna la Location que marca el borde superior de la plataforma}
return bajamar
    
```

```

bi_plataforma {Retorna la Location que marca el borde inferior de la plataforma}
return bs_talud
    
```

```

bs_talud {Retorna la Location que marca el borde superior del talud}
máxima:=0
for each p in talud
    m ← p altura máxima
    If m > máximo then máximo:=m
return máximo

```

```

bi_talud {Retorna la Location que marca el borde inferior del talud}
mínimo:=1000
for each p in partes
    m ← p altura mínima
    If m < mínimo then mínimo:=m
return mínimo

```

```

emersión {Retorna la emersión}
return emersión

```

```

emersión: aElevacion {Modifica la Elevación}
emersión:=aElevacion

```

```

bajamar {Retorna la Location que marca la línea de bajamar}
return bajamar

```

```

bajamar: aLocation {Modifica con una Location la línea de pleamar}
bajamar: aLocation

```

#### 4. 2. 6 Falla

Una falla es un accidente topográfico que provoca una diferencia de altura en un misma región. Según la descripción del capítulo 3, se caracteriza por un plano, una inclinación, una dirección de movimiento y una extensión en kilómetros. El plano define dos superficies que son las que se manifiesta el movimiento de las subregiones que son afectadas por la falla.

En la superficie de la Tierra, la falla puede verse como un conjunto de puntos (latitud, longitud) que la define y dos puntos que define el comienzo y el final. Se define una clase que representa la falla con esa estructura y usando la propuesta de [Gordillo et. al. 97], la línea está definida por la Location [OpenGIS 96], sin embargo se relaciona la clase con dos Location adicionales para marcar el inicio y el final de la línea. La figura 4.22 muestra la clase definida.

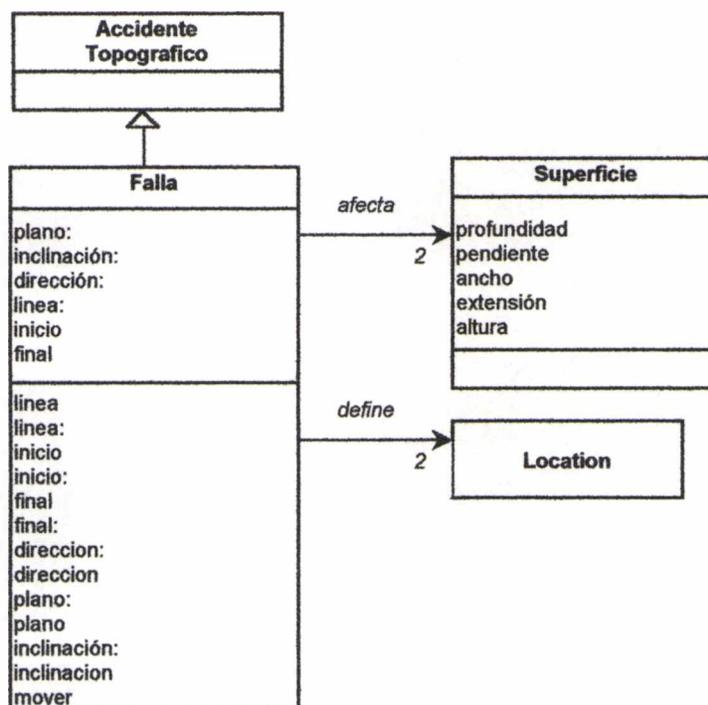


Figura 4.22 Modelo Preliminar de Falla

La especificación de las operaciones es simple.

línea {Retorna la línea que define sobre la superficie de la Tierra}  
return línea

línea:aLocation {Modifica la línea que defina sobre la superficie de la Tierra}  
inicio: = calcularInicio (aLocation)  
final: = calcularFinal (aLocation)  
línea: =aLocation

inicio {Retorna la Location que marca el inicio de la línea}  
return inicio

inicio:aLocation {Modifica con una Location el inicio de la línea}  
modificarLocation: línea Con:aLocation  
inicio: =aLocation

final {Retorna la Location que marca el final de la línea}  
return final

final:aLocation {Modifica con una Location el final de la línea}  
modificarLocation: línea Con:aLocation  
final: =aLocation

dirección: aDirection {Modifica la dirección de movimiento}  
dirección: =aDirection

dirección {Retorna la dirección de movimiento}  
return dirección

plano: aPlane {Modifica el plano de movimiento}  
plano: =aPlane

plano {Retorna el plano de movimiento}  
return plano

---

```
inclinación: anAngle {Modifica con un ángulo la inclinación del plano}
inclinación: =anAngle
```

```
inclinacion {Retorna la inclinación del plano}
return inclinación
```

```
mover {Propaga el cambio de altura por el movimiento}
for each s in superficie
    cambiarAltura: s
```

Pero las fallas se subclasifican según su inclinación y dirección en Normal, Inversa, de Desgarre, y de Cabalgamiento. A su vez, el tipo de falla más conocida es la de Transformación (caso especial de falla de desgarre). La Normal y la Inversa pueden formar un escarpe, la Normal puede formar fosa tectónica y horst y la de Transformación formar valle de grietas, accidentes topográficos propios por la formación de fallas. Esto determina que las fallas tengan diferentes comportamientos, y aplicando el principio de herencia [Rumbaugh et. al. 91] se puede lograr una jerarquía como la que muestra la figura 4.23. Previamente se planteó que el plano define dos superficies que son las que se manifiesta el movimiento de las subregiones afectadas por la falla. Estas superficies se conocen como: footwall y hanging wall, y según el tipo de falla, determina la dirección de movimiento. Por lo tanto, de la definición dada en la figura 4.22 se eliminará el atributo dirección y el método que permite modificarla.

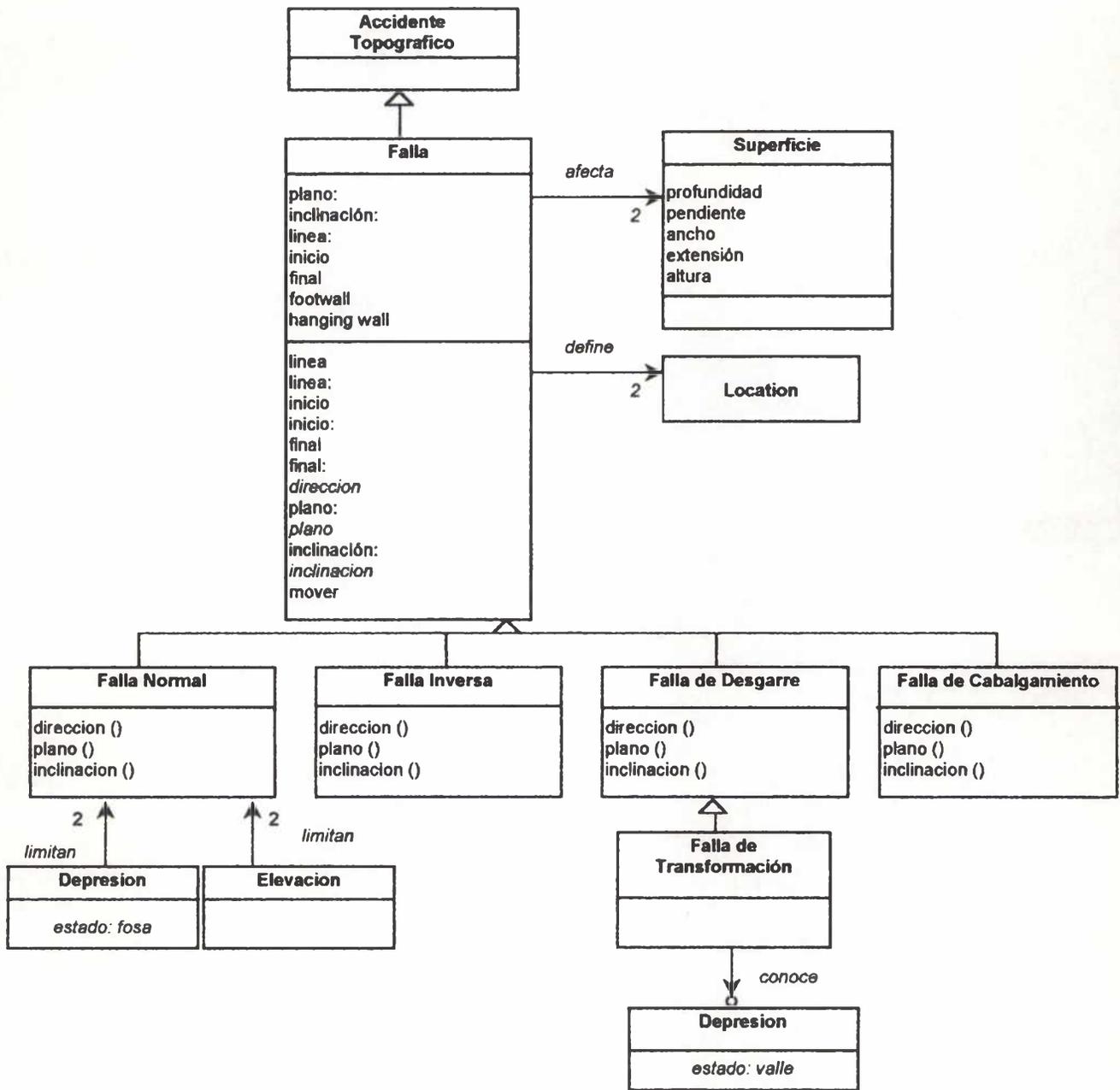


Figura 4.23 Modelo Definitivo de Falla

La especificación de las operación permite ver la diferencia de comportamiento entre las diferentes formas de las fallas

**Falla**  
*mover* {Propaga el cambio de altura por el movimiento}  
 (alturafw, alturahw) ← self actuar  
 footwall cambiarAltura: alturafw  
 hangingwall cambiarAltura: alturahw

**Falla Normal**  
*direccion* {Retorna la dirección de movimiento}  
 return vertical  
*inclinación* {Retorna la inclinación de movimiento }  
 return casi vertical

actuar {Efectua el movimiento de la falla}  
 hangingwall moverAbajoCon:dirección  
 alturahw ← disminuir altura  
 footwall moverArribaCon: (dirección inversa)  
 alturafw ← aumentar altura  
 return (alturahw, alturafw)

**Falla Inversa**

inclinación {Retorna la inclinación de movimiento }  
 return normal

actuar {Efectua el movimiento de la falla}  
 hangingwall moverArribaCon:dirección  
 alturahw ← aumentar altura  
 footwall moverAbajoCon: (dirección inversa)  
 alturafw ← disminuir altura  
 return (alturahw, alturafw)

**Falla de Desgarre**

dirección {Retorna la dirección de movimiento}  
 return horizontal  
 actuar {Efectua el movimiento de la falla}  
 hangingwall moverLateralCon:dirección  
 alturahw ← aumentar altura  
 footwall moverLateralCon: (dirección inversa)  
 alturafw ← disminuir altura  
 return (alturahw, alturafw)

**Falla de Cabalgamiento**

dirección {Retorna la dirección de movimiento}  
 return horizontal  
 inclinación {Retorna la inclinación de movimiento }  
 return casi horizontal  
 actuar {Efectua el movimiento de la falla}  
 hangingwall moverArribaCon:dirección  
 alturahw ← aumentar altura  
 footwall moverAbajoCon: (dirección inversa)  
 alturafw ← disminuir altura  
 return (alturahw, alturafw)

Cabe una aclaración con respecto al modelo. Se plantearon 3 relaciones con dos depresiones y una elevación a partir de las fallas normal y de desgarre. Si se observa la figura 4.24 con gráficos de una depresión y una elevación, se distinguieron con azul y rojo las dos fallas participantes. En realidad se podría optar por obviar la relación con Depresión y Elevación, pues la relación con las superficies que afecta una falla definirían la misma situación. Resulta cómodo seguir contando con los conceptos semánticos de elevación y depresión, pero deberá tenerse en cuenta que existe una superficie común entre las dos fallas.



Figura 4.24 Depresión y Elevación formadas por la Falla

No debe obviarse, sin embargo la relación de la falla de transformación con la depresión, pues en ese caso la relación se establece pues cuando se forman los valles con la dorsal oceánica, fuertes movimientos de presión pueden provocar las rupturas del valle en secciones, que se conectan por el sistema de fallas que se forma.

Las depresiones que limitan las fallas normales se conocen con el nombre de fosa tectónica y horst. A nivel de instancias, es recomendable el uso de estos nombres para identificar los objetos con más claridad

### 4. 2. 7 Minerales Volcánicos

El material volcánico es una composición de minerales. Los minerales se caracterizan por nombre, estructura atómica y composición química, y cuando se combinan, se manifiestan en estado gaseoso, liquido y sólido. Esta combinación muta entre los estados a través de transformaciones provocadas por las altas temperaturas a la cual está sometida. Para el dominio estudiado, solamente se prestará atención a los minerales volcánicos.

La figura 4.25 muestra el modelo conceptual propuesto usando el principio de composición [Rumbaugh et. al. 91] que permite describir al material volcánico como una combinación de materiales volcánicos, y el patrón de diseño State [Gamma et al. 94], que permite la asociación de los minerales volcánicos (como un conjunto) con su comportamiento de acuerdo a su estado. Esta arquitectura permite un desacoplamiento entre la combinación de materiales y el comportamiento.

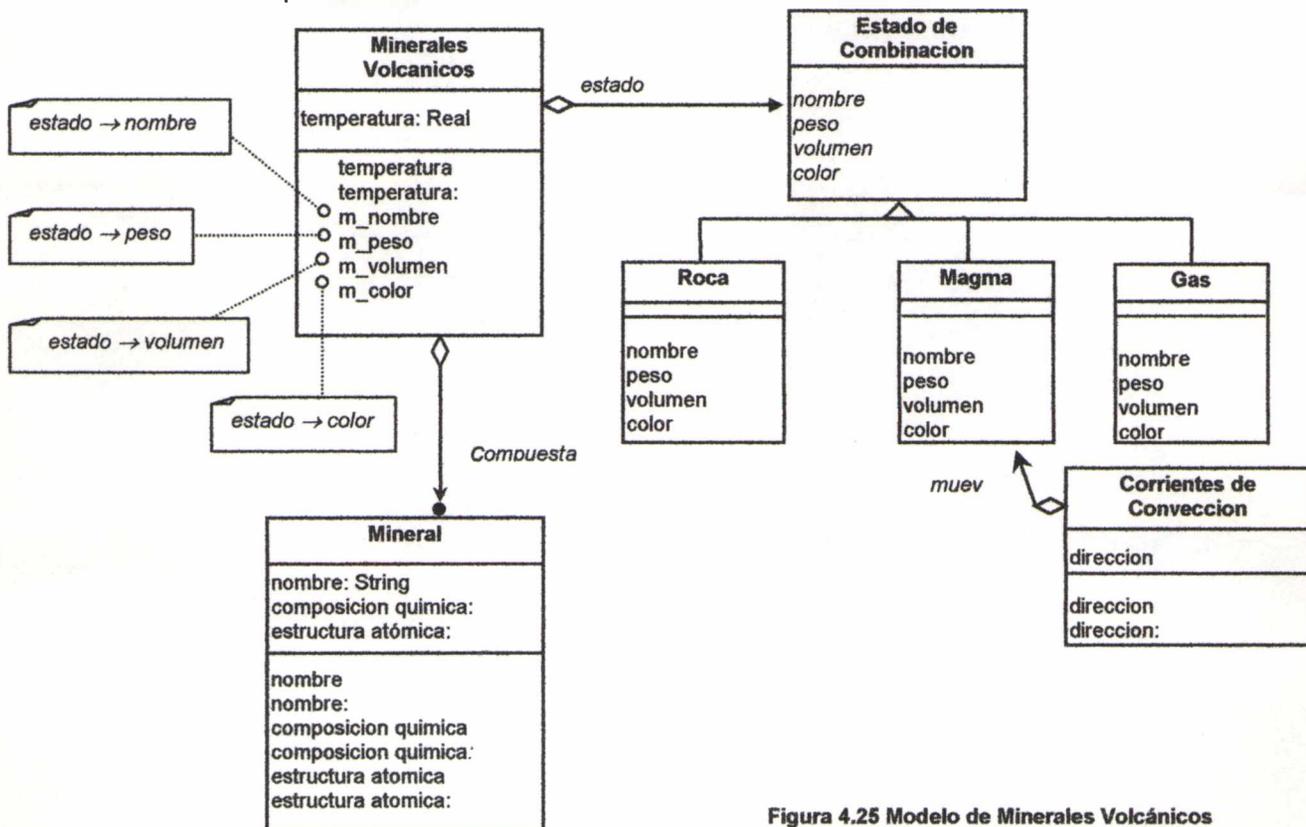


Figura 4.25 Modelo de Minerales Volcánicos

En el modelo también se incluyeron las corrientes de convección, que arrastran el magma y son los que generan las reacciones del magma en la placa. Son los generadores de los procesos del crecimiento continental.

### 4. 2. 8 Límites

En las placas, sus movimientos se manifiestan a través de sus límites. Los límites se subclasifican según los cambios que producen a las placas que conocen, en Divergente, Convergente y de Transformación. Como las placas no conocen solamente un tipo de límite, sino una combinación de ellos, el patrón de diseño Composite [Gamma et al. 94] y el principio de herencia [Rumbaugh et. al. 91] permiten modelar este tipo de estructura. El modelo se muestra en la figura 4.26. A su vez, el límite tiene asociado una línea que lo identifica dentro de la superficie terrestre, y una altura que determina la zona afectada. Como límite se modela como subclase de GeoObject y todo GeoObject cuenta con una Location [Gordillo et. al. 97], la línea puede obviarse de los atributos de Límite, y simplemente contar con el altura.

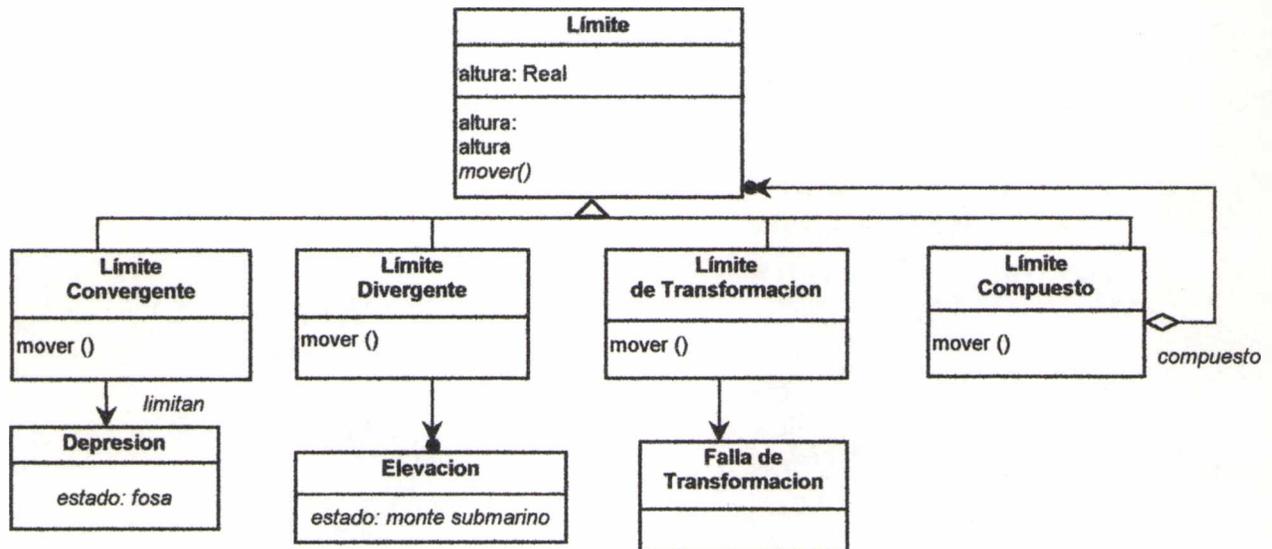


Figura 4.26 Modelo de Límite

Cada una de las subclases de Límite conoce un tipo de accidente topográfico distinto, que es el que responde a las influencias del magma procedente de la Tierra. Por cuestiones semánticas se continúa con el concepto de usar la elevación y la depresión. Eventualmente, se podría pensar en una relación con la clase Superficie.

La diferencia de comportamiento se puede ver en la especificación de las operaciones.

```

Límite
altura {Retorna el altura de la zona afectada}
return altura
    
```

```

altura:aReal {Modifica el altura de la zona afectada con aReal}
altura: =aReal
    
```

**Límite Divergente**

mover {el límite se mueve para producir una separación}  
dorsal crecer

**Límite Convergente** {el límite se mueve para producir una convergencia}

mover {el límite se mueve para producir una convergencia}  
depresión disminuir\_Profundidad

**Límite de Transformación**

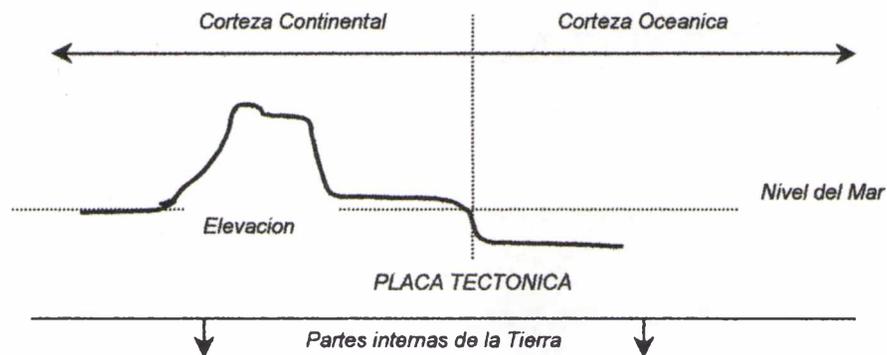
mover {el límite se mueve para producir una extensión de la falla}  
falla extender\_longitud

**Límite Compuesto**

mover {el límite se mueve para producir el movimiento que le corresponde a cada límite}  
para cada tipo de la composición mover

**4. 2. 9 Placa Tectónica**

La corteza terrestre esta dividida en bloques llamados placas. Las placas están formadas por corteza (continental, oceánica, o continental y oceánica). Las placas se identifican con un nombre, tiene accidentes topográficos, una velocidad y dirección de desplazamiento. La corteza está formada por rocas con diferentes estructuras químicas, peso, volumen y color. La figura 4.27 muestra un perfil de una placa tectónica



**Figura 4.27: Perfil de la Placa Tectónica**

Analizando la estructura de la placa, se puede establecer que las cortezas conocen accidentes topográficos como elevaciones, depresiones o superficies. Con lo cual, usando el principio de composición [Rumbaugh et. al. 91], se expresa la relación entre la corteza y la placa, y la de corteza con la clase Accidentes Topográficos mostrada en la figura 4.28

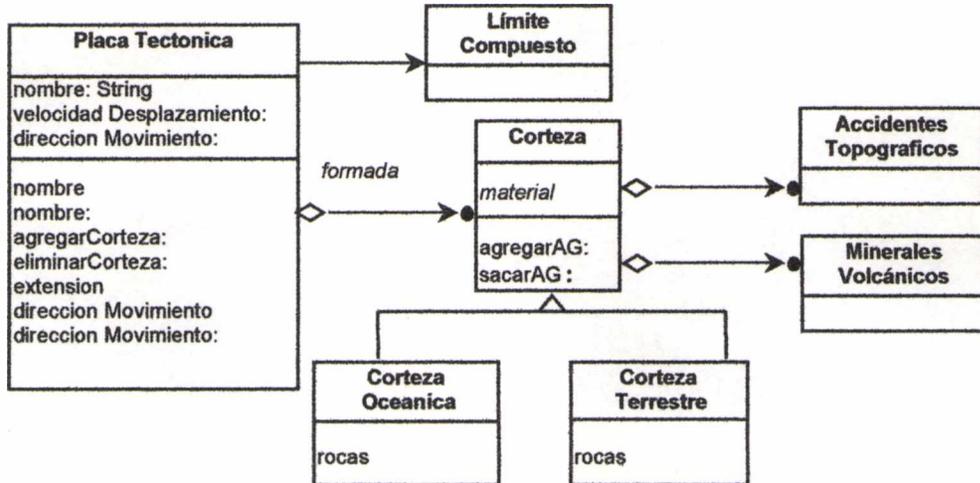


Figura 4.28 Modelo de Placa

La tectónica de placas se manifiesta a través de sus límites, por lo tanto se establece una relación entre la clase placa y la clase límite, usando el principio de composición [Rumbaugh et. al. 91]. La relación entre el límite y Accidentes Topográficos fue planteada previamente cuando se analizaron los límites. Como última observación, la corteza está formada por minerales (la corteza continental está formada por rocas siálicas y la corteza oceánica está formada por rocas simáticas), por lo que se usó el principio de herencia [Rumbaugh et. al. 91]. A primera vista los dos tipos de corteza, parecen no tener comportamiento, pero él mismo se verá cuando se analice el desarrollo de los procesos de crecimiento continental.

La especificación de las operaciones es muy sencilla.

Placa

nombre {Retorna el nombre de la placa}  
return nombre

nombre:aString {Modifica el nombre de la placa con aString}  
nombre:=aString

agregarCorteza: aCorteza {Agrega corteza a la placa}  
corteza agregar:aCorteza

eliminarCorteza: aCorteza {Elimina corteza de la placa}  
corteza Remove:aCorteza

extensión {Devuelve la extensión de la placa}  
for each c in corteza  
    ext += c extensión  
return ext

direccionMovimiento {Devuelve la dirección de Movimiento de la placa}  
return direccionMovimiento

direccionMovimiento: aDireccion {Modifica con aDireccion la direccion de la placa}  
 direccionMovimiento: =aDireccion

### 4. 3 FENOMENOS RELACIONADOS: Terremotos y Vulcanismo

#### 4. 3. 1 Los sistemas de medición

La mayoría de los fenómenos y accidentes geográficos tienen características que están asociadas una unidad (o sistema) de medición. Por ejemplo, un terremoto tiene una magnitud que se mide por la escala de Richter, y esa medida solamente tiene 12 posibles valores. Es decir, que cada sistema de medición maneja límites. Por lo que la primera intención sería la aplicación del principio de herencia [Rumbaugh et. al. 91], y armar una jerarquía con todos los sistemas de medición posibles. Pero, en definitiva, lo que se plantea es un concepto de medida que tiene una interpretación posible según lo que mida. Un diseño más prolijo será una clase que contenga la medida (propriadamente dicha) y una clase que interprete esa medida. El patrón de diseño Strategy [Gamma et al. 94] permite este tipo de estructura, pues asocia la medida con un método medir, que determina cuál es el dato asociado. La figura 4.29 muestra el modelo resultante con los sistemas de medición de terremotos.

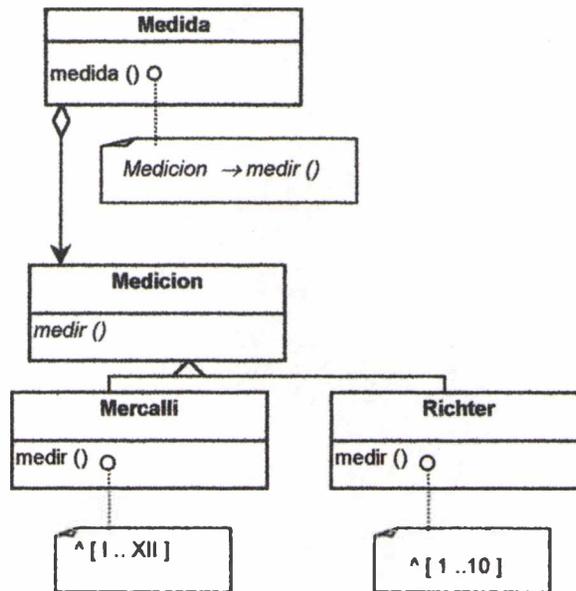


Figura 4.29 Modelo de Medida

### 4. 3. 2 El vulcanismo y los volcanes

La descripción de volcanes realizadas en el capítulo 3 permite dividir el análisis en dos partes: características y procesos de formación.

**Características:** Un volcán es un Accidente Topográfico, formado por capas de minerales con un cráter, fisuras en los laterales, una cámara de magma, un dique y una chimenea lateral. La figura 4.30 muestra un modelo de objetos sencillo, donde el uso de una jerarquía, usando el principio de herencia [Rumbaugh et. al. 91], permite plantear la relación *es un* y posee dos relaciones con minerales volcánicos (objeto descrito previamente) :

- *contiene*: el volcán contiene diferentes minerales en diferentes estados
- *forma capas*: los minerales son el elemento fundamental de las capas del volcán

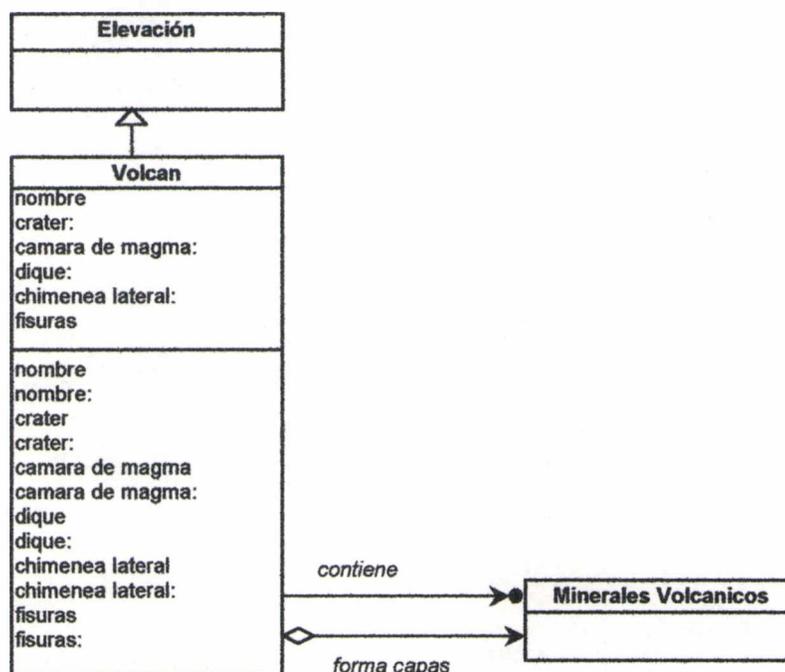


Figura 4.30 Modelo del Volcán

Pero los volcanes manifiestan diferentes estados posibles: *Activo*, *Inactivo* y *Extinto* que determina su comportamiento dentro del sistema. Por ejemplo, un volcán extinto no tiene actividad volcánica interna. Usando el principio de herencia [Rumbaugh et. al. 91], se puede pensar en una subclasificación de la clase *Volcán* en *VolcanActivo*, *VolcanInactivo* y *VolcanExtinto*. Pero no resulta una estructura adecuada. Supongamos que un volcán activo (objeto que pertenece a la clase *VolcanActivo*), por diferentes fenómenos pasa a ser inactivo. Debería entonces crearse otro objeto *VolcanInactivo* y "mudar" todo el comportamiento del *volcanActivo* y sus características, y destruir este último objeto. Se observa que lo que cambia es el comportamiento del objeto volcán, por lo que usamos un patrón de diseño para lograr un mejor diseño. El Patrón de diseño State [Gamma et al.

94] permitirá discriminar este cambio de comportamiento sin afectar la estructura propia del objeto volcán. El nuevo modelo resultante se muestra en la figura 4.31, donde la diferencia de comportamiento se expresa a través de las operaciones, según el estado del volcán.

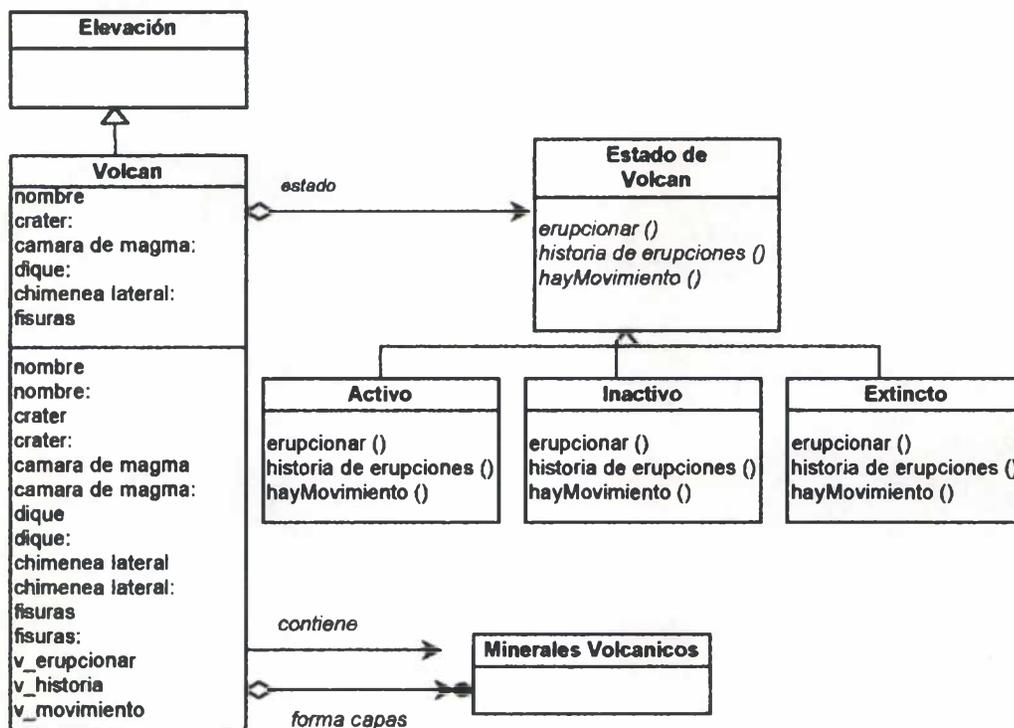


Figura 4.31 Modelo del Volcán y sus posibles estados

La especificación de las operaciones permite entender el comportamiento del volcán según su estado. La clase Volcán tiene ahora tres operaciones (*v\_erupcionar*, *v\_historia*, *v\_movimiento*) sobre las cuales puede responder, pero esa respuesta se derivará a los estados:

Clase Volcán

```

v_erupcionar {Comienza el proceso de Erupción según el estado}
return self state erupcionar
v_historia {Retorna la lista de erupciones según el estado}
return self state historia de erupciones
v_movimiento {Retorna si hay movimiento interno según el estado}
return self state hayMovimiento
    
```

Clase Volcán Activo

```

historia de erupciones {Retorna la lista de erupciones }
return list (date, hora)
hayMovimiento {Retorna si hay movimiento interno}
return True
    
```

Clase Volcán Inactivo

```

historia de erupciones {No retorna ninguna lista de erupciones pues el Volcán es inactivo}
return null
hayMovimiento {Retorna si hay movimiento interno}
return True
    
```

Clase Volcán Extincto  
 erupcionar {Comienza el proceso de erupción}  
 return Error  
 historia de erupciones {No retorna ninguna lista de erupciones pues el Volcán es inactivo}  
 return null  
 hayMovimiento {Retorna si hay movimiento interno}  
 return False

Procesos de formación: Los volcanes tienen una formación por capas. Este proceso se origina a partir de las erupciones de material volcánico procedentes del interior de la Tierra. En definitiva, el proceso *erupcionar* es un creador y modificador de las características del volcán, por lo tanto se puede considerar que no es parte del comportamiento propio del Volcán. Se precisa un objeto que cree al volcán y que lo vaya modificando a través de su proceso de formación. Ese objeto es un método: *erupcionar*. La figura 4.32 muestra el primer modelo a partir de la idea planteada, usando la relación de creación [Rumbaugh et. al. 91].

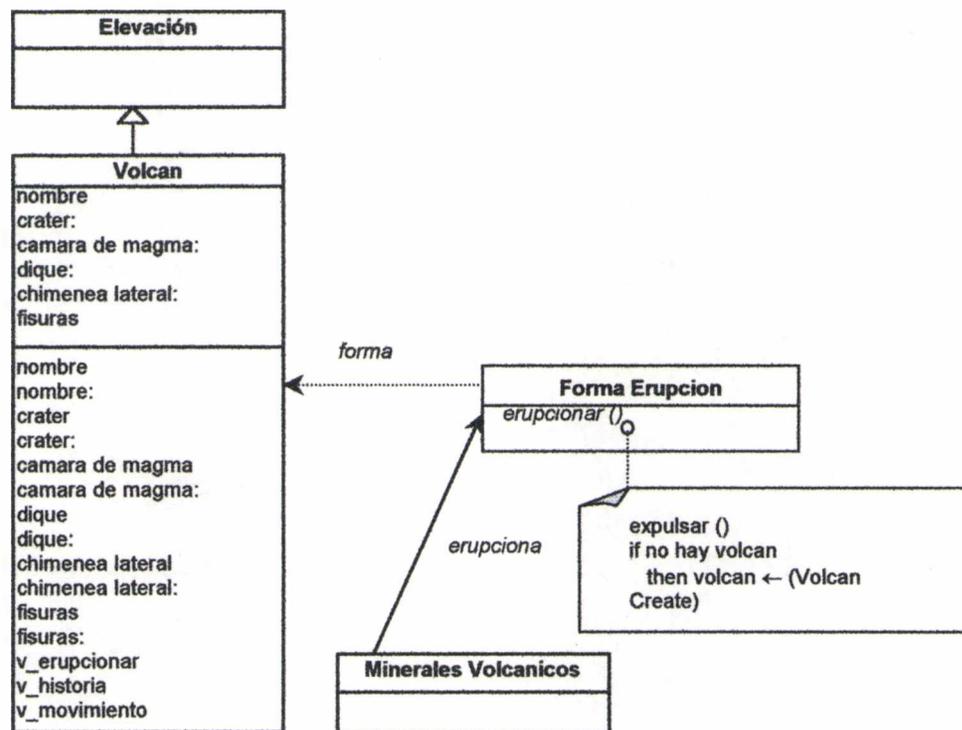


Figura 4.32 Modelo de Volcán y su proceso de formación

El material volcánico (según lo visto en el capítulo 3) se manifiesta a través de diferentes formas: rocas, lava, gases. Las diferentes combinaciones determinan la forma y la altura de la erupción (Islándica, Stromboliana, Vulcaniana, Peleana, Hawaiiana, Pliniana) y a su vez, estas determinan la topografía del volcán formado (Shield, Cinder o Strato). En definitiva, no dejan de ser erupciones en su sentido semántico, sino que lo que está variando es el material que se expulsa. Por lo tanto, el último modelo resulta inapropiado para realizar la discriminación planteada. Si se buscara una solución sencilla de diseño, se debería "tocar" la codificación interna de las clases. El principio de herencia

[Rumbaugh et. al. 91] y el patrón de diseño Factory Method [Gamma et al. 94] ayudan para solucionar este problema. La figura 4.33 muestra un nuevo diseño, donde *Forma de Erupción* es un Factory Method [Gamma et al. 94], que deriva en sus subclases el método *expulsar*, y cada una de las subclases saben que tipo de volcán harán crecer en capas.

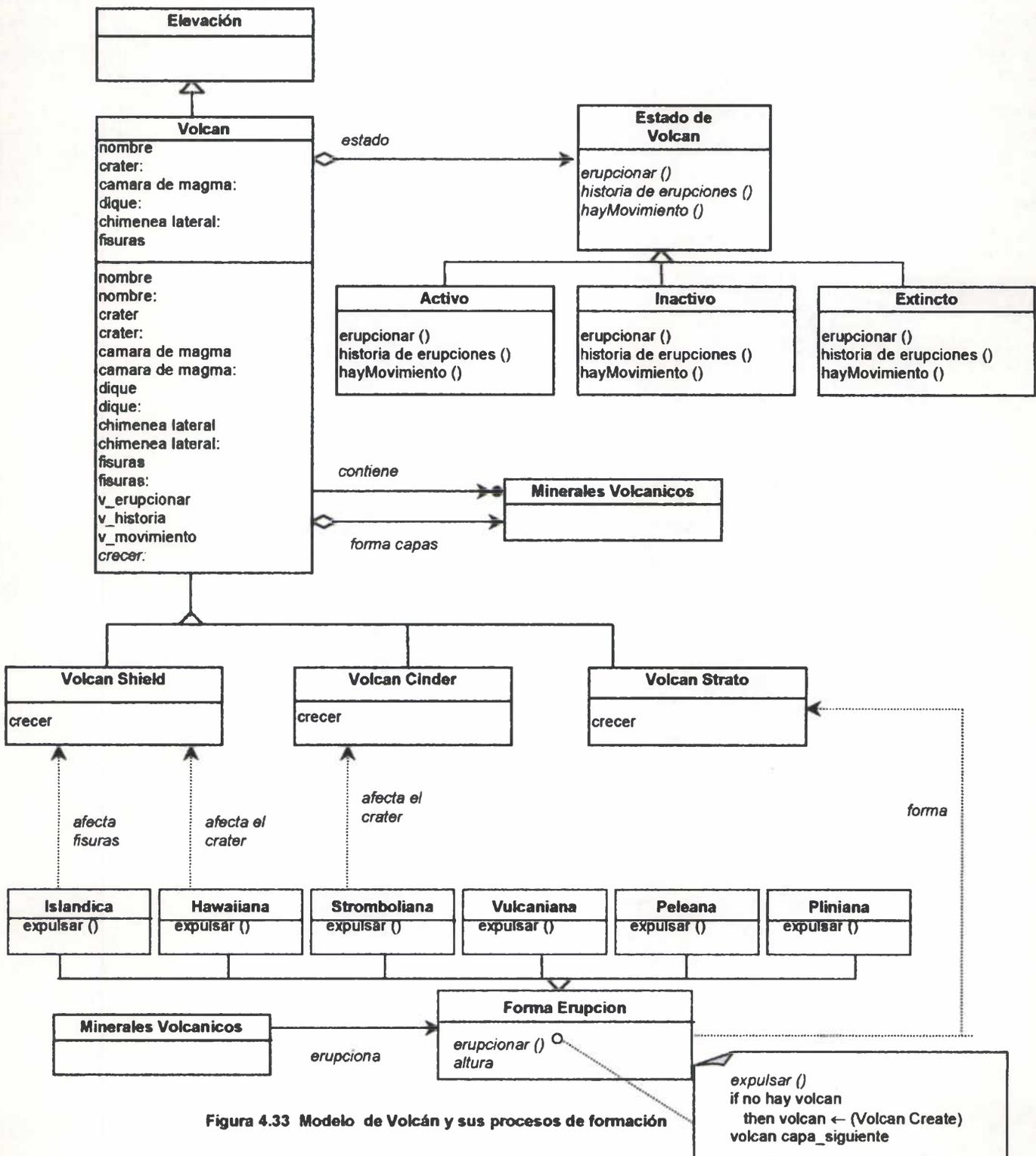


Figura 4.33 Modelo de Volcán y sus procesos de formación

En la clase *Volcán* se agregó el método *crecer*, pues es el método que responde cuando recibe las erupciones. Cabe la aclaración que solamente los volcanes en estado Activo e Inactivo son capaces de responder, pues en el caso de los volcanes en estado Extinto se considera que no tienen actividad interna.

La especificación de la operación *expulsar* permite ver las diferencias entre las diferentes formas de expulsión.

#### Forma de Erupcion

*erupcionar* {Comienza el proceso de erupción}

*expulsar* ()

if no hay volcan

then volcan ← (Volcán Create)

volcan crecer: capa\_siguiente

#### Islandica

*expulsar* (minerales volcánicos) {Expulsa materiales volcánicos}

return minerales volcánicos state: lava

#### Hawaiiiana

*expulsar* (minerales volcánicos) {Expulsa materiales volcánicos}

return minerales volcánicos state: lava

#### Stromboliana

*expulsar* (minerales volcánicos) {Expulsa materiales volcánicos}

return minerales volcánicos state:vapor,

return minerales volcánicos state:gas

#### Vulcaniana

*expulsar* (minerales volcánicos) {Expulsa materiales volcánicos}

return minerales volcánicos state:vapor,

return minerales volcánicos state:rocas,

return minerales volcánicos state:gas

#### Peleana

*expulsar* (minerales volcánicos) {Expulsa materiales volcánicos}

return minerales volcánicos state:gas,

return minerales volcánicos state:rocas

#### Pliniana

*expulsar* (minerales volcánicos) {Expulsa materiales volcánicos}

return minerales volcánicos state:rocas

. En el caso del volcán, se puede usar el altura con dos niveles de referencia: el nivel del mar y el nivel de la parte inferior de la cámara de magma. Esos niveles de referencia los manejaran el sistema de referencia asociado a las locations del campo continuo.

### 4. 3. 3 Terremotos

A diferencia de los elementos analizados, un terremoto es un fenómeno de la naturaleza. Se puede describir con un nombre, una fecha, una hora y una intensidad. Estas dos últimas características se asocian a las escalas de Richter y Mercalli, a través de una relación con *Medida* (definida previamente). La figura 4.34 muestra la clase que representa el terremoto.

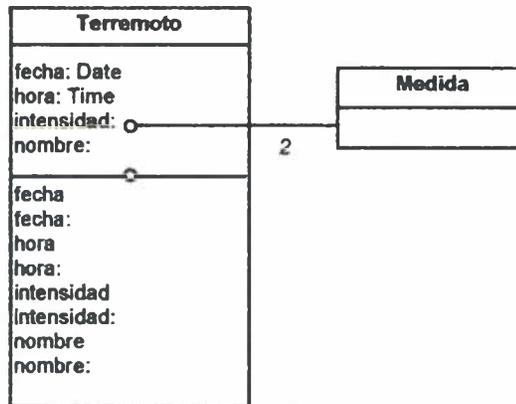


Figura 4.34 Modelo Preliminar de Terremoto

Sin embargo, un terremoto es un proceso más complejo, que puede describirse con dos elementos: su punto de origen (y su proyección en la superficie de la Tierra) y las ondas de choque que genera. Un terremoto se origina a partir fuerzas de presión y compresión en las capas de la Tierra. El punto de origen se denomina hipocentro. El mismo punto proyectado en forma perpendicular en la superficie terrestre, se conoce como epicentro. Usando la arquitectura planteada en [Gordillo et. al. 97], el epicentro y el hipocentro son dos Location con la misma componente de latitud y longitud, y diferente en la profundidad. Por lo que se considera que esas características están asociadas a dos Location.

Existe otro criterio posible para clasificar a los terremotos. Este se aplica en función de la profundidad, y como es un dato asociado una sola vez cuando se produce el terremoto, con un discriminador es suficiente. La figura 4.35 muestra un modelo planteado.

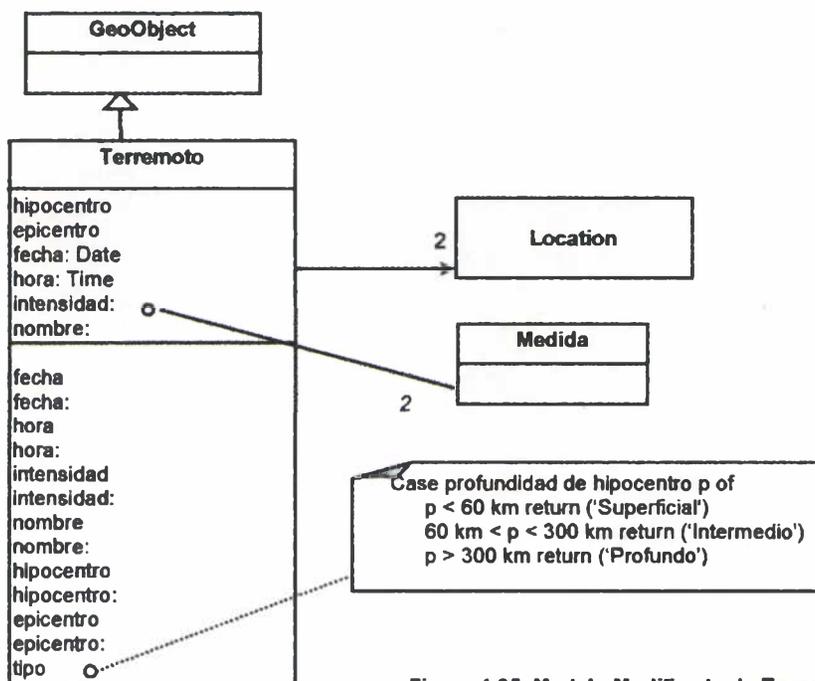


Figura 4.35 Modelo Modificado de Terremoto

---

La especificación de las operaciones es sencilla.

fecha {Retorna la fecha del Terremoto}  
return fecha

fecha:aDate {Modifica la fecha del Terremoto}  
fecha: =aDate

hora {Retorna la hora del Terremoto}  
return hora

hora: aTime {Modifica la hora del Terremoto}  
hora: = aTime

intensidad {Retorna la intensidad del Terremoto}  
return intensidad

intensidad:aMedida {Modifica la intensidad del Terremoto}  
intensidad: =aMedida

nombre {Retorna el nombre asociado al Terremoto}  
return nombre

nombre:aString {Modifica el nombre del Terremoto}  
nombre: =aString

hipocentro {Retorna la location del hipocentro}  
return hipocentro

hipocentro:aLocation {Modifica la location del hipocentro}  
hipocentro: =aLocation

epicentro {Retorna la location del epicentro}  
return hipocentro

epicentro:aLocation {Modifica la location del hipocentro}  
epicentro: =aLocation

tipo {Retorna el tipo de terremoto según la profundidad del hipocentro}  
case profundidad de hipocentro p of  
  p < 60 km return ('Superficial')  
  60 km < p < 300 km return ('Intermedio')  
  p > 300 km return ('Profundo')

El terremoto es un movimiento sísmico que genera diferentes ondas de choque, y son éstas últimas las que en definitiva “mueven” los ambientes que atraviesan. Según la definición de física, una onda es toda perturbación, acústica, electromagnética, etc que se propaga. Se caracteriza por la longitud, la frecuencia, la dirección de vibración y la velocidad de viaje. Las ondas manifiestan cambios en algunas de las características según el ambiente (sólido, líquido, gaseoso) que atraviesan. La figura 4.36 muestra el comportamiento de onda.

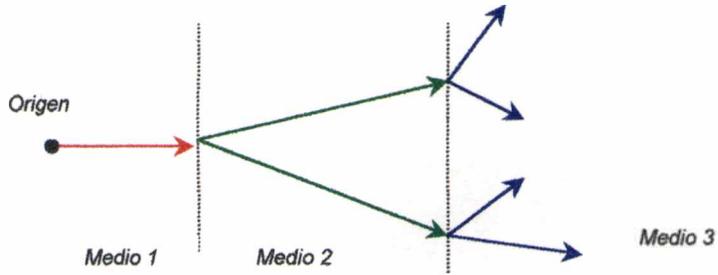


Figura 4.36 Comportamiento de Onda de Choque

De esta manera, las ondas deben subclasificarse usando el principio de herencia [Rumbaugh91].. Pero debe expresarse ese cambio de comportamiento en su trayectoria, por lo que resulta más adecuado diseñar con el patrón de diseño Composite [Gamma et al. 94], que permite componer un objeto con sus características de cambio. La figura 4.37 muestra el modelo correspondiente a las ondas de choque.

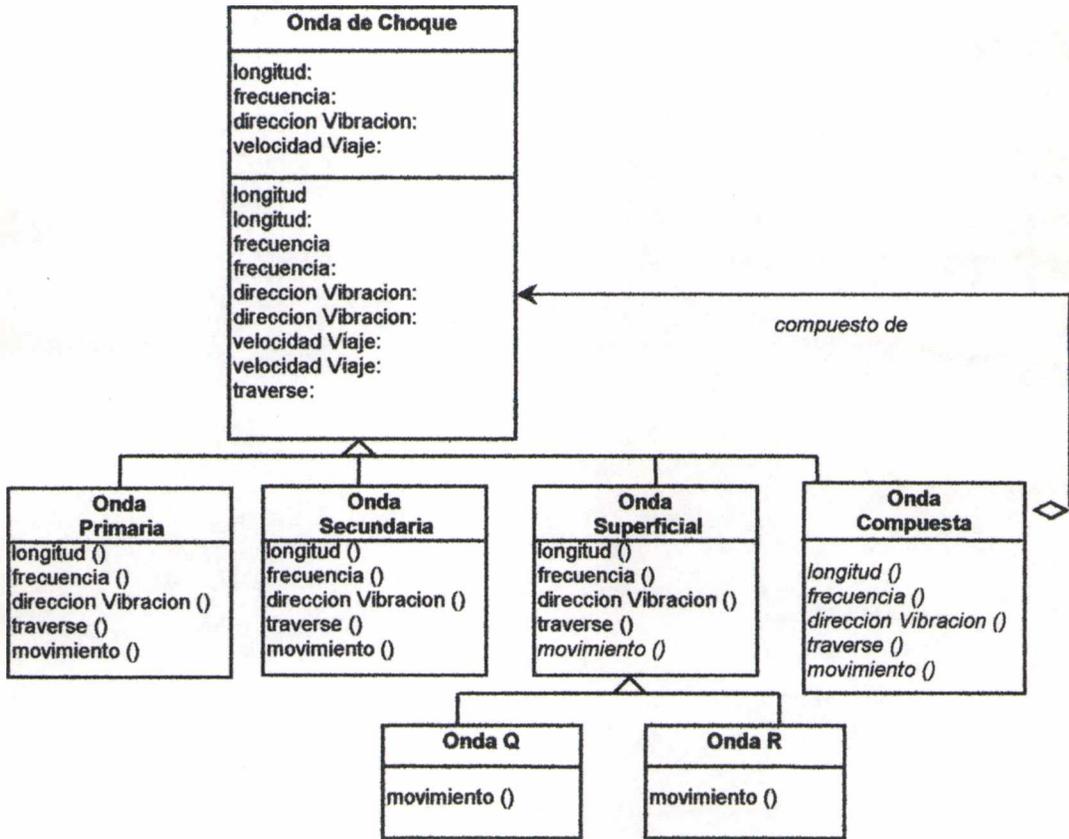


Figura 4.37 Modelo de Ondas de Choque y su comportamiento

Especificando las operaciones presentes observa cual es el cambio de comportamiento de una onda de choque

```
Onda Primaria
longitud {Retorna la longitud de la onda}
return corta
```

---

frecuencia {Retorna la frecuencia de la onda}  
return alta  
movimiento {Retorna el movimiento de la onda}  
return longitudinal

#### Onda Secundaria

longitud {Retorna la longitud de la onda}  
return corta  
frecuencia {Retorna la frecuencia de la onda}  
return alta  
traverse: ambiente {Atraviesa el ambiente, si éste último lo permite}  
if ambiente is Liquido → stop ()  
movimiento {Retorna el movimiento de la onda}  
return transversal

#### Onda Superficial

longitud {Retorna la longitud de la onda}  
return larga  
frecuencia {Retorna la frecuencia de la onda}  
return corta

#### Onda Q

Movimiento {Retorna el movimiento de la onda}  
return horizontal perpendicular a dirección

#### Onda R

Movimiento {Retorna el movimiento de la onda}  
return vertical perpendicular a dirección

Las ondas se generan a partir del hipocentro, por lo que se genera una relación de creación [Rumbaugh et. al. 91] entre Terremoto y las Ondas de Choque. La figura 4.38 muestra el modelo completo.

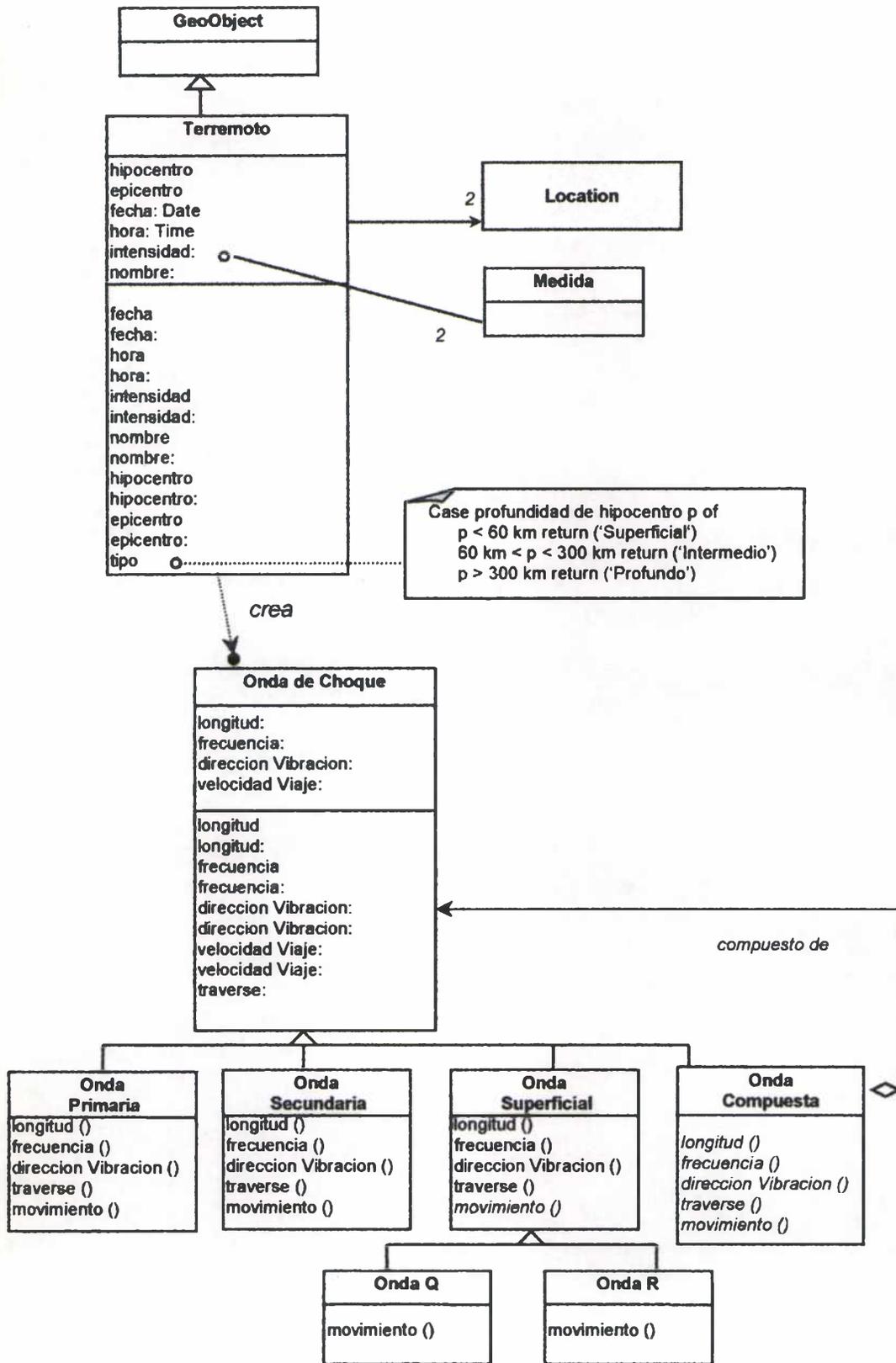


Figura 4.38 Modelo Definitivo del Terremoto

#### 4. 4. ANALISIS DE LOS PROCESOS TECTONICOS

Hasta ahora se analizaron todos los elementos que participan por separado en los procesos de la Tectónica de Placas. Como los procesos son extensos y tienen participación de muchos objetos, en todos los casos se mostrarán de la siguiente manera:

- Operaciones que deben agregarse a las clases para que el fenómeno se produzca
- Diagramas de interacción con la evolución del fenómeno
- Diagramas de instancias con el crecimiento de la aplicación

##### 4. 4. 1 Formación de Margen Continental

Para estudiar el proceso de Formación de Margen Continental se precisa agregar las siguientes operaciones a las clases:

CORRIENTE DE CONVECCION

COMPORTAMIENTO

comenzar { comienza el proceso de magma }

for each Placa → presenciaMagma: unMV En:aLocation

PLACA

COMPORTAMIENTO

agregarCorteza: unaCorteza En:aLocation {Agrega un tipo de corteza}

if (no hay unaCorteza)

then self add:unaCorteza En:aLocation

presenciaMagma: unMV En:aLocation {deriva en cada tipo de corteza}

corteza → corteza presenciaMagma En:aLocation

CORTEZA

COMPORTAMIENTO

buscarAGen: aLocation {Busca si hay un accidente geográfico}

accidente ← buscar accidente geográfico En:aLocation

return accidente

presenciaMagma: unMV En:aLocation {Si hay un AG donde esta el magma esta empujando, deriva el acción en el AG. Si no hay AG, la corteza reacciona dependiendo del tipo}

AG ← self buscarAGen:aLocation

if (no hay AG)

then self reaccionar: unMV En:aLocation

else AG reaccionar: unMV En:aLocation

agregarAG: unAG En:aLocation {Agrega un accidente geográfico}

add: unAccidenteGeografico En:aLocation

aumentar: unaCorteza En:aLocation {Aumenta la superficie de la corteza}

self add: unaCorteza En:aLocation

CORTEZA CONTINENTAL

COMPORTAMIENTO

reaccionar: unMV En:aLocation {Reacciona a la presencia del magma creando Montañas}

{Establecer la descripción del campo continuo en unaAltura que describe a la montaña y unaLongitud para las montañas}

self agregar: ((Montañas En Fallas create) altura: unaAltura) En:aLocation

## CORTEZA OCEANICA

## COMPORTAMIENTO

reaccionar: unMV En:aLocation {Reacciona a la presencia del magma creando Montañas y aumenta la superficie}

placa add: (Límite Divergente create) En:aLocation

terremoto ← Terremoto create En:aLocation

{Establecer una altura para la Dorsal}

montañas ← (Dorsal create) altura: unaAltura

self agregar: montañas En:aLocation

formarOceano En:aLocation {Indica la formación de un océano}

AG ← buscarAGen:aLocation

AG formarOceano En:aLocation

## DORSAL

## COMPORTAMIENTO

reaccionar: unMV En:aLocation {Reacciona a la presencia del magma aumentando el altura y haciendo crecer en corteza a la Placa. Dispara la creación de Fallas}

{Establecer el aumento de altura para la Dorsal}

self altura: (self altura + aumento)

partes ← self desplazar

placa agregarCorteza: partes En:aLocation

if (hay presión)

then for cada lugar de presión → self quebrar En:aLocation

quebrar En:aLocation {Crea Fallas }

falla ← (Falla de Transformación create)

Terremoto ← Terremoto create

placa agregar: ((Límite de Transformación create) with: falla) En:aLocation

self agregar: falla En:aLocation

formarOceano En:aLocation {Indica la formación de un océano}

AG ← buscarAGen:aLocation

AG formarOceano En:aLocation

## MONTAÑAS EN FALLAS

## COMPORTAMIENTO

agregar: unValle En:aLocation {Agrega un valle}

add: unValle En:aLocation

buscarAGen:aLocation {Buscar un Accidente Geográfico}

accidente ← buscar accidente geográfico

return accidente

reaccionar: unMV En:aLocation {Reacciona a la presencia del magma valle, y si ya existe aumentando su altura y derivando la reacción al valle}

valle ← self buscarAGen:aLocation

if (AG no es valle)

then valle ← (Valle de Grietas create) longitud: unaLongitud

self agregar: valle En:aLocation

else {Establecer el altura que se pierde}

self altura: (self altura - unaAltura) En:aGeomedida

valle reaccionar: unMV En:aLocation

VALLE DE GRIETAS

COMPORTAMIENTO

reaccionar: unMV En:aLocation {Reacciona a la presencia del magma creando corteza Oceánica }

cortezaOceánica ← unMV enfriar

{suelo del valle es la corteza oceánica y las laderas serán las márgenes continentales}

placa agregarCorteza: cortezaOceánica En:aLocation

formarOceanoEn:aLocation {Indica la formación de un océano}

MG ← Margen Continental create

corteza agregar: MG En:aLocation

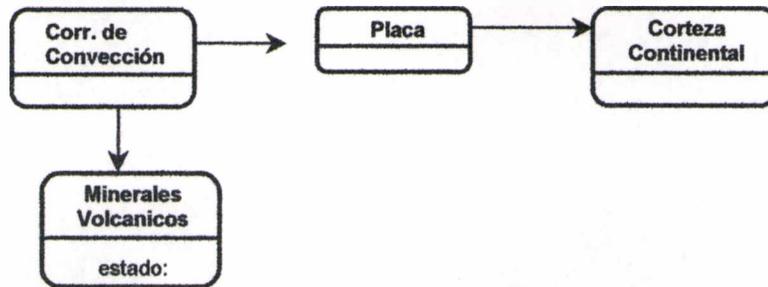
TERREMOTO

COMPORTAMIENTO

create En:aLocation {crea un Terremoto y mueve las Placas involucradas}

for each Placa mover En:aLocation

Diagrama de instancias inicial



1. La corteza es levantada y estirada mientras la placa litosférica es arqueada hacia arriba. En esta etapa se forman *montañas en bloques fallados*, que son el resultado de una tectónica de extensión.

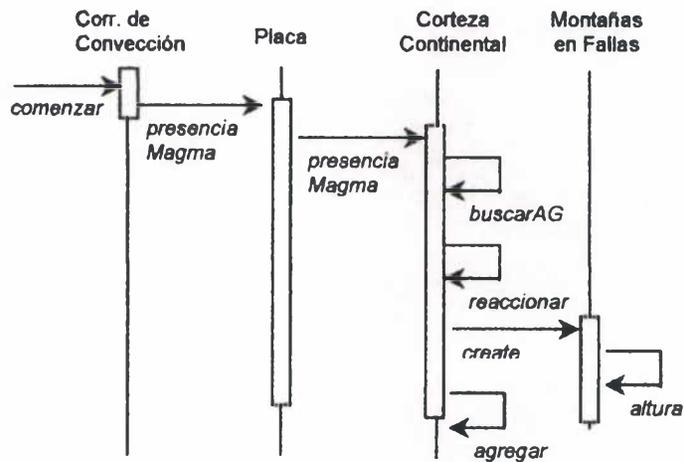
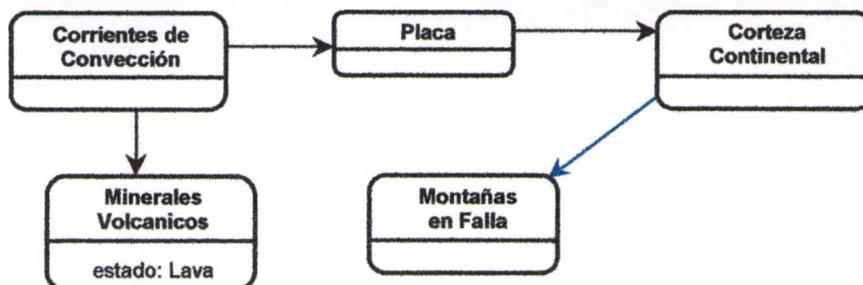


Diagrama de instancias después del paso 1



- El magma continua fluyendo hacia la superficie de la Tierra y finalmente aparece un largo y estrecho valle, denominado *valle de grietas*.

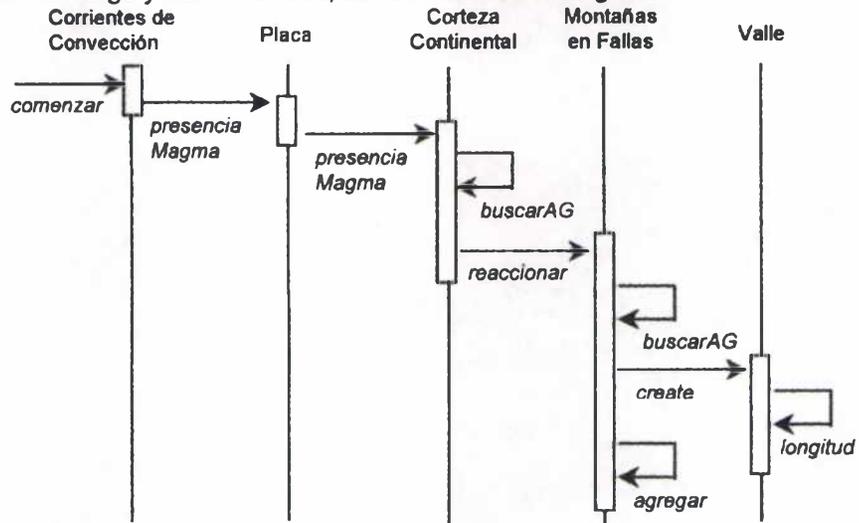
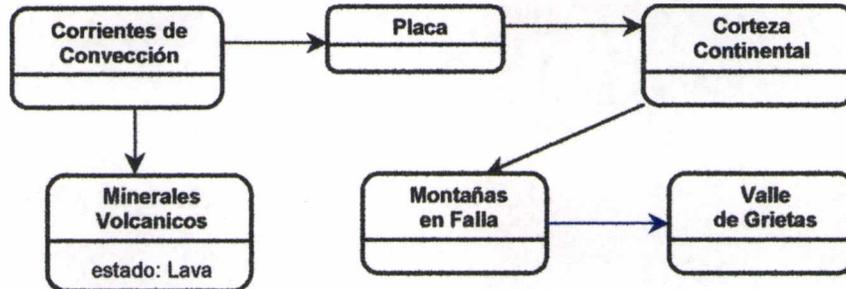


Diagrama de Instancias después del paso 2



- La grieta, que se va ampliando, es continuamente rellenada por magma que asciende desde el manto. Este magma se solidifica formando nueva corteza en el suelo del *valle de grietas*. Los bloques de la corteza se deslizan abajo a lo largo de una serie de fallas, manteniendo el paisaje montañoso

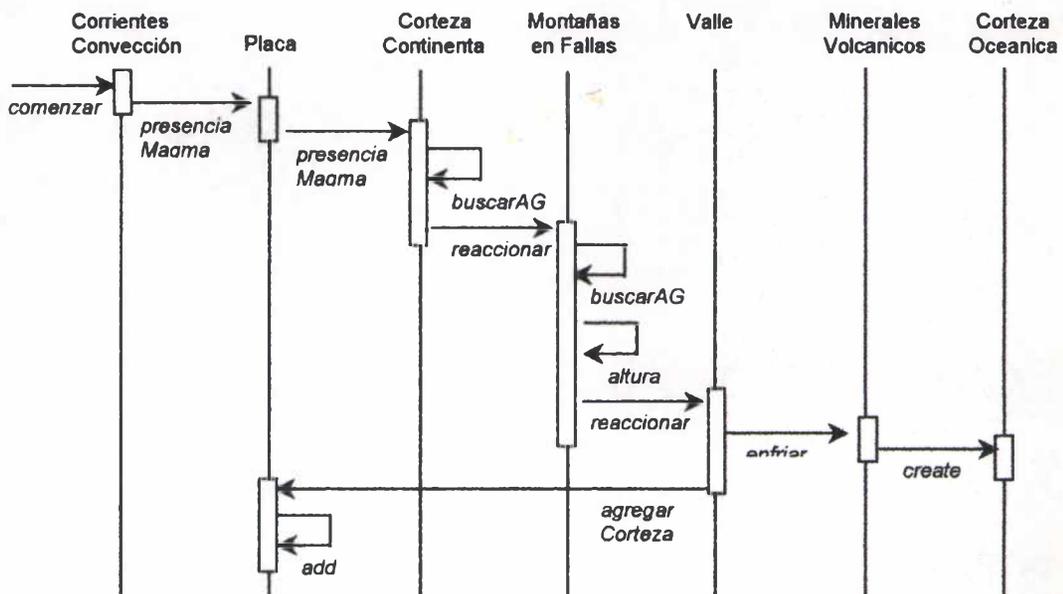
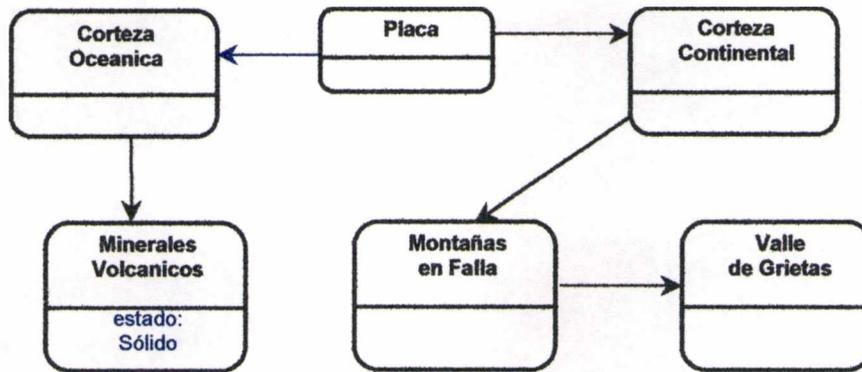


Diagrama de Instancias después del paso 3



- Como la separación continúa, acabará por aparecer un *límite de divergencia* y se va formando una dorsal, que se extiende a lo largo del límite .

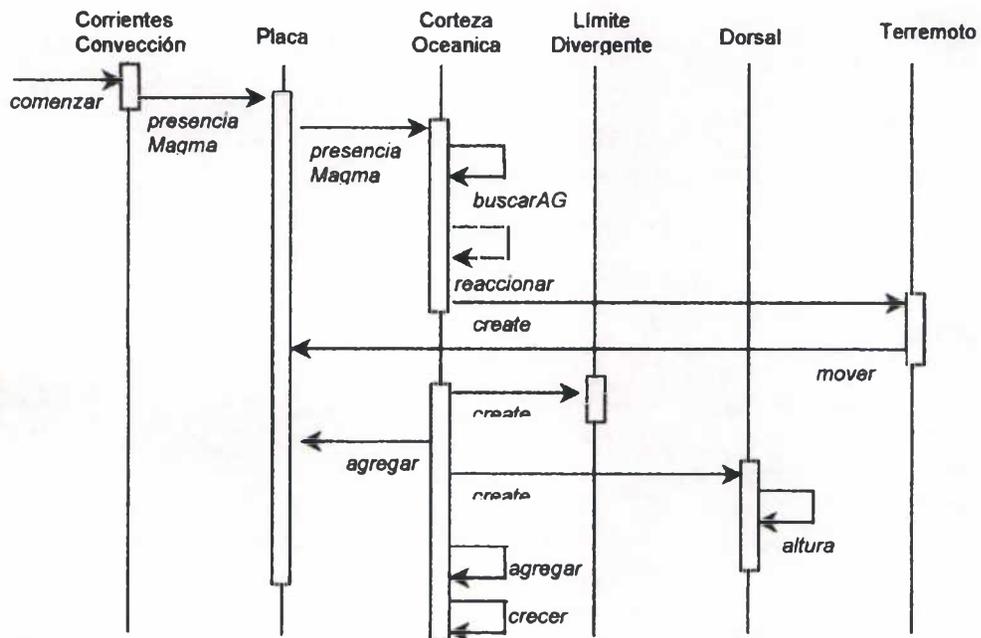
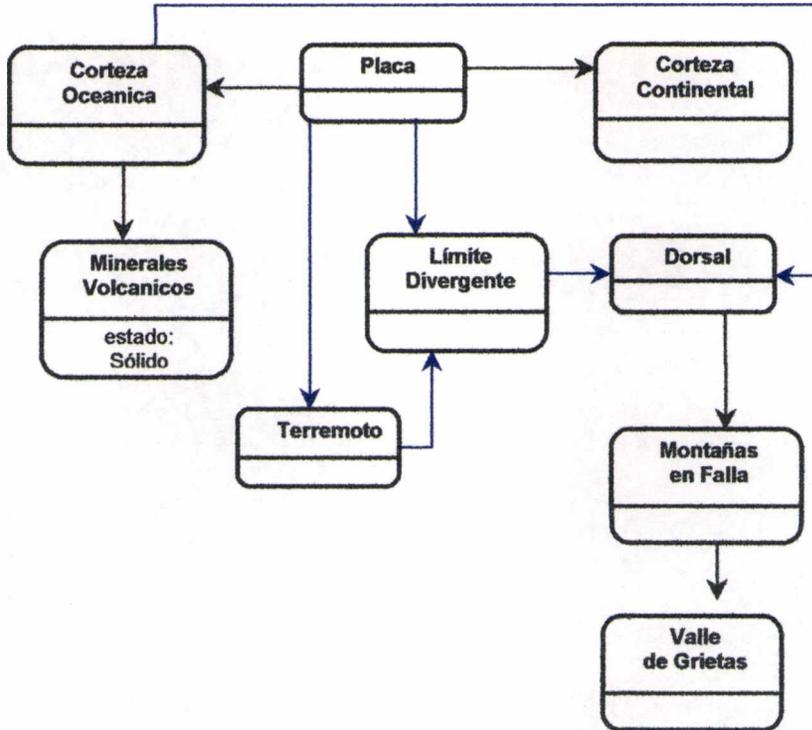


Diagrama de Instancia después del paso 4



4. Durante el proceso de apertura de una cuenca oceánica, en el límite de divergencia se desarrollan una serie de desplazamientos. Los bordes del desplazamiento del rift axial están conectados por una activa falla de transformación.

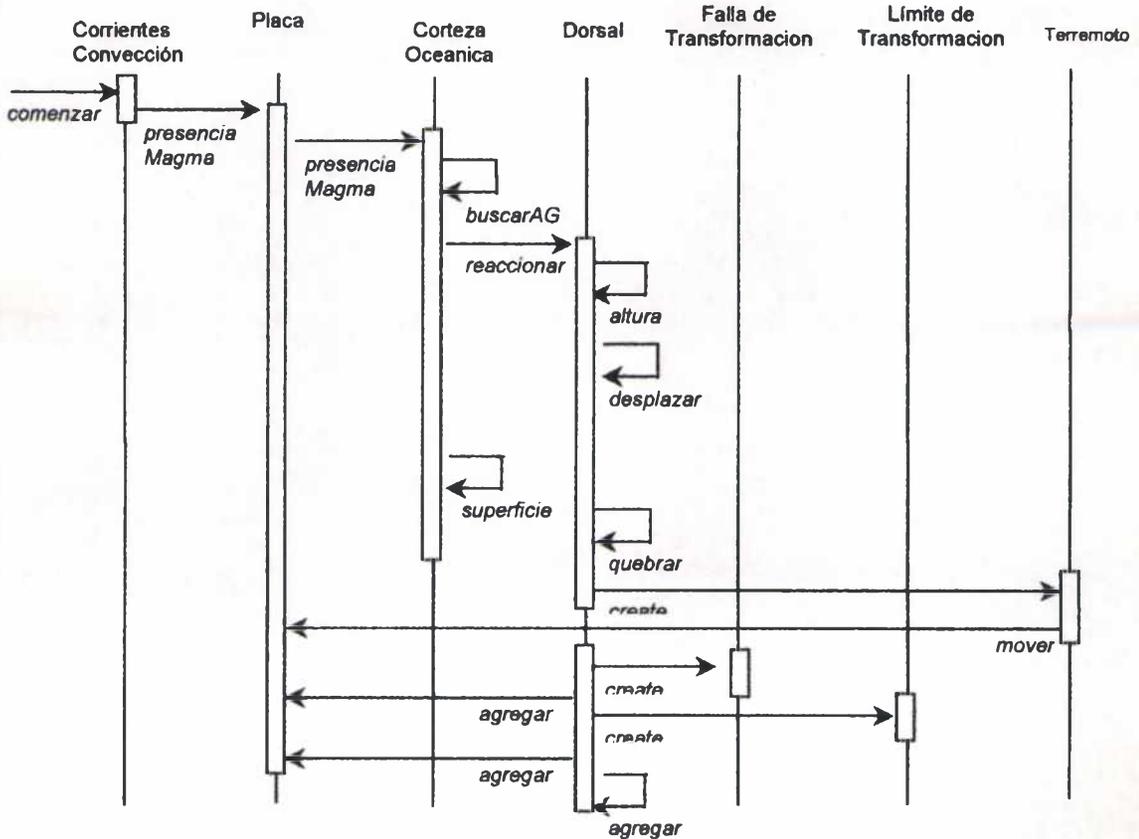
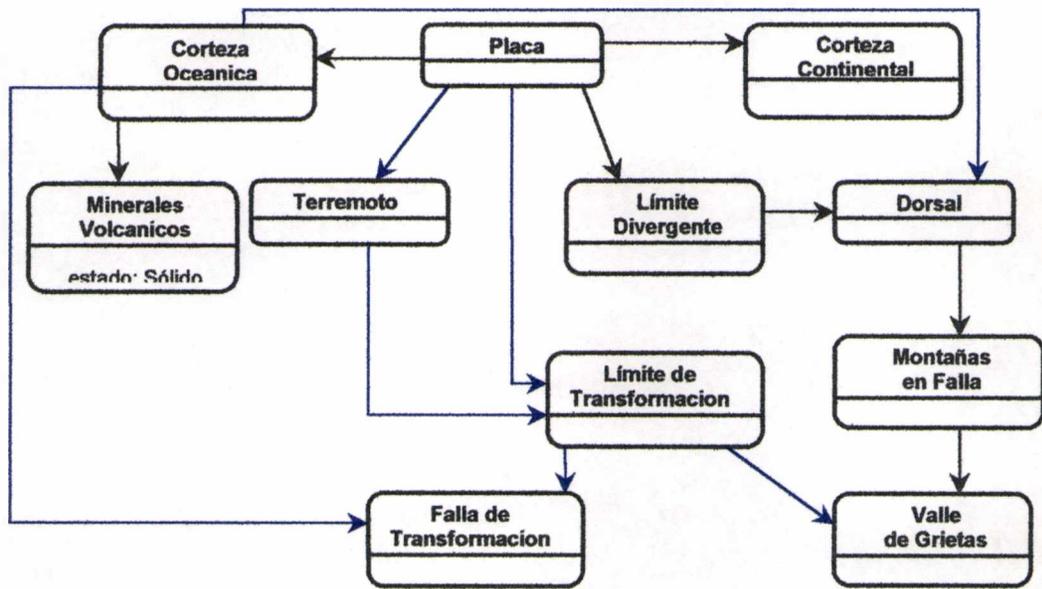
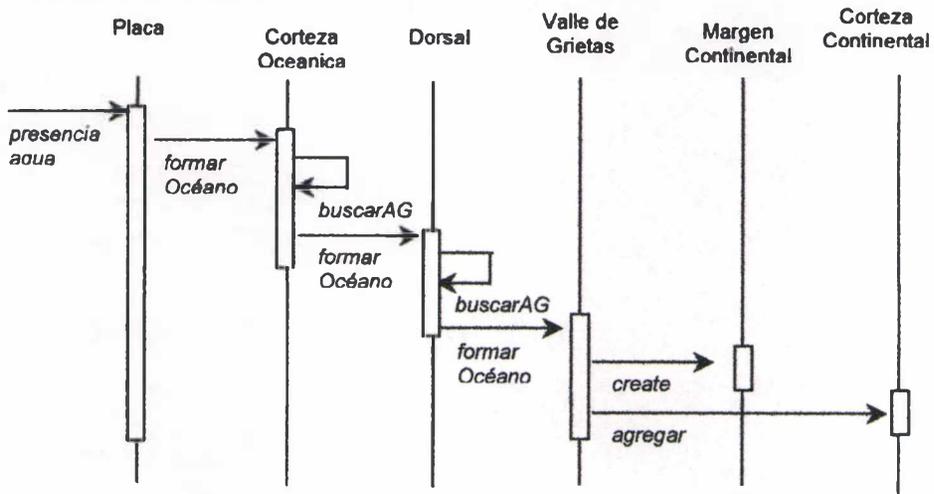


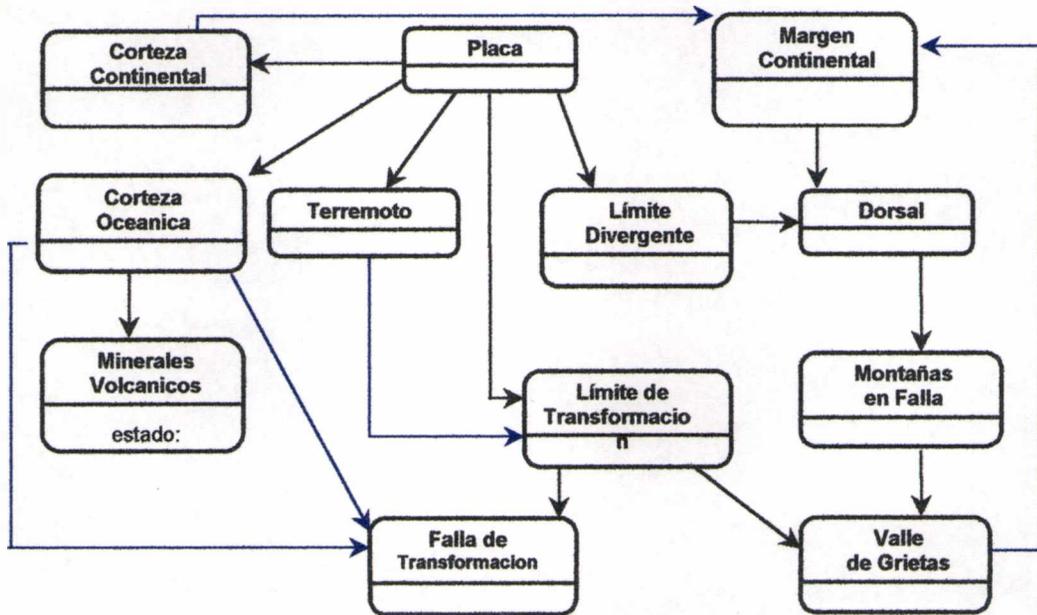
Diagrama de instancia después del paso 5



5. Por la presencia de agua se forma un océano sobre la grieta formada, apareciendo finalmente la margen continental



Diagramas de instancias después del paso 6



4. 4. 2 Formación de Arco Tectónico

AGENTES AMBIENTALES

COMPORTAMIENTO

afectar {Comienzan el proceso de desgaste de las Placas}  
 rocas ← placa desgaste En:aLocation  
 placas depositar: rocas En:aLocation

PLACA

COMPORTAMIENTO

desgaste En:aLocation {Deriva en la corteza el desgaste}  
 corteza desgaste En: aLocation  
 depositar: rocas En: aLocation {Deriva el producto del desgaste en la corteza}  
 corteza depositar:rocas En: aLocation

CORTEZA

COMPORTAMIENTO

desgasteEn:aLocation {Retorna las rocas producto del desgaste}  
 return minerales estado:rocas En:aLocation

depositar: rocas En:aLocation {Recibe rocas y si hay un AG las deposita en él}  
 AG ← buscarAGen:aLocation  
 if (hay AG)  
     then AG depositar: rocas En:aLocation

moverHaciaAdelante En:aLocation {Provoca el avance de la Placa con la creación de una Cuenca Marginal}  
 placa add: (Cuenca Marginal create) En:aLocation

formarOceanoEn:aLocation {Forma la margen continental porque hubo un avance de agua}  
 MG ← (Margen Continental create)  
 self agregar: MG En:aLocation  
 corteza agregar: MG En:aLocation

FOSA

COMPORTAMIENTO

depositar: rocas En:aLocation {Recibe las rocas que se depositan y las acumula en una Cuña, con su aumento en altura. Se mueve hacia delante y si hay rocas suficiente, se crea un prisma que hace el metamorfismo de las rocas}

cuña add: rocas

{Establecer el aumento de altura de la cuña por el agregado de rocas}

cuña altura: (cuña altura + aumento)

self moveDown En:aLocation

if (hay rocas suficiente)

then (Prisma create) metamorfismo: rocas En:aLocation

PRISMA (SUBCLASE DE ELEVACION)

COMPORTAMIENTO

metamorfismo: rocas En:aLocation {Realiza el metamorfismo de las rocas y mueve la Placa hacia delante. Si alcanza suficiente altura, crea una isla tectónica}

{produce el metamorfismo de las rocas}

corteza moverHaciaAdelante En:aLocation

if (cresta altura > nivel del mar)

then cresta: (Elevacion Create)

self agregar: cresta En:aLocation

Si se acumula sedimentos en la cuenca marginal se forma una margen continental

CUENCA MARGINAL

COMPORTAMIENTO

depositar: rocas En:aLocation {Recibe las rocas, y si su peso es suficiente aumenta su profundidad}

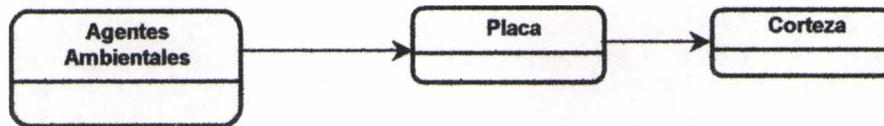
self add: rocas En:aLocation

if (hay peso)

then {Establecer el aumento de la profundidad}

self profundidad: profundidad + aumento

Diagramas de Instancias Inicial



1. Los agentes ambientales (temperatura, vientos, etc.) desgastan la superficie de la placa. El resultado son sedimentos que se arrastran. En este caso se supone que no encontró ningún accidente donde depositar los sedimentos

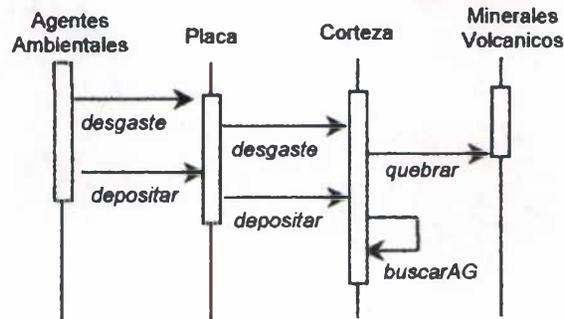
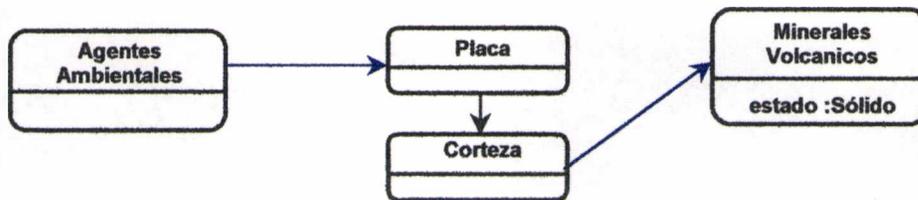


Diagrama de instancias despues del paso 1



- El proceso de desgaste de la superficie continua produciendo sedimentos en la placa. Esta última encuentra la fosa y los va depositando formando una cuña y produciendose un terremoto

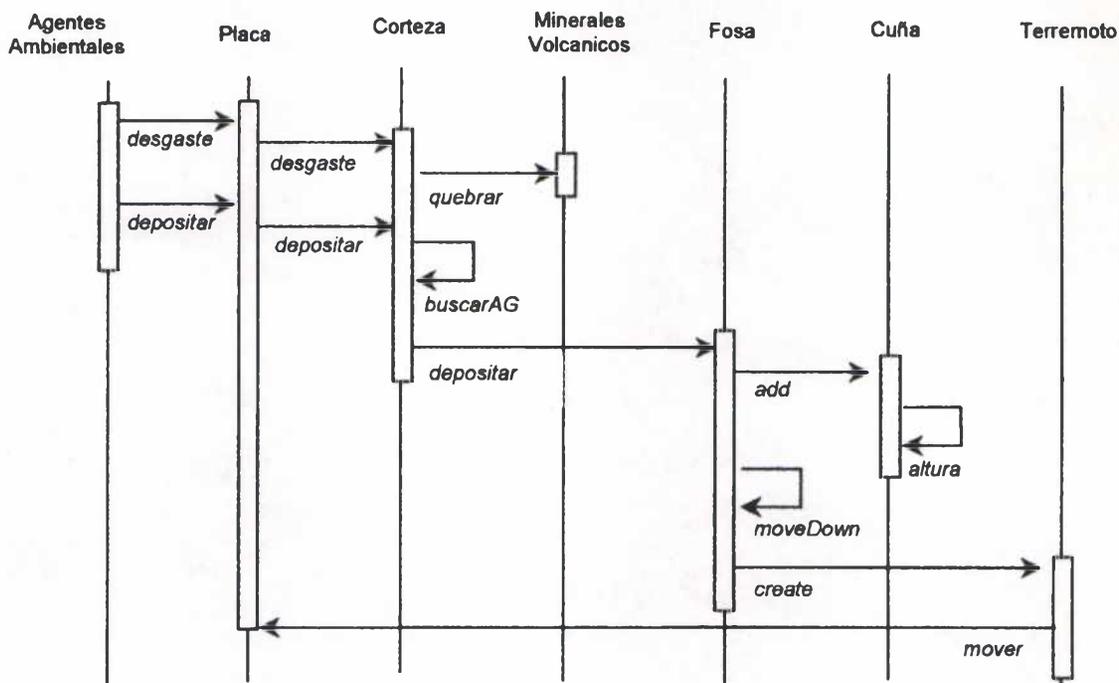
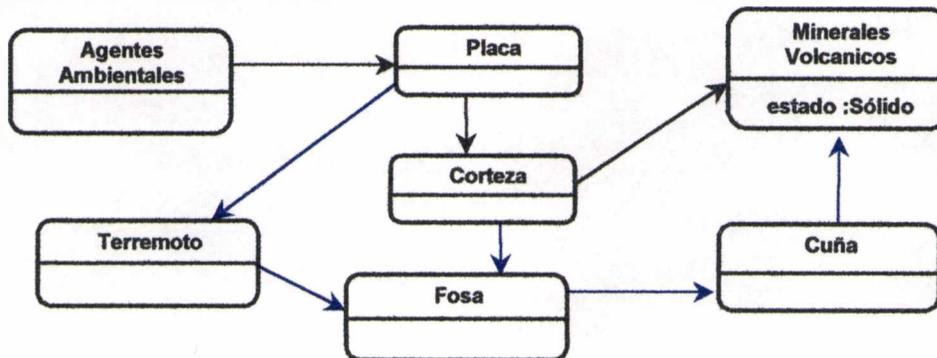


Diagrama de instancias despues del paso 2



- Las cuñas de sedimentos en la fosa se acumulan formando un prisma acrecionario donde se produce un metamorfismo de los sedimentos, que provocan que la placa deba extender su superficie forman una cuenca marginal

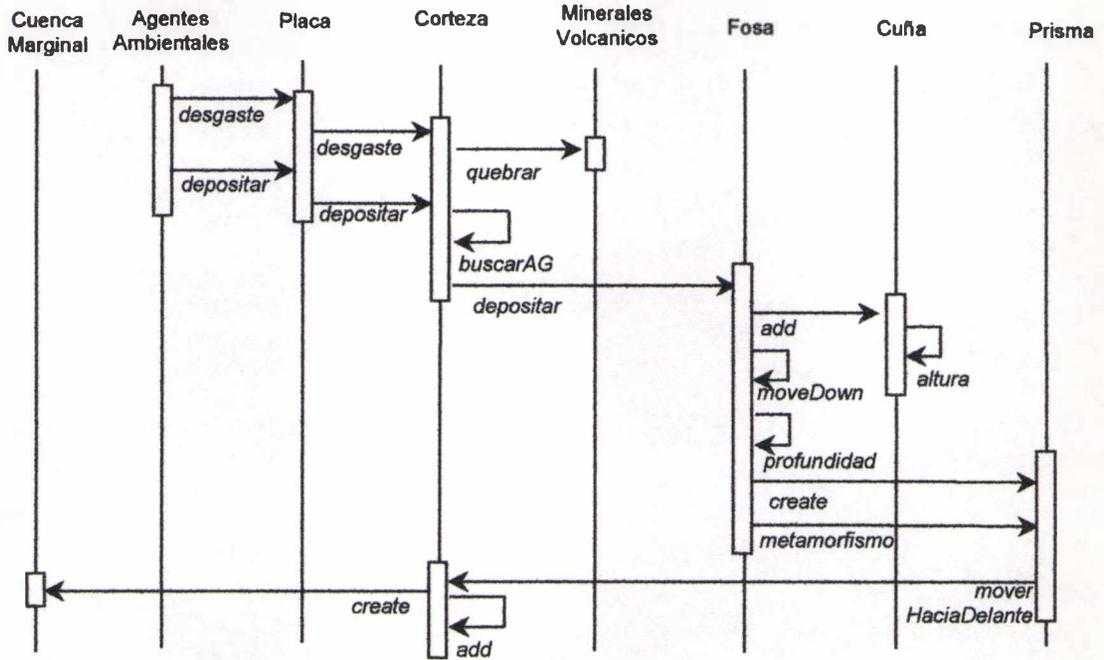
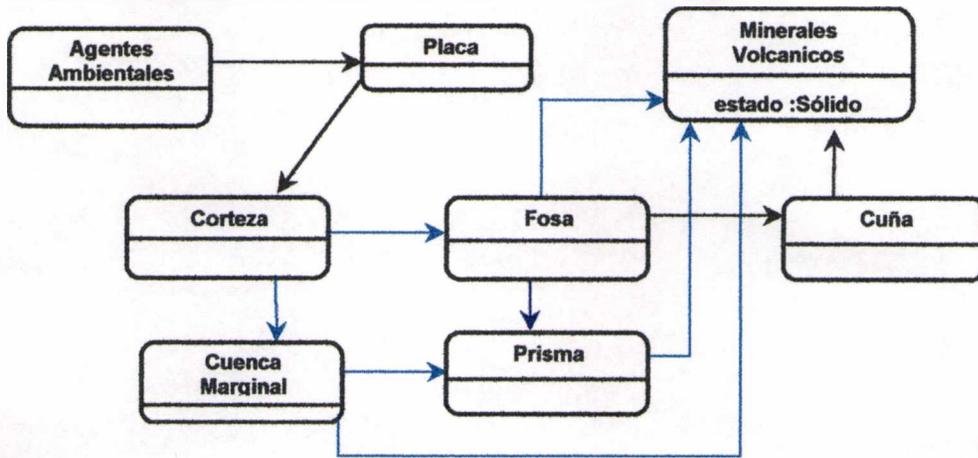


Diagrama de instancias despues del paso 3



4. Cuando el prisma genera el avance de la placa, eventualmente puede generar un conjunto de islas (arco tectónico)

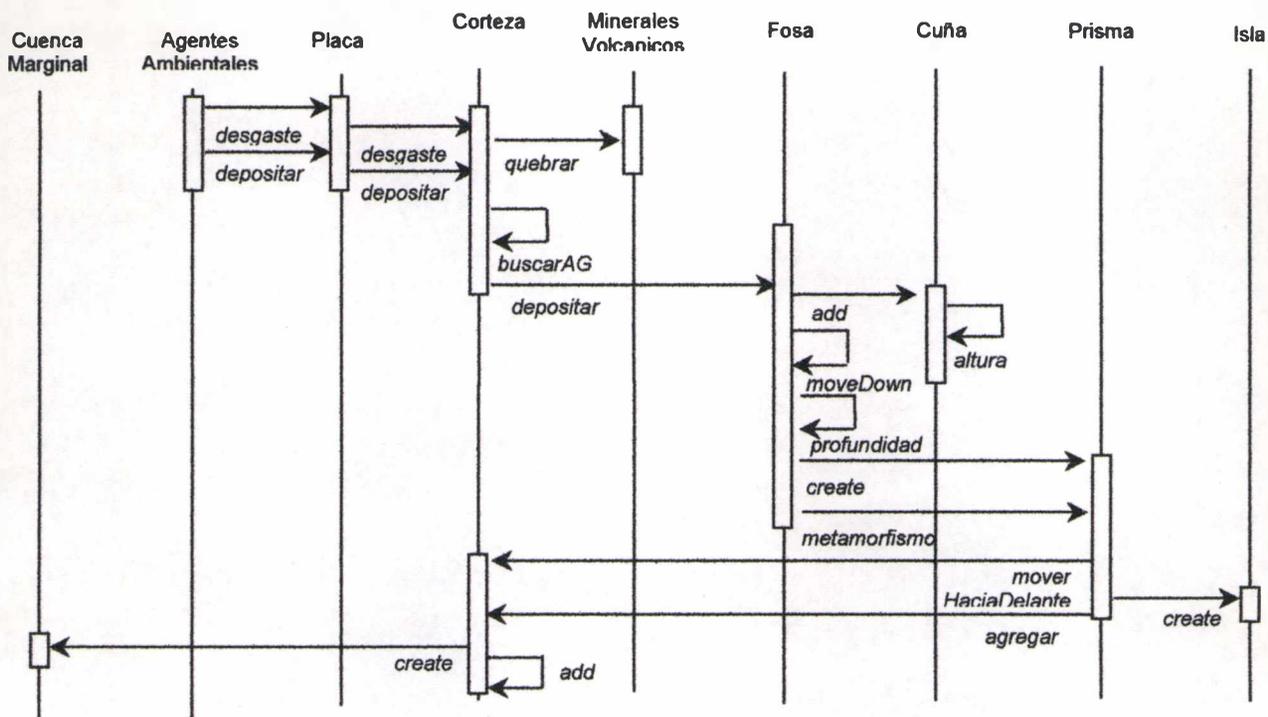
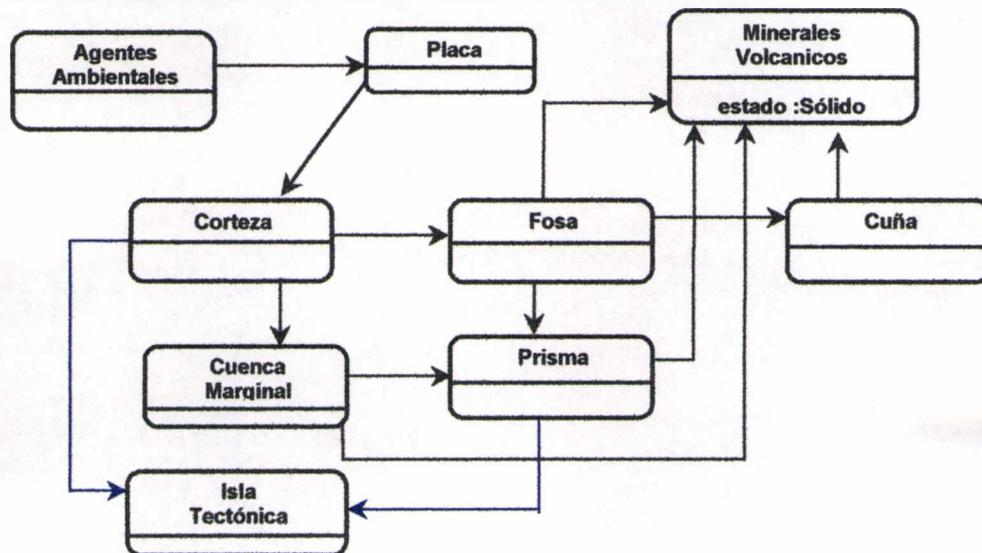


Diagrama de instancias despues del paso 4



5. El desgaste continua produciéndose y ahora se va depositando en la cuenca marginal

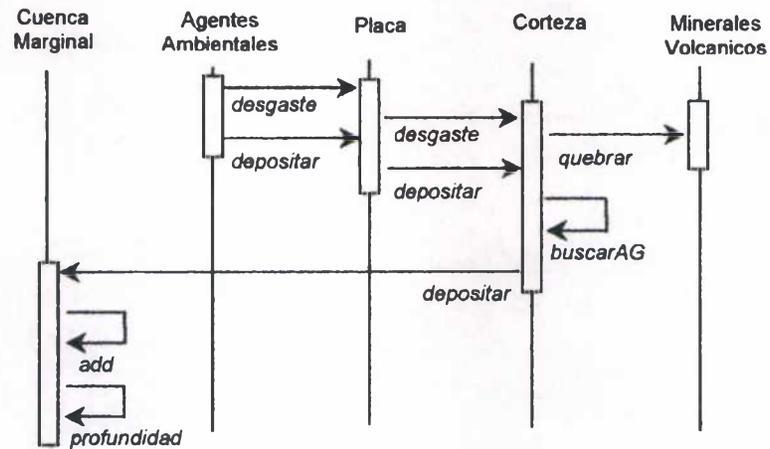
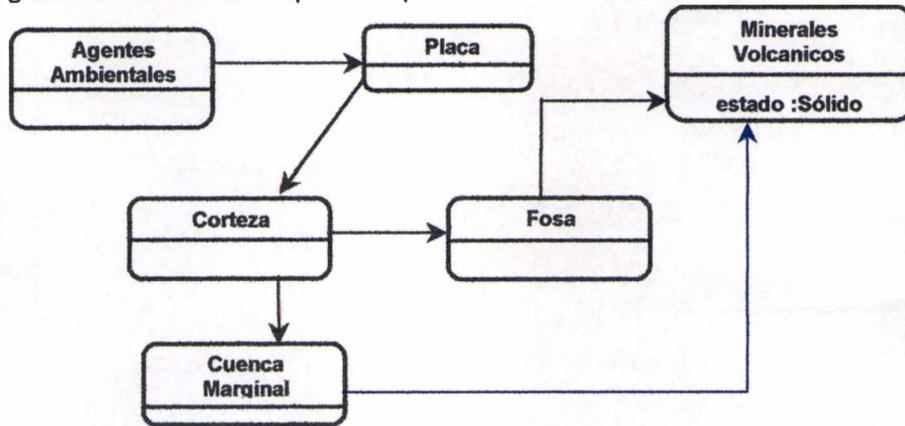


Diagrama de instancias despues del paso 5



6. Si la cuenca marginal recibe agua, se transforma en margen continental

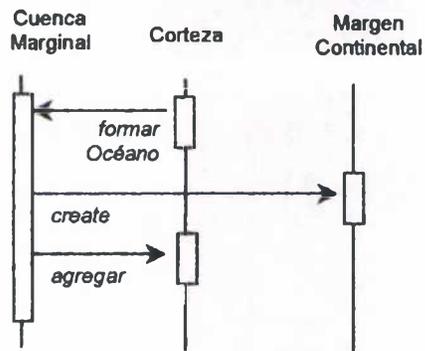
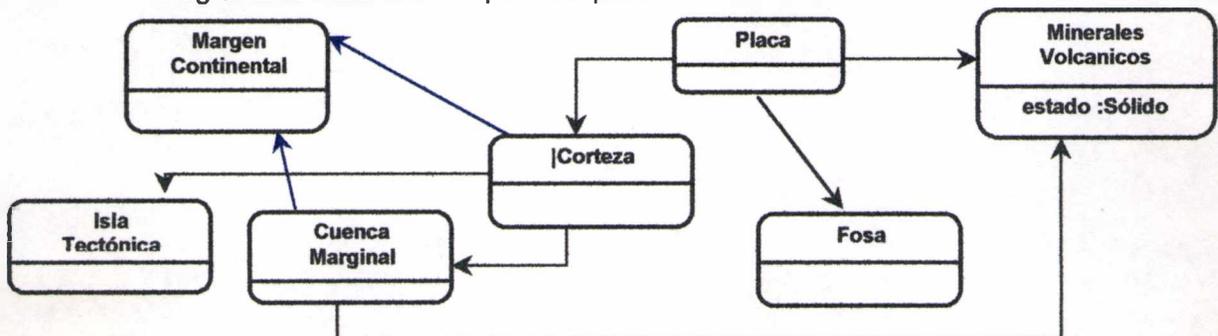


Diagrama de Instancias después del paso 6



### 4. 4. 3 Formación de Zonas de Subducción

PLACA

COMPORTAMIENTO

mover {Provoca el movimiento de la Placa y si choca con otra, detecta el choque y se lo notifica a la otra Placa}

if choca

```

then placa ← self detectarChoque
    self chocar:Placa
    
```

chocar: unaPlaca {Recibe la notificación del choque con una Placa y deriva el comportamiento en las corteza correspondiente}

corteza chocar:(unaPlaca corteza)

CORTEZA

COMPORTAMIENTO

chocar: unaCorteza {Si el peso de las rocas es mayor, entonces se hunde y busca al AG involucrado en el fenómeno. Si no existe, lo crea y crea un Límite Convergente}

if self peso > unaCorteza peso

```

then self hundirse En:aLocation
    AG ← buscarAGen:aLocation
    if (hay AG)
    
```

```

        then AG moveDown En:aLocation
    
```

```

        else {Establecer la profundidad en una unaProfundidad}
    
```

límite ← (Límite Convergente create) with:((Fosa create) profundidad: unaProfundidad)

```

self placa agregar: límite En:aLocation
    
```

```

(Placa de unaCorteza) agregar: límite En:aLocation
    
```

```

{Establecer el parámetro de perdida de superficie en unaSuperficie}
    
```

```

self superficie: (self superficie - una Superficie)
    
```

peso {Devuelve el peso de las rocas de la corteza}

self rocas peso

FOSA

COMPORTAMIENTO

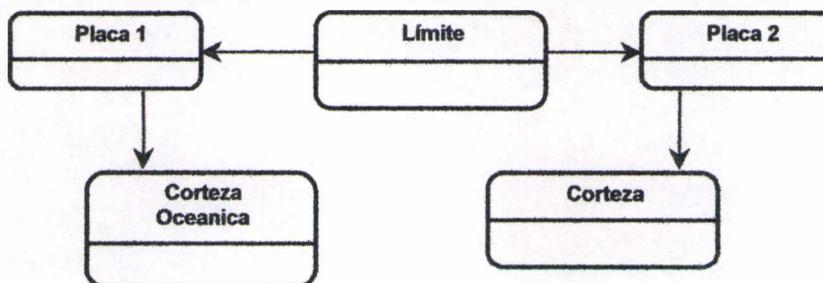
moveDown {Disminuye la profundidad de la fosa porque se hunde}

{Establecer el parámetro de aumento o perdida de profundidad en unaProfundidad}

Terremoto ← Terremoto create En:aLocation

self profundidad: (self profundidad - unaProfundidad)

Diagramas de instancias inicial



- Una placa se mueve y choca con otra placa, con la cual se forma una fosa y un límite convergente acompañada por actividad sísmica

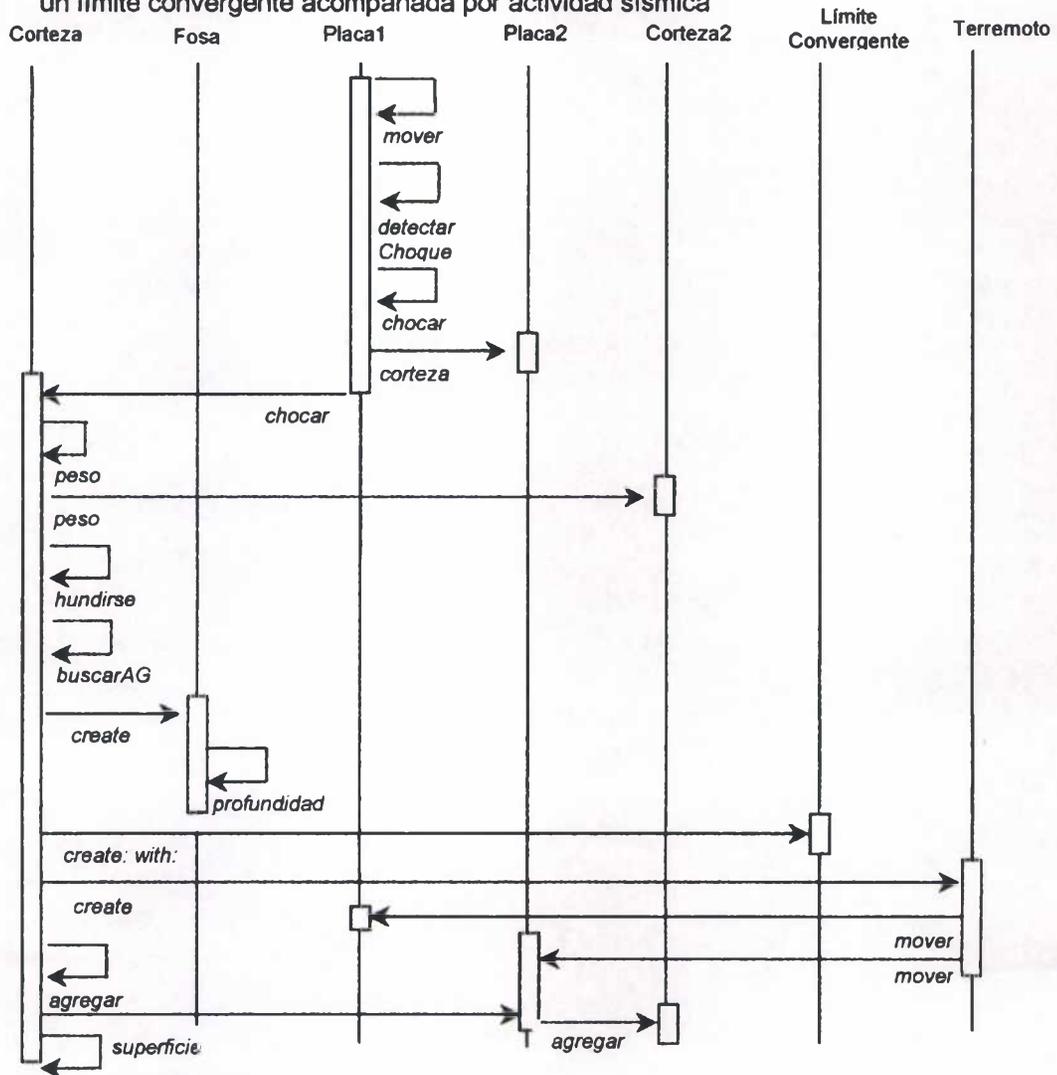
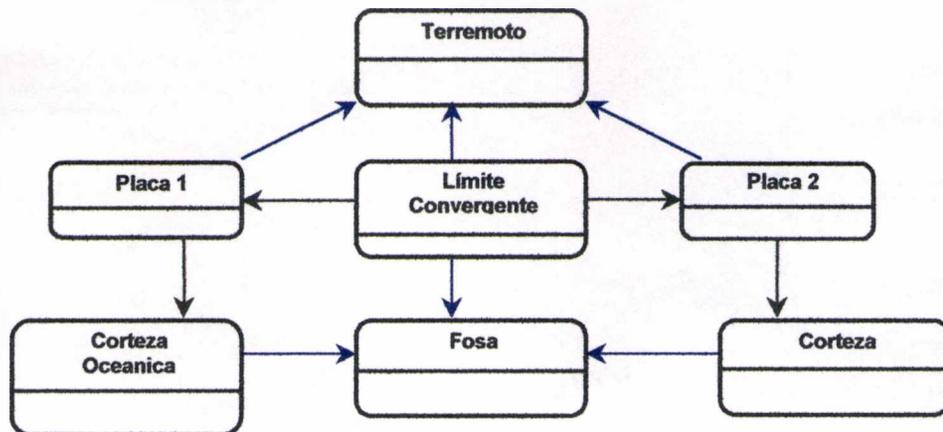
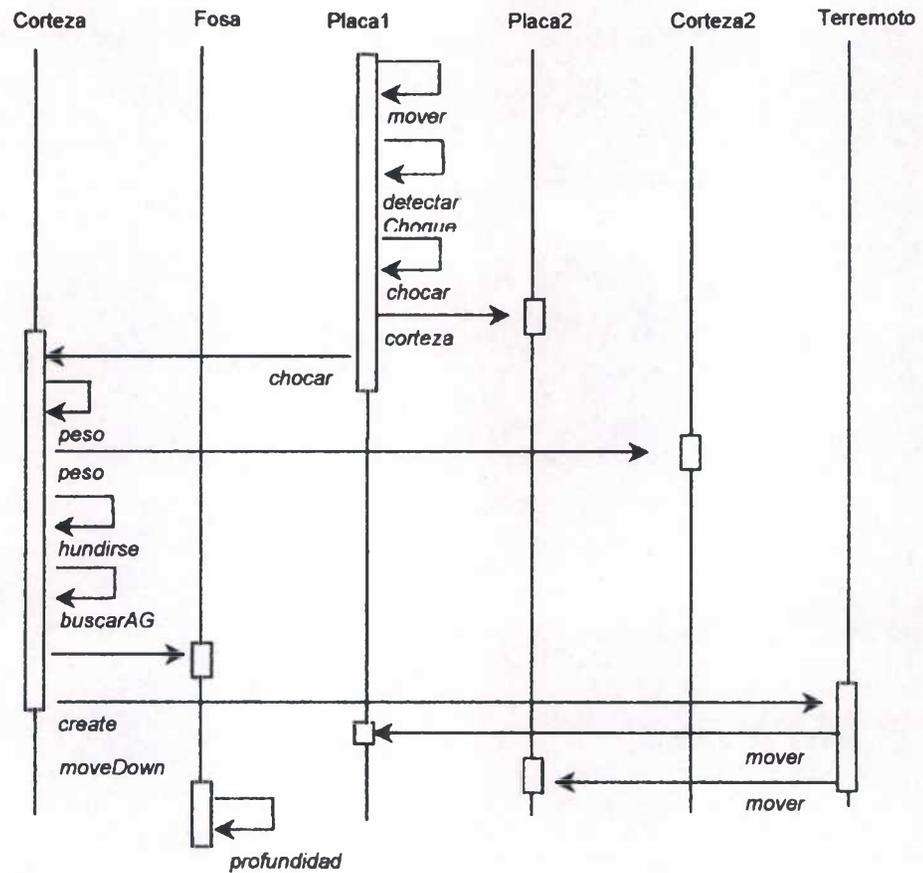


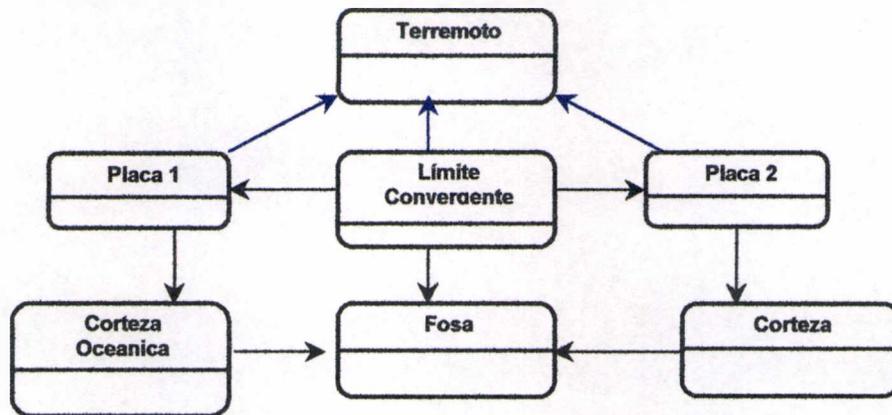
Diagrama de Instancias después del paso 1



2. El contacto entre las dos placas continúa provocando un aumento de la profundidad de la fosa acompañada de movimientos sísmicos



Diagramas de instancias después del paso 2



#### 4. 4. 4 Creación de Volcanes

CORRIENTES DE CONVECCION

COMPORTEAMIENTO

expulsar: unMV En: aLocation {Comienza el proceso de creacion de Volcanes}

for each placa → expulsar: unMV

PLACA

COMPORTAMIENTO

expulsar: unMV En: aLocation {Deriva en su corteza la presencia del magma}  
 corteza → corteza expulsar: unMV

CORTEZA

COMPORTAMIENTO

expulsar : unMV {Genera erupciones a partir del magma recibido}  
 AG ← (Forma Erupcion create) expulsar: unMV En: aLocation  
 if no hay AG En: aLocation  
     then self agregar: AG En: aLocation  
 self cambiar: AG

CORTEZA CONTINENTAL

COMPORTAMIENTO

cambiar: unAG En: aLocation  
 return null

CORTEZA OCEANICA

COMPORTAMIENTO

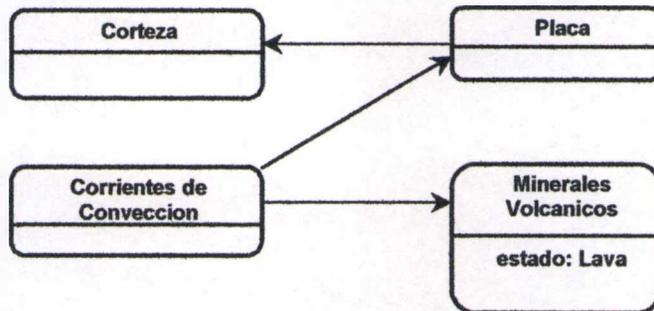
cambiar: unAG En: aLocation {Si la cresta del volcan ha superado el nivel del mar, crea una isla volcanica}  
 if AG cresta > nivel del mar  
     then isla ← Isla create  
         self agregar: isla  
         unAG agregar: isla

FORMA ERUPCION

COMPORTAMIENTO

expulsar: unMV {Es la erupcion del magma. Si no hay volcan, lo crea. Si hay un volcan, le agrega una capa}  
 expulsar  
 if (no hay Volcan)  
     then volcan ← (Volcan Create)  
 capa ← unMV enfriar  
 volcan agregar: capa

Diagrama de instancias inicial



1. La primera expulsión de magma crea el volcan y genera la primer capa

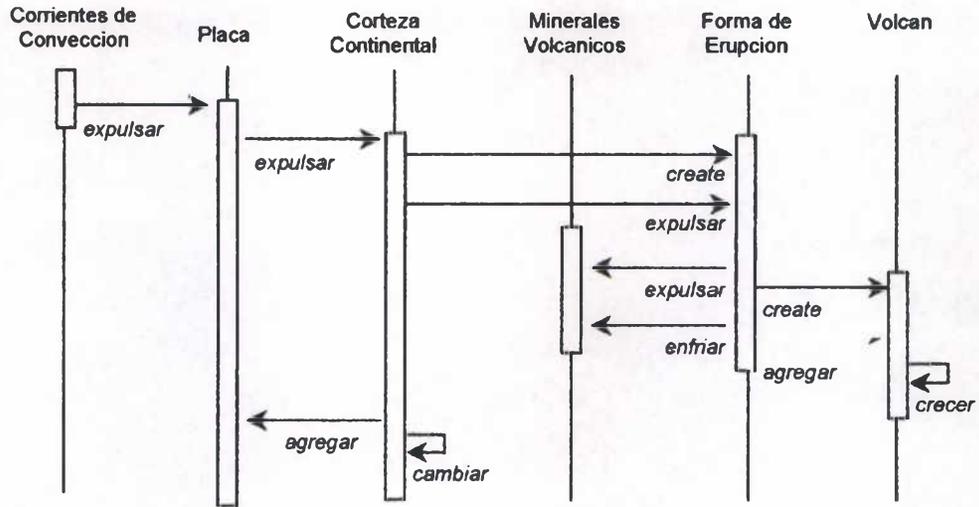
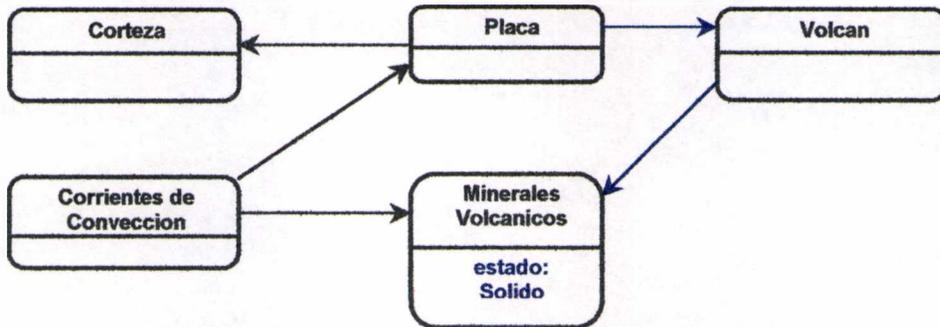


Diagrama de instancias después del paso 1



2. Continúa la expulsión de magma, pero si la corteza es continental sigue creando el volcan por capas

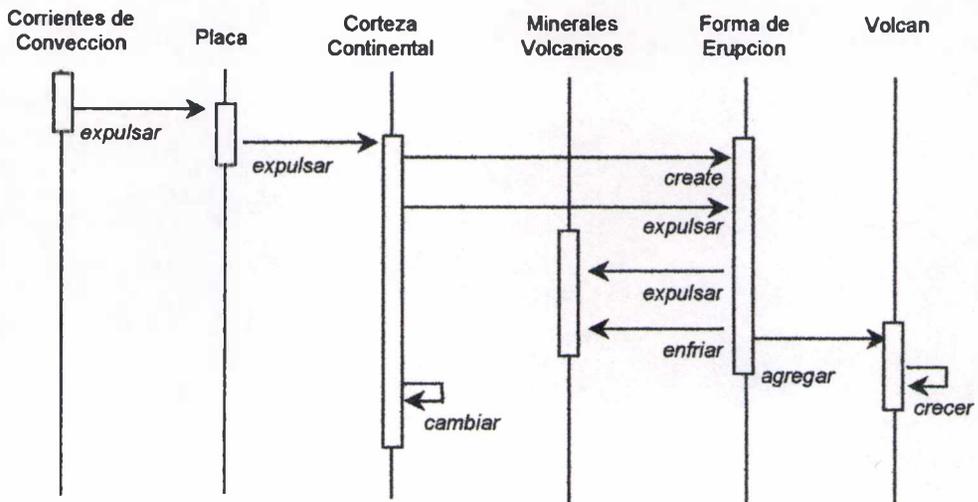
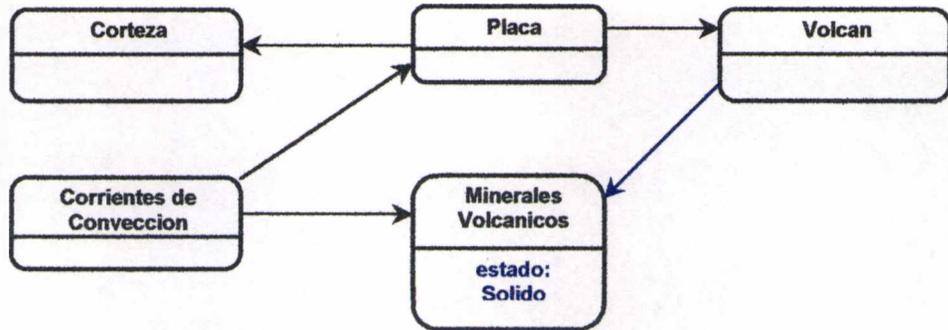
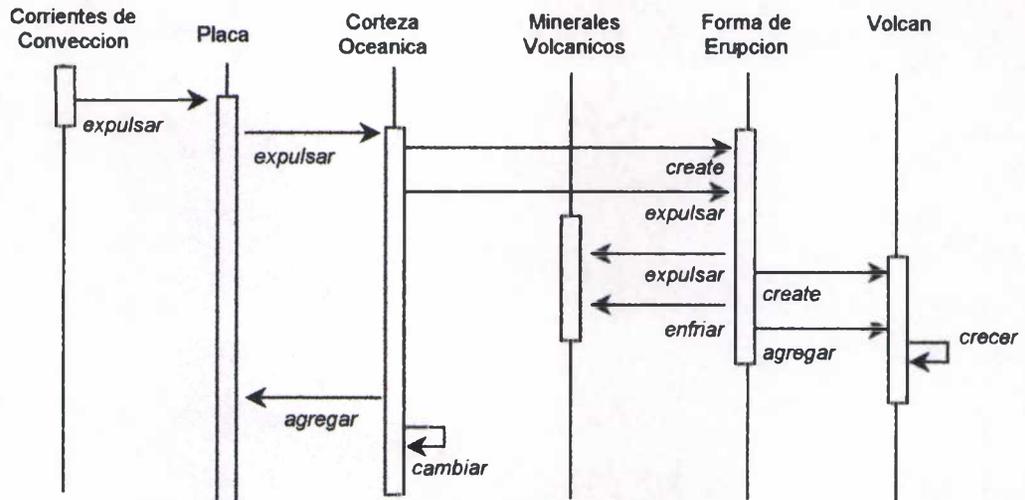


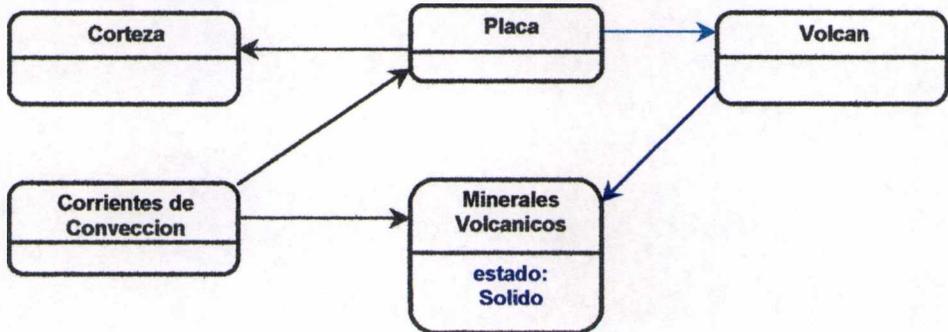
Diagrama de instancias despues del paso 2



3. Continúa la expulsion de magma, pero si la corteza es oceanica se sigue creando el volcan por capas, y se testea si no supera el nivel del mar pues entonces se crea una isla volcanica. En este caso, se supone que todavia la cresta no ha superado el nivel del mar



Diagramas de instancia despues del paso 3





# **Capítulo 5**

# **CONCLUSIONES**

**S.I.G. + Océanos = Una extraña combinación**

***Sedimentación y Crecimiento Continental  
en Modelos de SIG***

## Capítulo 5 - CONCLUSIONES

### 5. 1 ANALISIS CRITICO DE LA ARQUITECTURA PLANTEADA

En el capítulo anterior, se puede ver que en el análisis de los elementos participantes de los fenómenos oceanográficos estudiados, se planteó una estructura básica que fue usada para definir el resto de las estructuras de datos. La estructura básica es la CLASE SUPERFICIE. Dentro de la definición, se incluyeron los conceptos: profundidad y altura, que pueden considerarse relacionados. Es decir, se podría pensar que la profundidad es un valor negativo del altura. Sin embargo, tener estos dos datos por separado tiene ciertas ventajas.

Supongamos la dorsal oceánica definida con dos campos continuos, como lo muestra la figura 5.1, donde en rojo se marca el campo continuo de profundidad y en verde el campo continuo de altura.

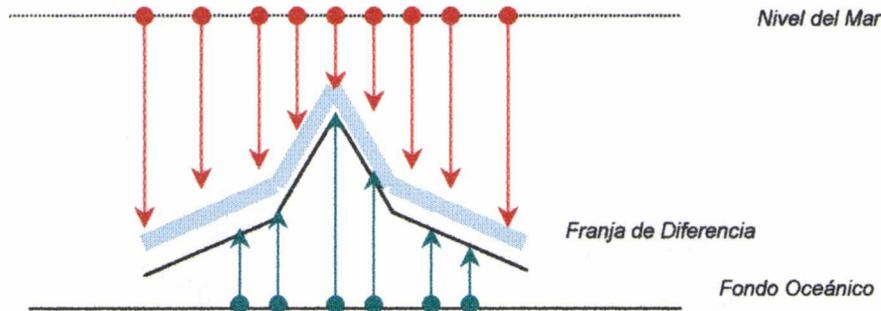


Figura 5.1 Definición de una elevación con dos campos continuos

A primera vista, parecen datos repetidos pero se puede generar una franja de diferencia entre las dos medidas, situación que puede darse por dos muestras de datos diferentes en fecha o en originadas por fuentes diferentes. Esto es posible dentro del dominio estudiado pues estas son formaciones en continuo cambio, generando incertidumbre en las mediciones. Con lo cual deberá contarse con algún método de compatibilidad entre las dos medidas, que permita no solo relacionar dos medidas tomadas en la misma posición (por ejemplo, latitud y longitud) que difieren en su valor medido, sino también estimar con mayor precisión un dato. Esta operación será provista por los Campos Continuos [Gordillo98]. Este planteo obviamente apunta a las cuestiones de precisión en un dominio caracterizado por los cambios constantes. Esta última característica también se manifiesta al poder definir una superficie con cinco atributos semánticamente muy diferentes.

Con respecto al uso de los modelos orientados a objetos, es claro que el principio de herencia resulta de mucha utilidad en este dominio. Cuando se planteó el modelo de Límites, se usó una jerarquía para caracterizar los distintos tipos de fallas. Sin embargo, se ha descubierto que hay lugares en la Tierra donde no se sabe con exactitud si existen límites conocidos o si hay un comportamiento diferente de los límites conocidos. Si se descubriera esta última posibilidad, con la creación de una subclase de

la clase Límite, con el nuevo límite y sus operaciones sin modificar la arquitectura planteada y generando nueva información necesaria dentro de los fenómenos estudiados.

Otro principio útil ha sido el de composición, que permitió describir los conceptos de Superficie y Elevación con una composición de Superficies. Esto apunta claramente a mantener los conceptos semánticos en la modelización de los datos, logrando acercarnos a lo planteado en el capítulo 1 con respecto a la vista de los usuarios.

Hay dos desventajas muy evidentes en esta arquitectura. Las dos se relacionan con la definición de Elevación y Superficie. Una es el costo de poder representar los conceptos semánticos de los datos es que, en realidad, cada objeto que sea instancia de alguna de estas clases es un set de superficies. Por ejemplo, para definir la montaña de la figura 5.2, se usan 4 superficies. Si uno se interesa en un nivel de precisión mayor, posiblemente se tendrá un número mayor de superficies que definan al objeto.

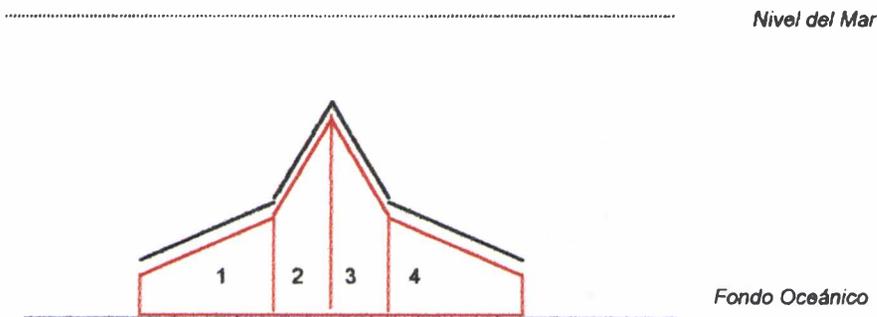


Figura 5.2 Definición gráfica de una elevación

La segunda desventaja es que se debe asumir un criterio de restricción con respecto al uso de las clases Superficie, Elevación y Depresión. Esto se debe a que se puede generar un solapamiento de objetos que parecen diferentes, pero que en realidad representan la mismo objeto. Por ejemplo, la figura 5.3 muestra ese problema con la definición de Fosa y Monte Submarino.

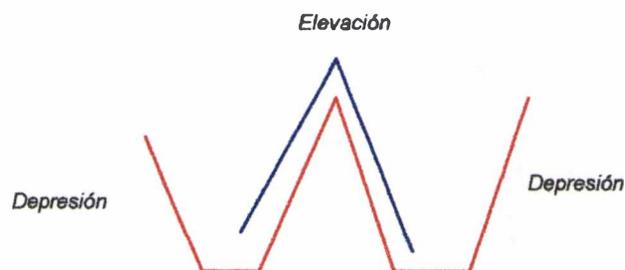


Figura 5.3 Definición de una Elevación y dos Depresiones

La Elevación y las dos depresiones comparten dos superficies, que son las que se solapan en la figura 5.3.

## 5. 2 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Esta tesis presentó una modelización de diferentes fenómenos de un dominio geológico, como es la Tectónica de Placas, con los procesos naturales asociados: el vulcanismo y los terremotos. Resulta claro lo extenso del dominio elegido, puesto que el estudio de un fenómeno específico deriva en distintas otras acciones de la naturaleza que no pueden obviarse, como por ejemplo, una zona de subducción experimenta cambios en la fosa que contiene, y esto provoca no solamente movimientos sísmicos, sino también la formación de volcanes (y eventualmente islas) paralelos a la fosa. Para poder analizar y diseñar este complejo dominio, se aplicó el principio de modularidad [Rumbaugh et. al. 91], de esta manera se fueron "aislando" los procesos, y analizando los elementos por separado, y luego se mostraron cómo interactúan para simular los diferentes fenómenos.

Todos los modelos desarrollados son geográficos [Gordillo et. al. 97]. Es decir no hay modelos conceptuales, puesto que para la aplicación definida, todos los datos modelizados tenían características espaciales. Eventualmente, podría definirse un modelo conceptual, como por ejemplo en GeoMargen Continental. Se definiría una clase Conceptual con atributos como nombre y océano que la cubre y usando el Decorator [Gamma et. al. 94], usar GeoMargenContinental como su objeto geográfico.

El resultado del análisis del dominio fue clases adaptables que permiten representar muchos accidentes geográficos sin demasiadas complicaciones, y usando siempre la técnica de modelización orientada a objetos y el uso de los Patrones de Diseño.

Los trabajos futuros se dividen en diferentes aspectos específicos:

- Los agentes ambientales (temperatura, vientos, lluvias, etc.) afectan en la formación de costas. El esquema de modelización presentado se refinará, con la modelización de los agentes ambientales y las acciones efectivas que modifican la morfología de las costas
- Solamente los atributos más importantes de los objetos, que tenían relación con sistemas de medición (como por ejemplo la magnitud de los terremotos), se modelizaron. Muchas características (como por ejemplo la velocidad de viaje de las ondas sísmicas) tienen un sistema de medición propio. Como no era parte de esta tesis, uno de los objetivos será desarrollar un modelo de mediciones lo mas completo posible (o por lo menos que abarque todas las unidades de medición que maneja este dominio).
- La arquitectura planteada sirve para los fenómenos descriptos y muestra un patrón muy común para la definición de los objetos.



Figura 5.4 Manejo alternativo de Set de Superficie

La mayoría se expresan como conjuntos de superficies, con lo cual se estudiará las ventajas y desventajas de contar con una arquitectura alternativa mostrada en la figura 5.4, donde la clase Conjunto de Superficies tendría agrupado todo el comportamiento de máximos y mínimos con respecto a los atributos de la Clase Superficie.

- En la definición de las clases usando la clase Superficie, se derivó en las clases creadas cuál es el contenido de la superficie. Por ejemplo, en el caso del contenido de las cortezas se planteó que había rocas. Sin embargo, una simple exploración por el resto de los dominios relacionados a los océanos, como por ejemplo, el estudio de flora y fauna muestra que la mayoría presenta la diferenciación de datos en capas. En las profundidades, no vive el mismo tipo de especímenes que los que viven en las aguas mas próximas al nivel del mar. Por lo tanto se estudiará una arquitectura alternativa como la que se muestra en la figura 5.5, donde se usa el principio de herencia [Rumbaugh et. al. 91] para mostrar la adaptabilidad de la clase Superficie a otro dominio.

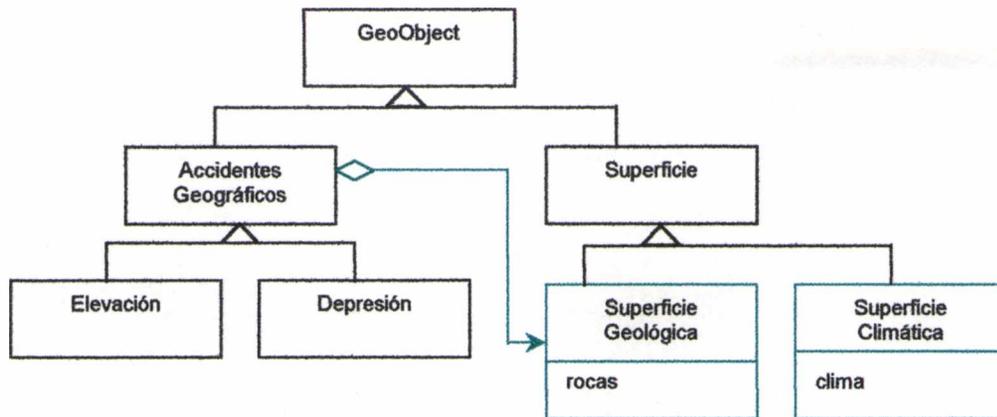


Figura 5.6 Manejo alternativo de Superficie

- La ultima etapa de esta modelizacion será la implementacion modular de la arquitectura en forma completa.

# **Capítulo 6**

## ***BIBLIOGRAFÍA APÉNDICE***

**S.I.G. + Océanos = Una extraña combinación**

***Sedimentación y Crecimiento Continental  
en Modelos de SIG***

---

## Capítulo 6 BIBLIOGRAFÍA - APÉNDICES

### 6.1 Referencias Bibliográficas

- [Alpert et. al. 98] S. Alpert, K. Brown, B. Woolf, *"The Design Patterns Smalltalk Companion"*, Addison Wesley, 1998
- [Aronoff 91] S. Aronoff, *"Geographic Information Systems"*, WDL Publications, 1991
- [Bonfatti et. al. 95] F. Bonfatti, A. Dallari, P. Monari, *"Capturing More Knowledge for the Design of Geological Information System"*, ACM-GIS '95: Proceedings of the 3<sup>rd</sup>. ACM International Workshop on Advances in Geographic Information Systems, 1995, pp.1-7
- [Booch 94] G. Booch, *"Object Oriented Analysis and Design, with Applications"*, Benjamin/Cummings Publishing Co., 1994
- [Booch et. al. 97] G. Booch, J. Rumbaugh, I. Jacobson, *"Unified Modeling Language User Guide"*, Addison Wesley, 1997
- [Egenhofer et. al. 95] M. Egenhofer, D. Mark, *"Naive Geography"*, Proceedings COSIT '95. Springer Verlag Lecture Notes in CS 988, 1995, pp.1-15
- [Fernandez et. al. 93] R. Fernandez, M. Rusinkiewicz, *"A Conceptual Design of a Soil Database for a GIS"*, International Journal of Geographic Information Systems, 7(6), 1993, pp. 525-540
- [Fowler 97] M. Fowler, *"Patterns: Reusable Object Model"*, Addison Wesley, 1997
- [Gamma et al. 94] E. Gamma, R. Helm, R. Johnson, J. Vlissides: *"Design Patterns. Elements of reusable Object Oriented Software"*, Addison Wesley, 1994.
- [Gordillo et. al. 97] S. Gordillo, F. Balaguer, F. Das Neves: *"Generating the Architecture of GIS Applications with Design Patterns"*. Proceedings of ACM-GIS '97, 5th Workshop on Advances in Geographic Information Systems, 1997, pp. 30-34
- [Gordillo 98] S. Gordillo, *"Modelizacion de Campos Continuos"*, Tesis de Magister de Ingenieria de Software, Fac. de Ciencias Exactas, UNLP, 1998
- [Hamre 93a] T. Hamre, *"Integrating remote sensing, in situ and model data in a Marine Information Systems (MIS)"*. Proc. Neste Generasjons SIG 1193, pp. 181-192, Norway, 1993
- [Hamre 93b] T. Hamre, *"User Requirement Specification for a Marine Information Systems"*. Technical Report 74, Nansen Environmental and Remote Sensing Center, 1993

- [Hamre 94] T. Hamre, "An object-Oriented conceptual model for measured and derived data varying in 3D space and time". T. C. Waugh, R. G. Healey Editors, Advances in SIG Research. Proceedings of the Sixth International Symposium on Spatial Data Handling, vol.2, pp.868-881, Taylor & Francis, 1994
- [Hamre 95] T. Hamre, "Development of semantic spatio temporal data models for integration of remote sensing and in situ data in a marine information system (MIS)" Ph.D Thesis, Department of Informatics, University of Bergen and Nansen Environmental and Remote Sensing Center, Bergen, Norway, 1995
- [Hamre 97] T. Hamre, K. Mughal, A. Jacob, "A 4D Marine Data Model : Design and Application in Ice Monitoring". Marine Geodesy, 20, pp.121-136, Taylor & Francis, 1997
- [Jacobson et. al. 92] I. Jacobson, M. Christerson, O Jonsson, G. G. Overgaard, "Object Oriented Software Engineering", Addison Wesley, 1992"
- [Kemp 97a] K. Kemp, "Fields as a Framework for integrating GIS and Environmental process models. Part I: Representing spatial community", Transactions in GIS, 1997, 1.3. pp 219-234
- [Kemp 97b] K. Kemp, "Fields as a Framework for integrating GIS and Environmental process models. Part II: Specifying field variables", Transactions in GIS, 1997, 1.3 pp.235-246
- [Laurini 92] R. Laurini, D. Thompson, "Fundamentals of Spatial Information Systems". Academic Press, 1996
- [Li et. al. 93] R. Li, N. Saxena, "Development of an Integrated Marine Information Systems", Marine Geodesy, Vol. 16, 1993, pp. 293-307
- [Maguire et. al. 91] D. J. Maguire, E. Dangermond, "Geographic Information Systems"-Vol. 1. John Wiley & Sons, 1991
- [Malan et. al. 96] R. Malan, D. Coleman, R. Lestinger , "The Next Generation of Fusion", Fusion Newsletter, 1996
- [Medeiros et. al. 94] C. B. Medeiros, J. L. De Oliveira, F. Pires, "An Environment for Modeling and Design of Geographic Applications", Geoinformatica, Kluwer Academic Publishers, Vol. 1, Nro. 1, Abril 1997, pp. 29-58
- [Open GIS 96] Open GIS Consortium (OGC) (1996b), "The Open GIS Guide- A Guide to Interoperable GeoProcessing" , <http://ogis.org/guide/guide1.html>
- [Panzarini 84] R. Panzarini, "Introducción a la Oceanografía General", Editorial Universitaria de Buenos Aires, 1984
- [Rhind et. al. 88] D. Rhind, S. Openshaw, N. Green, "The Analysis of Geographical Data: Data Rich, Technology Adequate, Theory Poor", Proceedings 4th International Working Conference on Statistical and Scientific Database Management", Springer Verlag Lecture Notes in Computer Science 339, 1988, pp. 427-454

- 
- [Rumbaugh et. al. 91] J. Rumbaugh, M. Blaha, M. Premerlani, W. Lorensen: *"Object Oriented Modelling and Design"*, Prentice Hall, 1991
- [Shekhar et. al. 97 ] S. Shekhar, M coyle, B. Goyal, D Ren Liu, S. Sarkar, *"Data Models in Geographic Information Systems"*, Communications of the ACM, 40.4, 1997
- [Star et. al. 90] J. Star, J. Estes, *"Geographic Information Systems. An Introduction"*. Prentice Hall, 1990
- [Strahler et. al. 89] A. Strahler, A. Strahler, *"Geología Física"*, Ediciones Omega, 1989
- [UNESCO 91] UNESCO, *El Océano y el Clima*, Boletín Internacional de Ciencias del Mar N° 55/56, 1991
- [Valdez 96] A. Valdez, *"Ciencias del Mar"*, Instituto de Publicaciones Navales, 1996
- [Walker 88] I. Walker, *" Requirements of an Object- oriented design method"*, Software Engineering Journal, 1988, pp.102-113
- [Wright 96] D. Wright, *"Rumblings on the ocean floor : SIG Support deep-sea research"*, Geo Info Systems, 6(1), pp.22-29, Taylor & Francis, 1996
- [Wright 97a] D. Wright, M. Goodchild, *"Data From the Deep : Implications for the SIG Community"*. International Journal of Geographic Information Systems, 11(6), pp. 523-328, 1997
- [Wright 97b] D. Wright, C. Fox, A. Bobbit, *"A scientific information model for deepsea mapping and sampling"*, Marine Geodesy, 20(4), pp.367-379, Taylor & Francis, 1997
- [Wright 98] D. Wright, *"Formation and Development of Fissures at the East Pacific Rise : Implications for Faulting and Magmatism at Mid-Ocean Ridges"*, AGU Faulting and Magmatism at Mid-Ocean Ridges, 1998 AGU Monograph, R. Buck, P. Delaney, J. Karson Editors, 1998

## 6.2 Apéndice: Glosario

### A

**Astenósfera:** La capa inferior del manto. Es la que mueve las placas de la Tierra. Fluye muy lentamente con la consistencia del asfalto caliente bajo presión.

### B

**Barra:** Acumulación de sedimentos, usualmente arenoso, que se forma en los bordes o en los canales de los ríos o en las cercanías de la playa

**Basalto:** roca ígnea oscura y muy fina compuesta de feldespato y piroxeno

### C

**Cámara de magma:** El magma se acumula en áreas de rocas débiles muy profundo en la superficie de la Tierra

**Cañón submarino:** cañón bajo el agua en la plataforma continental

**Conducto:** El pasaje principal para el magma

**Cono Cinder:** Formado por las erupciones de piedra pómez y cenizas. No superan los 1000 pies de altura. Se forman por erupciones muy violentas y pueden producir grandes cantidades de gases peligrosos

**Cono Shield:** El tipo de cono más grande. Se forman por muchas erupciones de lava líquida a través de la chimenea principal y de las fisura sobre los lados de la montaña.

**Corrientes de Convección:** Corrientes circulares causadas por la diferencia de temperaturas del fondo a la parte superior del manto. A causa de estas corrientes es que las placas de la Tierra se movieron en el pasado y se están moviendo en la actualidad. Estos movimientos de placas causan terremotos, construcción de montañas y vulcanismo

**Corteza Continental:** Compuesta de roca granítica liviana.

**Corteza Oceánica:** Compuesta de roca basáltica densa.

**Corteza:** La capa más externa de la Tierra. Está compuesta de placas oceánicas y continentales y está formada por material liviano denominado roca. La corteza y la capa más externa del manto se denominan litosfera. La litosfera es muy frágil y liviana y se mueve a causa de las corrientes de convección en la capa más baja del manto llamada astenosfera

**Cráter:** Apertura empinada que rodea la chimenea principal. Se forma por las erupciones repetidas de ceniza y lava

**Chimenea lateral:** Apertura secundaria en un volcán que permite el ascenso del magma a la superficie de la Tierra. Usualmente se localiza en los lados de un cono volcánico

**Chimenea Principal:** Apertura principal en un volcán. Se ubica en la parte principal del conducto

### D

**Deposición:** Término general para la acumulación de sedimentos por sedimentación física o química

**Dique:** Intrusión de magma que se transforma en un canal para el magma. Este canal conecta el conducto con la chimenea lateral.

**Dorsal Medio-Oceanica:** Formada en un límite de placa divergente. La cadena montañosa más larga del mundo con 40000 millas de longitud. Cuando las dos placas se separan, la lava llena el vacío creando nueva corteza.

## E

**Epicentro:** Lugar en la superficie de la Tierra sobre el foco.

**Erosión:** Conjunto de todos los procesos por los cuales el suelo y las rocas se desgastan

**Erupción Hawaiiiana:** Muy similar a la erupción Islándica, la diferencia está en que la mayoría de la lava fluye por la chimenea principal

**Erupción Islándica:** Se produce a través de muchas grietas extensas en la Tierra llamadas fisuras. Se la conoce como erupción de inundación a causa de la cantidad de lava que produce.

**Erupción Peleana:** Erupción más catastrófica. Generan nubes de gas y ceniza con altas temperaturas

**Erupción Pliniana:** Tipo más explosivo de las erupciones.

**Erupción Stromboliana:** Explosiva pero de corta vida. Expulsa lava gruesa y pastosa al aire con explosiones de vapor y gas

**Erupción Vulcaniana:** Más violenta y explosiva que las erupciones strombolianas. Causa altas nubes oscuras de vapor, cenizas y gas

**Escala de Richter:** Escala usada para identificar la fuerza de un terremoto.

## F

**Falla:** Extensa grieta en la corteza de la Tierra

**Fisura:** Larga grieta en la superficie de la Tierra por donde fluye magma y gases

**Foco:** Lugar en la corteza de la Tierra donde ocurre un terremoto. Se encuentra usualmente en las profundidades de la superficie de la Tierra

**Fosas:** Se forman en las zonas de subducción. Son las partes más profundas de los océanos y los puntos más bajos de la corteza de la Tierra.

**Frecuencia:** Número de oscilaciones en un tiempo dado

## G

**Guyot:** Montaña sumergida o monte marino

## H

**Horst:** Bloque elevado de corteza forma una elevación o meseta, típicamente limitado por fallas paralelas

**I**

**Isla de Barra:** Isla larga y angosta paralela a la costa, compuesta de arena y construida por el acción de las olas

**L**

**Lava:** Roca derretida que alcanzó la superficie de la Tierra

**Límite Convergente:** Límite donde dos placas colisionan generando construcción de montañas o zonas de subducción

**Límite de Transformación:** Límite donde dos placas se deslizan una respecto la otra, generando fallas.

**Límite Divergente:** Límite donde dos placas se separan, generando formación de nueva corteza a causa del flujo de magma

**Litosfera:** la corteza y la capa rígida superior del manto parecen moverse juntas y forman las placas de la Tierra.

**M**

**Magma:** Roca derretida bajo la superficie de la Tierra.

**Magnitud:** Medida de la intensidad de un terremoto

**Manto:** la capa más grande de la Tierra localizada directamente bajo la corteza. Está compuesto de roca muy caliente, densa y flotante. El material en el manto circula a causa de las corrientes de convección

**Metamorfismo:** Cambios de mineralogía y textura impuesta en una roca por la presión y la temperatura en el interior de la Tierra.

**Monte marino:** montaña aislada en el suelo marino que puede extenderse más de 1 kilómetro desde la base hasta la cima

**O**

**Ondas de Cizalla:** Son el segundo tipo de onda que sacuden un área. Son las llamadas Ondas S (Secundarias). Viajan más lento que las Ondas P

**Ondas de Compresión:** Son las primeras olas y las más rápidas en un terremoto. Son las llamadas Ondas P (Primarias).

**Ondas Sísmicas:** Son causadas por la liberación rápida de energía causada por los movimientos en la corteza de la Tierra

**Ondas Superficiales:** Son las últimas ondas que sacuden un área. Son las ondas más lentas y están confinadas a la superficie de la Tierra. Se dividen en dos tipos: Ondas L y las Ondas R

**P**

**Periodo:** Tiempo transcurrido en una oscilación completa

**Placas:** La litosfera está dividida en 12 placas principales. Se mueven muy lentamente, de 1 a 4 pulgadas por año aproximadamente

**Plano de Falla:** Plano que mejor aproxima la superficie de fractura de una falla

**Pómez:** Forma de cristal volcánico, usualmente de composición silíceo, muy parecido a una esponja y muy liviana

**T**

---

**Terremoto:** Movimiento oscilatorio violento del suelo causado por el paso de las ondas sísmicas

**Toba:** Roca formada por la mezcla de lava y ceniza. Se forma en los laterales de los volcanes strato

## V

**Valle de grietas:** falla formada en una zona de divergencia u otra área de tensión

**Volcán Activo:** Volcán que aún erupciona o ha erupcionado en algún momento de su historia

**Volcán Extinto:** Volcán que no ha erupcionado en su historia y se considera que no lo hará

**Volcán Inactivo:** Volcán que no están erupcionando en la actualidad, pero lo hecho en algún momento de la historia y se considera que puede hacerlo otra vez

**Volcán Strato:** El cono volcánico más peligroso. Se produce por las erupciones alternadas de ceniza y lava.

**Volcán:** Apertura en la superficie de la Tierra por donde fluye lava, gas y material piroclástico

## Z

**Zonas de Subducción:** Formada en un límite de placas convergentes. Una placa es más liviana y más gruesa que la otra causando que la placa más densa y más fina se hunda en el manto. Son áreas del mundo afectadas por terremotos y vulcanismo