



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN COMPUTACIÓN

**REPRESENTACIÓN ONTOLÓGICA BASADA EN
DESCRPTORES SEMÁNTICOS APLICADA A
OBJETOS GEOGRÁFICOS**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

DOCTOR EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

PRESENTA:

M. EN C. MIGUEL JESÚS TORRES RUIZ

DIRECTOR DE TESIS:

DR. SERGUEI LEVACHKINE



México, D.F.

NOVIEMBRE, 2007

Agradecimientos

Este trabajo de tesis lo dedico a todas las personas que han estado conmigo durante todo este tiempo. . .

Un agradecimiento especial para mis padres que siempre han estado detrás de mí y me dieron su apoyo para culminar este objetivo.

Asimismo quiero agradecer a todos mis amigos por su apoyo en todos los sentidos, por las noches de desvelo y diversión que siempre hemos compartido.

Por último solo me resta un agradecimiento muy especial a mi asesor el Dr. Serguei Levachkine por sus conocimientos, regaños, motivación, paciencia y consejos científicos durante el desarrollo de esta tesis.

A todos gracias totales. . .

Resumen

En esta tesis se presenta la metodología GEONTO – MET, orientada a formalizar la conceptualización del dominio geográfico, considerando las especificaciones del INEGI. El espíritu de esta metodología es proporcionar un conjunto de descripciones semánticas que reflejen las propiedades y relaciones que describen entre sí el comportamiento de los objetos geográficos, tomando estos elementos directamente de la ontología de dominio geográfico diseñada para este fin.

GEONTO – MET está compuesta por cuatro etapas de desarrollo: La etapa de *análisis* proporciona un modelo de abstracción sobre los posibles objetos del dominio geográfico. La etapa de *síntesis* obtiene la conceptualización del dominio geográfico. La etapa de *procesamiento* proporciona un conjunto de ontologías de aplicación (contexto turístico y topográfico); así como una ontología de dominio denominada *Kaab-Ontology*. Por último, la etapa de *descripción* da una representación alterna de los objetos geográficos; así como la integración de los mismos en una plantilla semántica de descripción y en formato XML. Esta metodología de conceptualización está basada en un conjunto mínimo de relaciones axiomáticas, lo cual permite traducir las relaciones entre conceptos directamente a la conceptualización, con la ventaja de obtener una *resolución semántica* mayor o más refinada en la definición de tales relaciones. La minimización de las relaciones axiomáticas se logra al utilizar únicamente un par de conjuntos ($A_1 = \{es, tiene, hace\}$ y A_2 siendo éste el conjunto de preposiciones del idioma español), con los cuales es posible definir el resto de las relaciones presentes en el dominio geográfico.

Como caso de estudio se han diseñado ontologías de aplicación con base en la metodología propuesta. Éstas reflejan la *conceptualización* real de cada uno de los contextos a los cuales apuntan, y describen en forma explícita la semántica de cada uno de los elementos que componen este entorno. Se ha implementado un mecanismo de recuperación de conceptos, basado en *Protégé* y *Jena* para acceder a las ontologías, a través de consultas en SPARQL. Las instancias de conceptos recuperadas pueden ser visualizadas en una aplicación *web-mapping* o en forma tabular.

Las plantillas y descripciones obtenidas de GEONTO – MET reflejan en forma explícita las propiedades y relaciones de los objetos geográficos representados por conceptos, con lo cual se describe en esencia el *comportamiento* que éstos presentan entre sí y se refleja la *semántica* misma de éstos. La estructura de estas plantillas tiene como objetivo intentar generar una remembranza de la manera en la cual los seres humanos percibimos el mundo real en su forma más natural; así como la forma en la que nos comunicamos e interpretamos cognitivamente nuestro entorno.

En consecuencia, este trabajo aporta una metodología que permite *integrar* y *compartir* información geoespacial. GEONTO – MET proporciona soluciones viables hacia estos tópicos y otros, como el hecho de *compactar* datos mediante estructuras alternas a modelos tradicionales y evitar la *ambigüedad* de términos al utilizar una conceptualización del dominio.

Este trabajo sienta las bases para una futura interpretación automática de regiones geográficas orientado al soporte de toma de decisiones, haciendo uso de la conceptualización del dominio geográfico; con el objeto de generar nuevo conocimiento en forma automática y realizar un análisis más profundo del entorno geoespacial. El hecho de contar con una descripción semántica de un entorno geográfico, permite establecer las bases orientadas hacia un *razonamiento espacial*; es decir, el hecho de conocer el comportamiento que presentan los objetos geográficos inmersos en una partición geográfica es de suma importancia para *entender* e *interpretar* la *semántica* que representan y explotar la *inferencia* implícita que posee la conceptualización.

Contenido

<u>LISTA DE FIGURAS</u>	<u>V</u>
<u>LISTA DE TABLAS</u>	<u>XI</u>
<u>RESUMEN</u>	<u>XIII</u>
<u>ABSTRACT</u>	<u>XV</u>
<u>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN</u>	<u>1</u>
1.1 GENERALIDADES	1
1.2 OBJETIVOS	6
1.2.1 OBJETIVO GENERAL	6
1.2.2 OBJETIVOS PARTICULARES	6
1.3 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN DE ESTA TESIS	7
1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL TRABAJO	8
1.5 JUSTIFICACIÓN	12
1.6 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.7 COMPARATIVO: ENFOQUE CLÁSICO VS. ENFOQUE PROPUESTO	20
1.8 HIPÓTESIS	22
1.8.1 DEFINICIONES INTUITIVAS RELACIONADAS CON LA HIPÓTESIS	24
1.9 AUDIENCIA O LECTORES DE ESTA TESIS	28
1.10 ORGANIZACIÓN DE LA TESIS	29
<u>CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE</u>	<u>31</u>
2.1 INTRODUCCIÓN	31
2.2 ANTECEDENTES	31
2.3 ENFOQUE GENERAL	33
2.3.1 SMITH, B. & MARK, D., 2001	34

2.3.2	SMITH, B. & MARK, D., 1998	35
2.3.3	FONSECA, F., DAVIS, C. & CÂMARA G., 2003	36
2.3.4	GUARINO, N., 1998	38
2.3.5	EGENHOFER, M.J., GLASGOW, J., GÜNTHER, O., HERRING, J.R., <i>ET AL.</i> , 1999	41
2.3.6	BISHR, Y. & KUHN, W., 2000	43
2.3.7	SPACCAPIETRA, S., CULLOT, N., PARENT, C., <i>ET AL.</i> , 2004	45
2.3.8	SHARMA, J., FLEWELLING, D. & EGENHOFER, M.J., 1994	48
2.3.9	BERNARD, L., EINSPANIER, U., HAUBROCK, S., <i>ET AL.</i> , 2004	50
2.3.10	LI, M., ZHOU, S. & JONES, C.B., 2002	53
2.3.11	SMITH, B. & MARK, D.M., 2003	56
2.3.12	KAVOURAS, M. & KOKLA, M., 2000	60
2.3.13	BATEMAN, J. & FARRAR, S., 2004	64
2.3.14	MIZEN, H., DOLBEAR, C. & HART, G., 2005	66
2.3.15	FONSECA, F., EGENHOFER, M.J. & AGOURIS, P., 2002	74
2.3.16	SMITH, B., 2004	89
2.3.17	STEYVERS, M. & TENENBAUM, J.B., 2005	94
2.4	COMENTARIOS FINALES Y ANÁLISIS CRÍTICO	98

CAPÍTULO 3. MARCO TEÓRICO **109**

3.1	INTRODUCCIÓN	109
3.2	PERCEPCIONES INTUITIVAS SOBRE ONTOLOGÍAS	109
3.3	ANÁLISIS DIFERENCIAL DEL TÉRMINO ONTOLOGÍA EN UN SENTIDO FILOSÓFICO Y EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN	113
3.4	ONTOLOGÍA	118
3.4.1	DIVERSAS DEFINICIONES DE ONTOLOGÍA	123
3.4.2	ANÁLISIS CRÍTICO DE LA DEFINICIÓN DE GRUBER	125
3.4.3	APLICACIONES Y CARACTERÍSTICAS DE LAS ONTOLOGÍAS	129
3.5	FORMALIZACIÓN DEL TÉRMINO CONCEPTUALIZACIÓN	131
3.6	FORMALIZACIÓN DEL TÉRMINO ONTOLOGÍA	134
3.7	TIPOS DE ONTOLOGÍAS	136
3.8	DEFINICIÓN DE REDES SEMÁNTICAS	139
3.9	DEFINICIÓN DE ESQUEMAS CONCEPTUALES	147
3.10	METODOLOGÍAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE ONTOLOGÍAS	154
3.10.1	SISTEMA ONTOCLEAN	159
3.10.2	SISTEMA ONTOLINGUA	159
3.10.3	SISTEMA (KA) ²	160
3.10.4	SISTEMA AFFORDANCE	161
3.10.5	SISTEMA PROTÉGÉ	161

CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA PROPUESTA **163**

4.1	INTRODUCCIÓN	163
4.2	DESCRIPCIÓN GENERAL DE GEONTO – MET	164
4.3	DESCRIPCIÓN FUNCIONAL DE GEONTO – MET	168
4.4	HIPÓTESIS PARA CONCEPTUALIZAR EL DOMINIO GEOGRÁFICO	171
4.5	CONCEPTUALIZACIÓN DEL DOMINIO GEOGRÁFICO	175
4.5.1	DEFINICIÓN DE AXIOMAS	180
4.5.2	DEFINICIÓN DE RELACIONES	191
4.5.3	DEFINICIÓN DE PROPIEDADES	193
4.5.4	DEFINICIÓN DE HABILIDADES	195
4.5.5	DEFINICIÓN DE INSTANCIAS	197
4.5.6	DEFINICIÓN DE CONCEPTOS	199
4.5.7	DEFINICIÓN DE CLASES DE ENTIDADES ABSTRACTAS	200
4.5.8	DEFINICIÓN DE RESTRICCIONES	205
4.6	VECINDAD DE CONCEPTOS ASOCIADA AL CONTEXTO DE <i>KAAB-ONTOLOGY</i>	209
4.6.1	DEFINICIÓN DE LA VECINDAD DE CONCEPTOS BASADA EN UN CONTEXTO	211
4.7	ESQUEMA CONCEPTUAL PARA GENERAR DESCRIPCIONES SEMÁNTICAS DE <i>KAAB-ONTOLOGY</i>	217
4.8	GENERACIÓN DE LA PLANTILLA DE DESCRIPCIÓN SEMÁNTICA	228
4.8.1	MECANISMO PARA GENERAR PLANTILLA DE DESCRIPCIÓN	235
4.9	RECUPERACIÓN DE OBJETOS GEOGRÁFICOS UTILIZANDO <i>KAAB-ONTOLOGY</i>	246

CAPÍTULO 5. RESULTADOS EXPERIMENTALES **257**

5.1	INTRODUCCIÓN	257
5.2	DISEÑO DE LAS ONTOLOGÍAS	258
5.2.1	MODELADO DE LA ONTOLOGÍA DE DOMINIO GEOGRÁFICO	260
5.2.2	MODELADO DE LAS ONTOLOGÍAS DE APLICACIÓN	276
5.2.2.1	Ontología de aplicación del contexto turístico	276
5.2.2.2	Ontología de aplicación del contexto topográfico	293
5.3	EJEMPLO PARA GENERAR UNA DESCRIPCIÓN SIMBÓLICA Y SEMÁNTICA	324
5.3.1	GENERACIÓN DEL DIAGRAMA DE DESCRIPCIÓN SIMBÓLICA Y SEMÁNTICA	326

5.4 RECUPERACIÓN DE OBJETOS GEOGRÁFICOS UTILIZANDO <i>KAAB-ONTOLOGY</i>	349
<u>CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES</u>	<u>359</u>
6.1 TRABAJOS A FUTURO	369
<u>REFERENCIAS</u>	<u>373</u>
<u>ANEXO 1. CÓDIGO FUENTE</u>	<u>391</u>
<u>ANEXO 2. ONTOLOGÍA DE DOMINIO</u>	<u>409</u>

Lista de Figuras

FIGURA 1.1. HETEROGENEIDAD DE DATOS ESPACIALES INMERSOS EN LA INTEGRACIÓN DE GEO-INFORMACIÓN PARA APLICACIONES DE CRECIMIENTO URBANO	16
FIGURA 1.2. ENTIDAD DINÁMICA Y OBJETO IMPRECISO PARA OBTENER LOS LÍMITES DE LA CIUDAD DE MÉXICO	17
FIGURA 1.3. OBJETOS <i>BONA FIDE</i> Y <i>FIAT</i> , LOS CUALES PRESENTAN AMBIGÜEDADES EN BASES DE DATOS GEOGRÁFICAS.....	18
FIGURA 2.1. FRAGMENTO DE ONTOLOGÍA <i>MEX</i> PARA LOCALIZAR INSTANCIAS DEL CONCEPTO “ <i>LAGO</i> ”	79
FIGURA 2.2. MEZCLA DE CONTEXTOS PARA COMPLETAR DESCRIPCIONES DE CONCEPTOS	80
FIGURA 2.3. ESTRUCTURAS DE GRAN ESCALA PARA REDES SEMÁNTICAS: (A) UNA JERARQUÍA DE ÁRBOL ESTRUCTURADA, (B) UN GRAFO ARBITRARIO NO ESTRUCTURADO, (C) UN GRAFO PEQUEÑO DE ESCALA LIBRE.....	95
FIGURA 3.1. AQUÍ SE MUESTRAN DIVERSAS ESTRUCTURAS DE DATOS PARA PODER REPRESENTAR EL VOCABULARIO DE ALGÚN LENGUAJE, EN DONDE ESTE VOCABULARIO DESCRIBE OBJETOS O COSAS. EN (A) SE PRESENTA UNA TAXONOMÍA PARA CLASIFICAR PALABRAS DEL VOCABULARIO DE UN LENGUAJE. EN (B) SE MUESTRA UNA JERARQUÍA QUE CONTIENE SOLO UNA RELACIÓN Y SU PARTICIÓN ES COMPLETA. EN (C) SE DESPLIEGA UNA ONTOLOGÍA CON UNA PARTICIÓN COMPLETA Y UN CONJUNTO DE RELACIONES.....	111
FIGURA 3.2. BLOQUE SOBRE UNA MESA.....	126
FIGURA 3.3. UN ARREGLO DE BLOQUES DIFERENTE. ¿ES ÉSTA UNA CONCEPTUALIZACIÓN DIFERENTE?	127
FIGURA 3.4. LOS MODELOS PENSADOS DE UN LENGUAJE REFLEJAN SU COMPROMISO A UNA CONCEPTUALIZACIÓN. UNA ONTOLOGÍA REFLEJA INDIRECTAMENTE ESTE COMPROMISO (Y LA CONCEPTUALIZACIÓN FUNDAMENTAL) APROXIMANDO ESTE CONJUNTO DE MODELOS PENSADOS (GUARINO, N., 1998)	134
FIGURA 3.5. TIPOS DE ONTOLOGÍAS DE ACUERDO CON SUS NIVELES DE DEPENDENCIA SOBRE UNA TAREA PARTICULAR O PUNTO DE VISTA. LAS FLECHAS REPRESENTAN RELACIONES DE ESPECIALIZACIÓN ENTRE LOS TIPOS DE ONTOLOGÍAS.....	138
FIGURA 3.6. REPRESENTACIÓN DE TRES PLANOS DEL SIGNIFICADO DE “ <i>PLANTA</i> ”	141
FIGURA 3.7. UN EJEMPLO DE RED SEMÁNTICA	144
FIGURA 3.8. TIPO DE RELACIÓN <i>ES-UN</i>	146
FIGURA 3.9. TIPO DE RELACIÓN <i>TIENE-UN</i>	146
FIGURA 3.10. PROCESO DE MODELADO TRADICIONAL.....	151
FIGURA 3.11. PROCESO DE MODELADO MANEJADO POR ONTOLOGÍAS.....	152
FIGURA 3.12. PROCESO DE MODELADO BASADO EN ONTOLOGÍAS	152
FIGURA 4.1. ESTRUCTURA CONCEPTUAL DE GEONTO - MET.....	165
FIGURA 4.2. DIAGRAMA FUNCIONAL DE ELEMENTOS QUE INTEGRAN GEONTO - MET	169
FIGURA 4.3. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA HIPÓTESIS 1	172
FIGURA 4.4. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA HIPÓTESIS 2	173
FIGURA 4.5. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA HIPÓTESIS 3	174
FIGURA 4.6. ELEMENTOS ESENCIALES DEL MODELADO ORIENTADO A OBJETOS	178
FIGURA 4.7. DEFINICIÓN DE RELACIONES PARA <i>KAAB-ONTOLOGY</i> , HACIENDO UNA ANALOGÍA CON LA TÉCNICA DE MODELADO ORIENTADO A OBJETOS.....	179
FIGURA 4.8. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE RELACIONES SIMPLES, POR MEDIO DE LOS AXIOMAS A_1	183
FIGURA 4.9. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE RELACIONES SIMPLES, POR MEDIO DE LOS AXIOMAS A_1 Y A_2	184
FIGURA 4.10. RELACIÓN ENTRE LOS ELEMENTOS DE UN CONJUNTO	185
FIGURA 4.11. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE PROPIEDADES EN <i>KAAB-ONTOLOGY</i>	195
FIGURA 4.12. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE HABILIDADES EN <i>KAAB-ONTOLOGY</i>	196
FIGURA 4.13. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE INSTANCIAS EN <i>KAAB-ONTOLOGY</i>	198
FIGURA 4.14. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE CONCEPTOS DEL TIPO RELACIÓN, ESTÁNDAR Y CLASE EN <i>KAAB-ONTOLOGY</i>	200

FIGURA 4.15. FRAGMENTO DE UNA ONTOLOGÍA DEL DOMINIO GEOGRÁFICO PARA EJEMPLIFICAR LA VECINDAD DE CONCEPTOS	214
FIGURA 4.16. ESQUEMA CONCEPTUAL PROPUESTO PARA EL DOMINIO GEOGRÁFICO	221
FIGURA 4.17. REGIÓN ESPACIAL PARA EJEMPLIFICAR LA GENERACIÓN DE LAS CADENAS WKT	229
FIGURA 4.18. MATRIZ DE INTERSECCIÓN Y PREDICADOS BINARIOS DE DOS OBJETOS A Y B	233
FIGURA 4.19. MATRIZ DE INTERSECCIÓN Y PREDICADOS BINARIOS ENTRE DOS OBJETOS LINEALES	233
FIGURA 4.20. MATRIZ DE INTERSECCIÓN Y PREDICADOS BINARIOS ENTRE DOS OBJETOS PUNUALES	233
FIGURA 4.21. MATRIZ DE INTERSECCIÓN Y PREDICADOS BINARIOS ENTRE UNA RELACIÓN DE OBJETOS <i>ÁREA</i> - <i>LÍNEA</i>	234
FIGURA 4.22. MATRIZ DE INTERSECCIÓN Y PREDICADOS BINARIOS ENTRE UNA RELACIÓN DE OBJETOS <i>ÁREA</i> - <i>PUNTO</i>	234
FIGURA 4.23. MATRIZ DE INTERSECCIÓN Y PREDICADOS BINARIOS ENTRE UNA RELACIÓN DE OBJETOS <i>LÍNEA</i> - <i>PUNTO</i>	234
FIGURA 4.24. ESTRUCTURA GENERAL DE LA PLANTILLA	239
FIGURA 4.25. REPRESENTACIÓN XML DE LA SECCIÓN <i>SPATIAL_REFERENCE</i>	239
FIGURA 4.26. REPRESENTACIÓN XML DE LA SECCIÓN <i>GEOGRAPHIC_OBJECT</i>	240
FIGURA 4.27. REPRESENTACIÓN XML DE LA SECCIÓN <i>MEASUREMENT</i>	241
FIGURA 4.28. REPRESENTACIÓN XML DE LA SECCIÓN <i>RELATION</i>	241
FIGURA 4.29. GRAFO CONCEPTUAL DE VECINDAD DE LAS 8-RELACIONES REGIÓN – REGIÓN PARA ESTABLECER LA SIMILITUD ENTRE RELACIONES TOPOLÓGICAS BINARIAS	243
FIGURA 4.30. JERARQUÍA DE CLASES DE LA API JENA	246
FIGURA 4.31. DIAGRAMA GENERAL PARA LA RECUPERACIÓN DE INSTANCIAS DE CONCEPTOS GEOGRÁFICOS Y SU REPRESENTACIÓN EN <i>WEB-MAPPING</i>	247
FIGURA 4.32. ELEMENTOS QUE COMPONEN UNA CADENA DE INFORMACIÓN RECUPERADA CON JENA	248
FIGURA 4.33. CASO DE USO PARA MODIFICAR INFORMACIÓN DEL REGISTRO Y CONTENIDO DIRECTO DEL <i>SHAPEFILE</i>	251
FIGURA 4.34. CASO DE USO PARA VISUALIZAR UN REGISTRO ALMACENADO EN UN <i>SHAPEFILE</i>	252
FIGURA 4.35. CASO DE USO PARA MOSTRAR CONSULTA EN LA APLICACIÓN <i>WEB-MAPPING</i>	252
FIGURA 4.36. DIAGRAMA PARA LA PUBLICACIÓN DE DATOS GEOESPACIALES EN UN <i>SHAPEFILE</i>	253
FIGURA 5.1. JERARQUÍA ESENCIAL DE <i>KAAB-ONTOLOGY</i>	263
FIGURA 5.2. PARTICIÓN DE CLASES DE ENTIDADES ABSTRACTAS QUE COMPONEN A <i>OG_GEOGRAFICO</i>	266
FIGURA 5.3. JERARQUÍA DE CLASES DE “ <i>ELEMENTO_ABSTRACTO</i> ”	268
FIGURA 5.4. SLOT UTILIZADO PARA DEFINIR LAS RELACIONES QUE REALIZAN EL MAPEO DE LAS RELACIONES AXIOMÁTICAS	269
FIGURA 5.5. EJEMPLO DEL MAPEO DE UNA RELACIÓN SIMPLE ENTRE CONCEPTOS CLASE Y ESTÁNDAR	270
FIGURA 5.6. MAPEO DE UNA RELACIÓN TERNARIA ENTRE CONCEPTOS ESTÁNDAR Y RELACIÓN	271
FIGURA 5.7. RELACIÓN COMPUESTA ENTRE INSTANCIAS DE CONCEPTOS	272
FIGURA 5.8. JERARQUÍA DE LA CLASE “ <i>DOMINIO_FIJO</i> ” EN <i>KAAB-ONTOLOGY</i>	273
FIGURA 5.9. DESCRIPCIÓN ONTOLÓGICA DEL CONCEPTO ESTÁNDAR “ <i>CARRETERA</i> ”	274
FIGURA 5.10. DESCRIPCIÓN ONTOLÓGICA DEL CONCEPTO ESTÁNDAR “ <i>CARRETERA</i> ” MOSTRANDO INSTANCIAS DE “ <i>DOMINIO_FIJO</i> ”	276
FIGURA 5.11. JERARQUÍA DE CLASES QUE COMPONEN A LA ONTOLOGÍA DEL CONTEXTO TURÍSTICO	277
FIGURA 5.12. CONCEPTOS ESPECIALIZADOS CON RESPECTO A LAS CLASES DE ENTIDADES	279
FIGURA 5.13. RELACIÓN DE CONCEPTOS DE O_A CON RESPECTO A LAS CLASES DE ENTIDADES ABSTRACTAS DE O_K	283
FIGURA 5.14. GENERACIÓN DEL CONCEPTO “ <i>ARQUITECTURACIVIL</i> ” EN LA ONTOLOGÍA DE APLICACIÓN, UTILIZANDO LA RELACIÓN AXIOMÁTICA “ <i>ES</i> ”. LA RELACIÓN ES REPRESENTADA POR MEDIO DE UN TRIÁNGULO	285
FIGURA 5.15. ASIGNACIÓN DE PROPIEDADES A CONCEPTOS A TRAVÉS DE LA RELACIÓN AXIOMÁTICA DE PERTENENCIA “ <i>TIENE</i> ”. EN ESTE CASO LA PROPIEDAD ES “ <i>CONDICION_CONSTRUCCION</i> ” QUE PERTENECE A “ <i>DOMINIO_FIJO</i> ”, EN DONDE ESTA PROPIEDAD SE ASIGNA A DIVERSOS CONCEPTOS TALES COMO “ <i>EDIFICIORECREATIVO</i> ”, “ <i>EDIFICIOPUBLICO</i> ”, “ <i>EDIFICIOMILITAR</i> ”, “ <i>EDIFICIOCIVIL</i> ” Y “ <i>ACUEDUCTO</i> ”. LA RELACIÓN DE PERTENENCIA DE LA PROPIEDAD SE REPRESENTA POR MEDIO DE UN CÍRCULO Y LÍNEAS ROJAS	286

FIGURA 5.16. ASIGNACIÓN DE LA PROPIEDAD “ <i>ID_ARQUITECTURA_CIVIL</i> ” DE UN “ <i>DOMINIO_VARIABLE</i> ” A UN CONCEPTO EN LA ONTOLOGÍA DE APLICACIÓN. LA RELACIÓN DE LA PROPIEDAD ES REPRESENTADA POR MEDIO DE UN CÍRCULO Y CON LÍNEAS AZULES PUNTEADAS	287
FIGURA 5.17. PARTICIÓN QUE CONTIENEN LOS CONCEPTOS RELACIÓN “ <i>REL_TOPO_COMPARTIR</i> ” Y “ <i>REL_TOPO_CONECTAR</i> ”	288
FIGURA 5.18. DEFINICIÓN DE HABILIDADES ENTRE DOS CONCEPTOS ESTÁNDAR, UTILIZANDO LA RELACIÓN AXIOMÁTICA “ <i>HACE</i> ” Y LA RELACIÓN DEL TIPO PREPOSICIÓN “ <i>CON</i> ”. LA RELACIÓN “ <i>HACE</i> ” SE REPRESENTA POR MEDIO DE UN CUADRADO Y CON LÍNEA DE COLOR AZUL	289
FIGURA 5.19. SLOT DE RELACIONES PARA LA ONTOLOGÍA DE APLICACIÓN DEL CONTEXTO TURÍSTICO.....	290
FIGURA 5.20. DEFINICIÓN DE RELACIONES QUE DESCRIBEN VALORES ATRIBUTIVOS PARA INSTANCIAS DE UN CONCEPTO ESTÁNDAR	291
FIGURA 5.21. INSTANCIAS DEL CONCEPTO “ <i>HOTEL</i> ” RECUPERADAS DE LA ONTOLOGÍA CON UN CRITERIO MAYOR A 1,000	292
FIGURA 5.22. INSTANCIAS DEL CONCEPTO “ <i>HOTEL</i> ” RECUPERADAS DE LA ONTOLOGÍA CON UN CRITERIO MENOR A 1,000	292
FIGURA 5.23. JERARQUÍA DE CLASES DE LA ONTOLOGÍA DE APLICACIÓN DEL CONTEXTO TOPOGRÁFICO.....	300
FIGURA 5.24. JERARQUÍA DE CLASES DE “ <i>OBJETO_GEOGRÁFICO</i> ”	302
FIGURA 5.25. CONCEPTOS GEOGRÁFICOS DEL CONTEXTO TOPOGRÁFICO QUE PERTENECEN A LA SUBCLASE “ <i>OG_NACIONAL</i> ”, LA CUAL FORMA PARTE DE LA PARTICIÓN DE LA CLASE DE ENTIDAD ABSTRACTA “ <i>CHUUK</i> ”	303
FIGURA 5.26. CONCEPTOS GEOGRÁFICOS DEL CONTEXTO TOPOGRÁFICO QUE PERTENECEN A LA SUBCLASE “ <i>OG_INTERNACIONAL</i> ”, LA CUAL FORMA PARTE DE LA PARTICIÓN DE LA CLASE DE ENTIDAD ABSTRACTA “ <i>CHUUK</i> ”	303
FIGURA 5.27. CONCEPTOS GEOGRÁFICOS DEL CONTEXTO TOPOGRÁFICO QUE PERTENECEN A LA SUBCLASE “ <i>OG_REGIONAL</i> ”, LA CUAL FORMA PARTE DE LA PARTICIÓN DE LA CLASE DE ENTIDAD ABSTRACTA “ <i>CHUUK</i> ”	304
FIGURA 5.28. CONCEPTOS GEOGRÁFICOS DEL CONTEXTO TOPOGRÁFICO QUE PERTENECEN A LA SUBCLASE “ <i>OG_TIERRA</i> ”, LA CUAL FORMA PARTE DE LA PARTICIÓN DE LA CLASE DE ENTIDAD ABSTRACTA “ <i>UTSKIIN</i> ”	304
FIGURA 5.29. CONCEPTOS GEOGRÁFICOS DEL CONTEXTO TOPOGRÁFICO QUE PERTENECEN A LA SUBCLASE “ <i>OG_AIRE</i> ”, LA CUAL FORMA PARTE DE LA PARTICIÓN DE LA CLASE DE ENTIDAD ABSTRACTA “ <i>UTSKIIN</i> ”	305
FIGURA 5.30. CONCEPTOS GEOGRÁFICOS DEL CONTEXTO TOPOGRÁFICO QUE PERTENECEN A LA SUBCLASE “ <i>OG_AGUA</i> ”, LA CUAL FORMA PARTE DE LA PARTICIÓN DE LA CLASE DE ENTIDAD ABSTRACTA “ <i>UTSKIIN</i> ”	305
FIGURA 5.31. CONCEPTOS GEOGRÁFICOS DEL CONTEXTO TOPOGRÁFICO QUE PERTENECEN A LA SUBCLASE “ <i>OG_SUPERFICIAL</i> ”, LA CUAL FORMA PARTE DE LA PARTICIÓN DE LA CLASE DE ENTIDAD ABSTRACTA “ <i>IXCO</i> ”	306
FIGURA 5.32. CONCEPTOS GEOGRÁFICOS DEL CONTEXTO TOPOGRÁFICO QUE PERTENECEN A LA SUBCLASE “ <i>OG_SUB_SUPERFICIAL</i> ”, LA CUAL FORMA PARTE DE LA PARTICIÓN DE LA CLASE DE ENTIDAD ABSTRACTA “ <i>IXCO</i> ”	306
FIGURA 5.33. CONCEPTOS GEOGRÁFICOS DEL CONTEXTO TOPOGRÁFICO QUE PERTENECEN A LA SUBCLASE “ <i>OG_SUPER_SUPERFICIAL</i> ”, LA CUAL FORMA PARTE DE LA PARTICIÓN DE LA CLASE DE ENTIDAD ABSTRACTA “ <i>IXCO</i> ”	307
FIGURA 5.34. CONCEPTOS GEOGRÁFICOS DEL CONTEXTO TOPOGRÁFICO QUE PERTENECEN A LA SUBCLASE “ <i>OG_REAL</i> ”, LA CUAL FORMA PARTE DE LA PARTICIÓN DE LA CLASE DE ENTIDAD ABSTRACTA “ <i>SAYAB</i> ”.....	307
FIGURA 5.35. CONCEPTOS GEOGRÁFICOS DEL CONTEXTO TOPOGRÁFICO QUE PERTENECEN A LA SUBCLASE “ <i>OG_IMAGINARIO</i> ”, LA CUAL FORMA PARTE DE LA PARTICIÓN DE LA CLASE DE ENTIDAD ABSTRACTA “ <i>SAYAB</i> ”	308
FIGURA 5.36. CONCEPTOS GEOGRÁFICOS DEL CONTEXTO TOPOGRÁFICO QUE PERTENECEN A LA SUBCLASE “ <i>OG_PERCEPTIBLE</i> ”, LA CUAL FORMA PARTE DE LA PARTICIÓN DE LA CLASE DE ENTIDAD ABSTRACTA “ <i>PAAKAT</i> ”	308
FIGURA 5.37. CONCEPTOS GEOGRÁFICOS DEL CONTEXTO TOPOGRÁFICO QUE PERTENECEN A LA SUBCLASE “ <i>OG_IMPERCEPTIBLE</i> ”, LA CUAL FORMA PARTE DE LA PARTICIÓN DE LA CLASE DE ENTIDAD ABSTRACTA “ <i>PAAKAT</i> ”	309

FIGURA 5.38. CONCEPTOS GEOGRÁFICOS DEL CONTEXTO TOPOGRÁFICO QUE PERTENECEN A LA SUBCLASE “OG_FIAT”, LA CUAL FORMA PARTE DE LA PARTICIÓN DE LA CLASE DE ENTIDAD ABSTRACTA “XUUL”	309
FIGURA 5.39. CONCEPTOS GEOGRÁFICOS DEL CONTEXTO TOPOGRÁFICO QUE PERTENECEN A LA SUBCLASE “OG_BONA_FIDE”, LA CUAL FORMA PARTE DE LA PARTICIÓN DE LA CLASE DE ENTIDAD ABSTRACTA “XUUL”	310
FIGURA 5.40. CONCEPTOS GEOGRÁFICOS DEL CONTEXTO TOPOGRÁFICO QUE PERTENECEN A LA SUBCLASE “OG_ARTIFICIAL”, LA CUAL FORMA PARTE DE LA PARTICIÓN DE LA CLASE DE ENTIDAD ABSTRACTA “MOOTS”	310
FIGURA 5.41. CONCEPTOS GEOGRÁFICOS DEL CONTEXTO TOPOGRÁFICO QUE PERTENECEN A LA SUBCLASE “OG_NATURAL”, LA CUAL FORMA PARTE DE LA PARTICIÓN DE LA CLASE DE ENTIDAD ABSTRACTA “MOOTS”	311
FIGURA 5.42. RELACIÓN AXIOMÁTICA DE PERTENENCIA “TIENE” ENTRE LA CLASE “ENTIDAD_GEOGRAFICA” Y “DOMINIO_FIJO”	312
FIGURA 5.43. INSTANCIAS QUE REPRESENTAN PROPIEDADES MÁS ESPECIALIZADAS DE LOS CONCEPTOS QUE DESCRIBEN PROPIEDADES O ATRIBUTOS Y COMPONEN A LA CLASE “DOMINIO_FIJO” Y QUE SE UTILIZAN PARA DESCRIBIR PROPIEDADES DE LOS CONCEPTOS GEOGRÁFICOS	313
FIGURA 5.44. DESCRIPCIÓN ONTOLÓGICA DEL CONCEPTO “CARRETERA”, HACIENDO USO DE LA RELACIÓN AXIOMÁTICA DE PERTENENCIA “TIENE” PARA CONOCER LAS PROPIEDADES VINCULADAS AL CONCEPTO. ADEMÁS, SE PRESENTAN LAS SUBCLASES A LAS CUALES PERTENECE EL CONCEPTO, POR MEDIO DE LA RELACIÓN AXIOMÁTICA “ES”	314
FIGURA 5.45. DESCRIPCIÓN ONTOLÓGICA DEL CONCEPTO “CONDUCTO”, HACIENDO USO DE LA RELACIÓN AXIOMÁTICA DE PERTENENCIA “TIENE” PARA CONOCER LAS PROPIEDADES VINCULADAS AL CONCEPTO. ADEMÁS, SE PRESENTAN LAS SUBCLASES A LAS CUALES PERTENECE EL CONCEPTO, POR MEDIO DE LA RELACIÓN AXIOMÁTICA “ES”	315
FIGURA 5.46. DESCRIPCIÓN ONTOLÓGICA DEL CONCEPTO “PUENTE”, HACIENDO USO DE LA RELACIÓN AXIOMÁTICA DE PERTENENCIA “TIENE” PARA CONOCER LAS PROPIEDADES VINCULADAS AL CONCEPTO. ADEMÁS, SE PRESENTAN LAS SUBCLASES A LAS CUALES PERTENECE EL CONCEPTO, POR MEDIO DE LA RELACIÓN AXIOMÁTICA “ES”	315
FIGURA 5.47. DESCRIPCIÓN FORMAL BASADA EN RESTRICCIONES PARA EJEMPLIFICAR HABILIDADES DEL CONCEPTO “CARRETERA” CON EL CONCEPTO “AEROPUERTO”	316
FIGURA 5.48. DESCRIPCIÓN FORMAL BASADA EN RESTRICCIONES PARA EJEMPLIFICAR HABILIDADES DEL CONCEPTO “CARRETERA” CON EL CONCEPTO “ÁREA_URBANA”	316
FIGURA 5.49. DESCRIPCIÓN FORMAL BASADA EN RESTRICCIONES PARA EJEMPLIFICAR HABILIDADES DEL CONCEPTO “CARRETERA” CON EL CONCEPTO “TÚNEL”	317
FIGURA 5.50. DESCRIPCIÓN FORMAL BASADA EN RESTRICCIONES PARA EJEMPLIFICAR HABILIDADES DEL CONCEPTO “CARRETERA” CON EL CONCEPTO “PUENTE”	317
FIGURA 5.51. DESCRIPCIÓN ONTOLÓGICA DE HABILIDADES, UTILIZANDO LA RELACIÓN AXIOMÁTICA “HACE” Y LA PREPOSICIÓN “CON” PARA EL MAPEO “CARRETERA” CONECTA CON “AEROPUERTO”	317
FIGURA 5.52. DESCRIPCIÓN ONTOLÓGICA DE HABILIDADES, UTILIZANDO LA RELACIÓN AXIOMÁTICA “HACE” Y LA PREPOSICIÓN “CON” PARA EL MAPEO “CARRETERA” CONECTA CON “ÁREA_URBANA”	318
FIGURA 5.53. DESCRIPCIÓN ONTOLÓGICA DE HABILIDADES, UTILIZANDO LA RELACIÓN AXIOMÁTICA “HACE” Y LA PREPOSICIÓN “CON” PARA EL MAPEO “CARRETERA” COMPARTO CON “TÚNEL”	319
FIGURA 5.54. DESCRIPCIÓN ONTOLÓGICA DE HABILIDADES, UTILIZANDO LA RELACIÓN AXIOMÁTICA “HACE” Y LA PREPOSICIÓN “CON” PARA EL MAPEO “CARRETERA” COMPARTO CON “PUENTE”	320
FIGURA 5.55. DESCRIPCIÓN ONTOLÓGICA DE TODAS LAS HABILIDADES DEL CONCEPTO “CARRETERA” EN LA ONTOLOGÍA; ASÍ COMO LAS CLASES DE DOMINIO QUE DESCRIBEN LAS PROPIEDADES DEL MISMO	321
FIGURA 5.56. DESCRIPCIÓN ONTOLÓGICA DE LAS HABILIDADES DE LAS INSTANCIAS DE LOS CONCEPTOS “CARRETERA” (CARRETERA_CHIH-43) Y “AEROPUERTO” (A_CHIH_CD_JUAREZ), UTILIZANDO UNA RELACIÓN COMPLEJA	322
FIGURA 5.57. DESCRIPCIÓN ONTOLÓGICA DE LAS HABILIDADES DE LAS INSTANCIAS DE LOS CONCEPTOS “CARRETERA” (CARRETERA_CHIH-54) Y “AREA_URBANA” (DELICIAS), UTILIZANDO UNA RELACIÓN COMPLEJA	322
FIGURA 5.58. DESCRIPCIÓN ONTOLÓGICA DE LAS HABILIDADES DE LAS INSTANCIAS DE LOS CONCEPTOS “CARRETERA” (CARRETERA_MEX-02) Y “TÚNEL” (EL_SITURIACHI), UTILIZANDO UNA RELACIÓN COMPLEJA	323

FIGURA 5.59. DESCRIPCIÓN ONTOLÓGICA DE LAS HABILIDADES DE LAS INSTANCIAS DE LOS CONCEPTOS “CARRETERA” (CARRETERA_CHIH-98) Y “PUENTE” (LAS_TRINCHERAS), UTILIZANDO UNA RELACIÓN COMPLEJA	323
FIGURA 5.60. ESCENARIO 1: IMAGINANDO Y SIMPLICANDO EL MUNDO REAL PARA OBTENER LAS ENTIDADES ESENCIALES DE LA OBSERVACIÓN COGNITIVA DEL SER HUMANO.....	325
FIGURA 5.61. REGIÓN ESPACIAL QUE DESCRIBE EL ESCENARIO 2.....	326
FIGURA 5.62. DIAGRAMA DE DESCRIPCIÓN SIMBÓLICA PARA LOS ESCENARIOS 1 Y 2	329
FIGURA 5.63. REGIÓN GEOGRÁFICA A DESCRIBIR	334
FIGURA 5.64. CONSULTA SPARQL QUE DEVUELVE INSTANCIAS DE CONCEPTOS REFERENTES A BARES QUE TIENE EL HOTEL ACAPULCO DIANA.....	351
FIGURA 5.65. CONSULTA SPARQL QUE DEVUELVE EL VALOR DE LA PROPIEDAD “TIPOCOMIDA” PARA LA INSTANCIA “HARDROCK”, PERTENECIENTE AL CONCEPTO “RESTAURANTE”	352
FIGURA 5.66. CONSULTA SPARQL QUE DEVUELVE LA INSTANCIA CONCRETA QUE CORRESPONDE A LA INSTANCIA “CRUZROJA”, LA CUAL PERTENECE AL CONCEPTO “HOSPITAL”	352
FIGURA 5.67. CONSULTA SPARQL QUE DEVUELVE TODAS LAS INSTANCIAS CONCRETAS QUE CORRESPONDEN AL CONCEPTO “HOTEL”, CON SU RESPECTIVO COSTO POR HABITACIÓN, EN DONDE “COSTOHABITACION” ES UNA PROPIEDAD DEL CONCEPTO	353
FIGURA 5.68. INSTANCIAS PERTENECIENTES AL CONCEPTO “HOTEL” DE LA ONTOLOGÍA DE APLICACIÓN DEL CONTEXTO TURÍSTICO	354
FIGURA 5.69. CONSULTA SPARQL QUE RETORNA LAS INSTANCIAS CONCRETAS QUE CORRESPONDEN AL CONCEPTO “HOTEL”, DE ACUERDO CON EL CRITERIO DE COSTO DE HABITACIÓN QUE OSCILE ENTRE 1100 Y 1200 PESOS.....	355
FIGURA 5.70. CONSULTA SPARQL QUE RETORNA LAS INSTANCIAS CONCRETAS QUE CORRESPONDEN AL CONCEPTO “HOTEL”, DE ACUERDO CON EL CRITERIO DE COSTO DE HABITACIÓN MENOR A 500 PESOS Y ORDENADAS EN FORMA DESCENDENTE	355
FIGURA 5.71. RESULTADO VISUAL EN LA APLICACIÓN WEB-MAPPING DE LA CONSULTA SPARQL DE LA INSTANCIA “ACAPULCODIANA” DEL CONCEPTO “HOTEL”.....	356
FIGURA 5.72. RESULTADO VISUAL EN LA APLICACIÓN WEB-MAPPING DE LA CONSULTA SPARQL DE LA INSTANCIA “HARDROCK” DEL CONCEPTO “RESTAURANTE”.....	357

Lista de Tablas

TABLA 2.1. COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE ONTOLOGÍAS	105
TABLA 2.2. COMPARACIÓN DE HERRAMIENTAS PARA EL DESARROLLO DE ONTOLOGÍAS	106
TABLA 2.3. COMPARACIÓN DE LENGUAJES DE ONTOLOGÍA	107
TABLA 4.1. PROPIEDADES QUE CONTIENE LA RELACIÓN “ES” DEL AXIOMA A_1	187
TABLA 4.2. PROPIEDADES QUE CONTIENE LA RELACIÓN “TIENE” DEL AXIOMA A_1	187
TABLA 4.3. PROPIEDADES QUE CONTIENE LA RELACIÓN “HACE” DEL AXIOMA A_1	187
TABLA 4.4. RESUMEN DE PROPIEDADES QUE CONTIENEN LAS RELACIONES DEL AXIOMA A_1	188
TABLA 4.5. RESUMEN DE PROPIEDADES QUE CONTIENEN LAS RELACIONES DEL AXIOMA A_2	189
TABLA 4.6. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LAS RELACIONES DE <i>KAAB-ONTOLOGY</i>	192
TABLA 4.7. CLASES DE ENTIDADES ABSTRACTAS QUE COMPONEN <i>KAAB-ONTOLOGY</i>	202
TABLA 4.8. CONCEPTOS ESENCIALES QUE PERTENECEN A LAS SUBCLASES DE LAS CLASES DE ENTIDADES ABSTRACTAS QUE COMPONEN <i>KAAB-ONTOLOGY</i>	203
TABLA 4.9. RESTRICCIONES PARA LA RELACIÓN $A(ES)B$	206
TABLA 4.10. RESTRICCIONES PARA LA RELACIÓN $A(TIENE)B$	206
TABLA 4.11. RESTRICCIONES PARA LA RELACIÓN $A(TIENE)B$	206
TABLA 4.12. ALGORITMO DE MAPEO DE INSTANCIAS DE CONCEPTOS DE <i>KAAB-ONTOLOGY</i> Y EL ESQUEMA CONCEPTUAL	224
TABLA 4.13. ALGORITMO PARA GENERAR LA DESCRIPCIÓN SIMBÓLICA A PARTIR DEL ESQUEMA CONCEPTUAL	227
TABLA 4.14. CLASES DE CARACTERÍSTICAS SIMPLES SOPORTADOS POR JTS, DE ACUERDO CON LA ESPECIFICACIÓN DE ELEMENTOS SIMPLES DE LA OGC	229
TABLA 4.15. LISTA DE OBJETOS GEOGRÁFICOS QUE COMPONEN LA REGIÓN ESPACIAL EJEMPLIFICADA EN LA FIGURA 4.17, CON SU CORRESPONDIENTE CADENA WKT	230
TABLA 4.16. RELACIONES DE-9IM SOPORTADAS POR JTS	232
TABLA 4.17. ALGORITMO PARA GENERAR LA PLANTILLA DE DESCRIPCIÓN SEMÁNTICA	244
TABLA 4.18. FORMATO DE LA PLANTILLA DE DESCRIPCIÓN SEMÁNTICA	245
TABLA 4.19. ESTRUCTURA GENERAL PARA REALIZAR CONSULTAS EN UNA ONTOLOGÍA EN LENGUAJE OWL	249
TABLA 4.20. FRAGMENTO DEL ARCHIVO DE CONFIGURACIÓN EN XML	254
TABLA 4.21. ENVÍO DE ATRIBUTOS DE SHAPEFILE QUE CONTIENE LOS OBJETOS GEOGRÁFICOS QUE COINCIDEN CON LAS INSTANCIAS RECUPERADAS DE LA CONSULTA SPARQL	256
TABLA 4.22. ARCHIVO DE CONFIGURACIÓN PARA VINCULAR LA IMPLEMENTACIÓN DE <i>HIBERNATE</i> CON <i>STRUTS</i>	256
TABLA 5.1. DEFINICIÓN DE LOS CONCEPTOS QUE REPRESENTAN CLASES ESENCIALES EN <i>KAAB-ONTOLOGY</i>	264
TABLA 5.2. DEFINICIÓN DE CONCEPTOS DE LA JERARQUÍA “ <i>RECURSOSTURISTICOS</i> ”	278
TABLA 5.3. DEFINICIÓN DE CONCEPTOS ESTÁNDAR QUE COMPONEN LA JERARQUÍA DE LA CLASE “ <i>RECURSOSTURISTICOSCULTURALES</i> ”	280
TABLA 5.4. DEFINICIÓN DE CONCEPTOS ESTÁNDAR QUE COMPONEN LA JERARQUÍA DE LA CLASE “ <i>RECURSOSTURISTICOSNATURALES</i> ”	281
TABLA 5.5. DEFINICIÓN DE CONCEPTOS ESTÁNDAR QUE COMPONEN LA JERARQUÍA DE LA CLASE “ <i>RECURSOSTURISTICOSSERVICIOS</i> ”	282
TABLA 5.6. DEFINICIÓN DE CONCEPTOS ESTÁNDAR QUE COMPONEN LA JERARQUÍA DE LA CLASE “ <i>RECURSOSTURISTICOSSOCIALES</i> ”	282
TABLA 5.7. INFORMACIÓN TABULAR DE LA INSTANCIA “ <i>GALERIADELHOTELCOSTACLUB</i> ” QUE PERTENECE AL CONCEPTO “ <i>CENTROCOMERCIAL</i> ”	291
TABLA 5.8. DEFINICIÓN DE CONCEPTOS Y RELACIONES QUE COMPONEN LA ONTOLOGÍA DEL CONTEXTO TOPOGRÁFICO	293
TABLA 5.9. FRAGMENTO DE LA DESCRIPCIÓN SEMÁNTICA DE LOS ESCENARIOS	331
TABLA 5.10. PLANTILLA DE DESCRIPCIÓN SEMÁNTICA DE ESCENARIOS EN FORMATO XML	331
TABLA 5.11. DESCRIPCIÓN DE CADENAS WKT QUE DEFINEN A CADA OBJETO GEOGRÁFICO DE LA REGIÓN	334
TABLA 5.12. MATRIZ DE INTERSECCIÓN QUE DESCRIBE LAS RELACIONES ENTRE TUPLAS DE OBJETOS GEOGRÁFICOS LOCALIZADOS EN LA REGIÓN	337
TABLA 5.13. DESCRIPCIÓN CORRESPONDIENTE A LA REGIÓN GEOESPACIAL MOSTRADA EN LA FIGURA 5.63	344
TABLA 5.14. PLANTILLA DE DESCRIPCIÓN SEMÁNTICA EN FORMATO XML DEL EJEMPLO 2	346

Resumen

En esta tesis se presenta la metodología GEONTO – MET, orientada a formalizar la conceptualización del dominio geográfico, considerando las especificaciones del INEGI. El espíritu de esta metodología es proporcionar un conjunto de descripciones semánticas que reflejen las propiedades y relaciones que describen entre sí el comportamiento de los objetos geográficos, tomando estos elementos directamente de la ontología de dominio geográfico diseñada para este fin.

GEONTO – MET está compuesta por cuatro etapas de desarrollo: La etapa de *análisis* proporciona un modelo de abstracción sobre los posibles objetos del dominio geográfico. La etapa de *síntesis* obtiene la conceptualización del dominio geográfico. La etapa de *procesamiento* proporciona un conjunto de ontologías de aplicación (contexto turístico y topográfico); así como una ontología de dominio denominada *Kaab-Ontology*. Por último, la etapa de *descripción* da una representación alterna de los objetos geográficos; así como la integración de los mismos en una plantilla semántica de descripción y en formato XML. Esta metodología de conceptualización está basada en un conjunto mínimo de relaciones axiomáticas, lo cual permite traducir las relaciones entre conceptos directamente a la conceptualización, con la ventaja de obtener una *resolución semántica* mayor o más refinada en la definición de tales relaciones. La minimización de las relaciones axiomáticas se logra al utilizar únicamente un par de conjuntos ($A_1 = \{es, tiene, hace\}$ y A_2 siendo éste el conjunto de preposiciones del idioma español), con los cuales es posible definir el resto de las relaciones presentes en el dominio geográfico.

Como caso de estudio se han diseñado ontologías de aplicación con base en la metodología propuesta. Éstas reflejan la *conceptualización* real de cada uno de los contextos a los cuales apuntan, y describen en forma explícita la semántica de cada uno de los elementos que componen este entorno. Se ha implementado un mecanismo de recuperación de conceptos, basado en *Protégé* y *Jena* para acceder a las ontologías, a través de consultas en SPARQL. Las instancias de conceptos recuperadas pueden ser visualizadas en una aplicación *web-mapping* o en forma tabular.

Las plantillas y descripciones obtenidas de GEONTO – MET reflejan en forma explícita las propiedades y relaciones de los objetos geográficos representados por conceptos, con lo cual se describe en esencia el *comportamiento* que éstos presentan entre sí y se refleja la *semántica* misma de éstos. La estructura de estas plantillas tiene como objetivo intentar generar una remembranza de la manera en la cual los seres humanos percibimos el mundo real en su forma más natural; así como la forma en la que nos comunicamos e interpretamos cognitivamente nuestro entorno.

En consecuencia, este trabajo aporta una metodología que permite *integrar* y *compartir* información geoespacial. GEONTO – MET proporciona soluciones viables hacia estos tópicos y otros, como el hecho de *compactar* datos mediante estructuras alternas a modelos tradicionales y evitar la *ambigüedad* de términos al utilizar una conceptualización del dominio.

Este trabajo sienta las bases para una futura interpretación automática de regiones geográficas orientado al soporte de toma de decisiones, haciendo uso de la conceptualización del dominio geográfico; con el objeto de generar nuevo conocimiento en forma automática y realizar un análisis más profundo del entorno geoespacial. El hecho de contar con una descripción semántica de un entorno geográfico, permite establecer las bases orientadas hacia un *razonamiento espacial*; es decir, el hecho de conocer el comportamiento que presentan los objetos geográficos inmersos en una partición geográfica es de suma importancia para *entender* e *interpretar* la *semántica* que representan y explotar la *inferencia* implícita que posee la conceptualización.

Abstract

In this dissertation the GEONTO – MET methodology is presented. It is oriented to formalize the geographic domain conceptualization according to the specifications of the Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. The main goal is to provide semantic descriptions, which represent the properties and relations describing so the behavior of geographic objects and taking into account these features directly from the geographic domain ontology.

GEONTO – MET is composed of four principal stages: *Analysis* provides an abstraction model of the geographic objects involved in this domain. *Synthesis* makes the conceptualization of the geographic domain. A set of application ontologies (in tourist and topographic contexts) and domain ontology called *Kaab-Ontology* are generated by the *Processing*. Finally, *Description* produces an alternative representation of geographic objects as well as the integration of them into a semantic description template. This approach is based on a set of axiomatic relations allowing directly translate the relations between concepts to the conceptualization. In this way, the *semantic resolution* is improved, that is, the definition of such relations can be iteratively refined. To achieve this, we use a couple of sets ($A_1 = \{is, has, do\}$ and A_2 - the prepositions of the Spanish). These sets are necessary and sufficient to define the rest of relations, involved in the conceptualization of geographic domain.

As a case study, application ontologies have been designed. These knowledge structures represent the *conceptualization* of each context, which they explicitly describe and the semantics of every feature that composes the domain. A mechanism to retrieve geographic concepts based on *Protégé* and *Jena* in order to access the ontologies, by means of SPARQL queries has been also implemented. The retrieved instances of concepts can be visualized in a *web-mapping* application or in a tabular form.

Templates and descriptions obtained by GEONTO – MET explicitly describe the properties and relations of geographic objects represented by concepts, while their *behavior* describes objects *semantics*. The templates attempt to generate a remembrance in which the human beings perceive the real world and a natural way the humans communicate and cognitively interpret the environment.

Summing up, this work presents a methodology allowing *integrate* and *share* geospatial information. GEONTO –MET provides feasible solutions towards these and other related issues. For instance, *compact* data by alternative structures of knowledge representation and *avoid* the *ambiguity* of terms, using a domain conceptualization.

This dissertation also establishes a solid basis for future automatic interpretations of geographic regions oriented to decision making process. In other words, the geographic domain conceptualization can be used to generate new knowledge in an automatic way and make spatial analysis more accurate. Having a semantic description of a geographic domain allows to establish the *guidelines* of a *spatial reasoning*. That is, if the behavior of geographic objects involved in an ontology partition is known, then one can *understand* and *interpret* the *semantics* that they represent and explore the implicit *inference* from the conceptualization.

Capítulo 1. Introducción

Este capítulo presenta las generalidades de la tesis; así como los objetivos de la misma. Además, se describe el enfoque de la investigación, la justificación del trabajo, el planteamiento general del problema; con lo cual se introduce la hipótesis del mismo. Finalmente, se puntualiza la audiencia para la lectura de esta tesis y se detalla en forma general la organización de la misma.

1.1 Generalidades

Hoy en día, las ontologías han incrementado la atención entre diversos grupos de investigación en el área de la ciencia de la información geográfica. En la actualidad, se argumenta que las ontologías pueden jugar un rol importante para establecer sólidos fundamentos teóricos y soportar numerosas aplicaciones dentro de esta área. Por tal motivo, se han establecido tres extensos conjuntos de tópicos fundamentales que necesitan ser resueltos: (1) Tópicos conceptuales concernientes a qué se necesita para establecer una ontología exhaustiva del dominio geoespacial. (2) Tópicos orientados a mecanismos lógicos y de representación, los cuales proporcionen métodos relacionados a la formalización de ontologías y (3) Tópicos de implementación, con respecto a las formas en las cuales una ontología debe influenciar el diseño de sistemas de información ([Mark, D., Smith, B., Egenhofer, M. & Hirtle, S., 2001](#)).

En la actualidad, se ha reconocido ampliamente que la *semántica* de la información geográfica es crítica para el desarrollo de bases de datos geoespaciales y aplicaciones interoperables. En adición a esto, los GIS (Geographic Information System – por sus siglas en inglés); así como la tecnología de desarrollo de éstos, deben ser interoperables con otros sistemas y bases de datos que involucren otras aplicaciones tales como: comercio electrónico, logística, salud ambiental entre otras. Esta interoperabilidad requiere de una ontología común o compartida para los fenómenos geográficos que se encuentren considerados en un contexto o dominio de aplicación en particular. Por lo cual, esto significa que las ontologías de fenómenos geoespaciales deben estar coordinadas por esfuerzos multidisciplinarios que establezcan estándares de una terminología geoespacial ([Frank, A.U., 2001](#)).

De acuerdo con recientes investigaciones sobre ontologías de fenómenos geográficos, los trabajos realizados han estado solo enfocados hacia el modelado formal del mundo geoespacial, considerando algunas experiencias y conceptualizaciones realizadas por usuarios no expertos (Smith, B. & Mark, D., 2001). En este caso, una ontología exhaustiva del dominio geoespacial sería extensa, y dada la complejidad de las interrelaciones entre las diferentes ciencias espaciales, ésta corre el riesgo de no ser terminada.

Por tal motivo, B. Smith y D. Mark, sugieren el diseño de una ontología completa de *niveles superiores* para el dominio geoespacial y desarrollar en una forma progresiva ontologías detalladas para subdominios, las cuales sean consistentes con la ontología de nivel superior.

En este caso, los subdominios de prioridad alta serían los dominios principales de las aplicaciones GIS, junto con áreas de ciencias ambientales y sociales, en donde los GIS no han sido del todo utilizados, debido a *discrepancias ontológicas* entre los dominios correspondientes a objetos y herramientas de cómputo.

En este sentido, cabe señalar que la ciencia geoespacial negocia con fenómenos a través de una variedad de escalas, referencias y otras características, por lo cual una ontología común para el dominio geoespacial debe relacionar las entidades dirigidas no solo en un *razonamiento espacial*¹ común, sino además en *representaciones computacionales* de los fenómenos geoespaciales. Aunado a lo anterior, es indispensable contar con un marco de trabajo dentro del cual todos estos tipos de representaciones puedan ser integradas.

La ontología del dominio geoespacial, debe definir taxonomías de diferentes tipos de objetos geográficos, campos, relaciones y procesos espaciales; éstas acompañadas por algoritmos para el *mapeo* de ontologías dentro de modelos de datos y representaciones necesarias para describir fenómenos geográficos. A su vez, esta ontología debe formalizarse a través de axiomas, definiciones de clases, relaciones y funciones, de acuerdo con (Smith, B. & Mark, D., 1998).

En la actualidad, una necesidad para estructuras ontológicas formales orientadas a la integración de datos, ha sido reconocida por diversas disciplinas que se especializan en el

¹ En este caso el razonamiento espacial puede ser visto como un proceso para formar ideas a través de las relaciones espaciales entre objetos; por lo cual se puede considerar como una habilidad para descubrir e interpretar imágenes mentales de un entorno espacial.

acopio e intercambio de información; sin embargo, esta necesidad ha recibido mucho menos atención. Esto se debe a que dentro de cada disciplina o área de estudio, un sistema conceptual compartido es garantizado normalmente a través de la educación y entrenamiento de los científicos involucrados, por tal motivo una ontología proporciona la necesidad común de integración de plataformas (Mark, D., Smith, B., Egenhofer, M. & Hirtle, S., 2001).

Diferentes ciencias ambientales y sociales comparten en común el hecho que éstas estudian fenómenos que ocurren o actúan sobre un espacio geográfico. Una ontología de fenómenos geoespaciales puede proporcionar las herramientas para soportar una integración, por consecuencia puede facilitar la interoperabilidad de los sistemas de información geoespacial orientados a fenómenos particulares en diferentes campos, según citan (Mark, D., Smith, B., Egenhofer, M. & Hirtle, S., 2001).

Por otra parte, de acuerdo con las necesidades actuales de interoperabilidad, integración y accesibilidad a datos geoespaciales, D. Mark, B. Smith, M. Egenhofer y S. Hirtle proponen tres tipos de investigación ontológica:

1. Investigación sobre ontologías en un *sentido filosófico*, considerando a la ontología como una teoría de la realidad, la cual intenta establecer los tipos de objetos, procesos y relaciones en diferentes niveles de escala y granularidad que componen un dominio geoespacial. Los métodos que deben ser empleados tienen que involucrar: (a) la interacción con expertos de diversos dominios tales como geología, climatología y muchos otros; diseñados para establecer las clases de entidades que componen sus respectivos dominios, y (b) el desarrollo de métodos formales para integrar estas clases de entidades; por ejemplo, en términos de parte-entera (*part-whole*) y relaciones de granularidad. Al mismo tiempo, estas investigaciones deben estar dirigidas hacia la aclaración de las relaciones entre el conocimiento humano y las representaciones; en otras palabras, los modelos y las representaciones embebidas en un sistema de datos deben ser tomadas en cuenta.
2. Investigación sobre los modelos y herramientas para *describir, acceder, comparar e integrar geo-ontologías*, lo cual significa especificar conceptualizaciones fundamentales de diferentes tipos de bases de datos geográficas, herramientas GIS y conjuntos de datos asociados para propósitos de interoperabilidad e integración de información geoespacial.

3. Investigación sobre geo-ontologías reales generadas por expertos y no-expertos, a través métodos psicológicos.

De acuerdo con los puntos anteriores, el presente trabajo de tesis se enfoca primordialmente en el desarrollo de métodos formales para *integrar y compartir* objetos geográficos, por medio de una conceptualización de su dominio. Además, este trabajo involucra la investigación de modelos para formalizar y describir ontologías de dominio, a través de ontologías de aplicación utilizando un conjunto de esquemas conceptuales y descriptores semánticos.

Con relación a lo antes expuesto, es importante resaltar que las bases de datos geográficas son herramientas muy poderosas y utilizadas para manejar, desplegar y procesar la información geoespacial. Estas bases de datos integran Sistemas de Información Geográfica, los cuales están diseñados para almacenar y procesar los datos geoespaciales que son extremadamente complejos y mixtos.

En este sentido, para evitar cualquier tipo de *ambigüedad* en el procesamiento e interpretación de estos datos, se debe contar con una buena calidad desde el proceso de entrada hasta su representación. Esto significa que hoy en día, el procesamiento inteligente de los datos espaciales es extremadamente importante para mejorar el modelo de decisiones en diferentes campos de operación. Por tanto, una de las principales tendencias en el área de la Geocomputación contemporánea es la correcta representación y recuperación de los datos geoespaciales, preferentemente con base en el conocimiento de un ambiente espacial en particular (contexto específico), y a través de estructuras de datos (ontologías) que permitan procesar la información espacial en forma más simple y rápida para la computadora.

El objetivo de poder llevar a cabo una conceptualización del dominio geográfico por medio de ontologías, puede aplicarse en un futuro para solucionar en forma parcial problemas de heterogeneidad e interoperabilidad semántica; así como a mediano plazo problemas de integración de datos geoespaciales. Dentro de este campo existen tres componentes claves que interactúan entre sí en todos los procesos: el *usuario*, el *espacio* y el *tiempo* (Fonseca, F., Davis, C. & Câmara, G., 2003). Estas componentes deben ser consideradas para proponer una metodología que permita conceptualizar el dominio geográfico, ya que en la actualidad se han realizado diversos intentos para este objetivo.

Sin embargo, todos estos factores han sido tratados en forma aislada, lo cual resulta en conceptualizaciones muy dependientes del *expertise* de los usuarios o de los diseñadores de las ontologías. Por lo tanto, lo que se busca es generar conceptualizaciones muy particulares acotadas a un contexto en particular de un caso de estudio, pero que involucren las tres componentes citadas que componen la esencia del dominio geográfico.

Por tal motivo, se intenta proponer una técnica capaz de conceptualizar el dominio geográfico, de acuerdo con los compromisos y acuerdos ontológicos de todos los elementos involucrados, haciendo uso de un conjunto de términos encapsulados en un esquema conceptual, el cual describa las propiedades, relaciones y funciones que determinan el comportamiento de los objetos geográficos. Con respecto a este esquema, es importante indicar que está compuesto de diversas fuentes de información, por lo tanto nos permite describir al dominio geográfico desde distintas perspectivas y puntos de vista, lo cual origina que la conceptualización sea compartida y consensuada por diversos grupos. Aunado a este esquema, es necesario generar descriptores semánticos, los cuales consisten principalmente en el esquema conceptual que se propone, y están orientados a auxiliar en la representación ontológica de un caso de estudio para obtener como resultado una descripción de un entorno.

Con esta tesis se propone una técnica que sea útil para definir y utilizar las propiedades, relaciones y funciones de los datos geoespaciales para explorar su semántica, orientando esta investigación al desarrollo de una representación de conocimiento geográfico por medio de una ontología espacial de este dominio, la cual permita describir entidades geográficas de un caso de estudio en particular. Por lo cual, el objetivo de estudiar el conjunto de propiedades, relaciones y funciones de las entidades geográficas en su forma más natural y general es de gran relevancia, ya que de esta forma se evalúan todos los aspectos que intervienen en la información geoespacial, obteniendo como resultado la semántica, por medio de un vocabulario de los sistemas de objetos geográficos y siendo ésta representada por una ontología.

Con la semántica espacial de objetos geográficos, es posible analizar la interacción de diversos fenómenos de un área común, además de poderlos representar adecuadamente a diferentes niveles de detalle de conocimiento, dependiendo del propósito o caso de estudio; es decir, a partir del dominio del sujeto (*subject domain*) o contexto de los sistemas de objetos geográficos se puede realizar esta representación alterna.

Como se mencionó anteriormente, para definir la semántica espacial es necesario conocer las propiedades, funciones y relaciones que presentan cada una de las primitivas de representación de los objetos geográficos y cómo interactúan entre sí, por lo cual éste es considerado un proceso sumamente complejo en el cual intervienen diversos factores tales como sociales, humanos, naturales y tecnológicos, y no solo expertos de dominio.

En la actualidad, el área de la Geocomputación ha demostrado que necesita del auxilio de diferentes campos de conocimiento, ya que las necesidades que se presentan hoy en día no pueden ser solucionadas con técnicas *clásicas*; tal es el caso de la representación formal de objetos geográficos basada en sus propiedades, funciones y relaciones. Además, en el campo de la Geocomputación, los GIS no exploran todavía extensiblemente la semántica de los datos espaciales; por lo tanto, para procesar información geoespacial en un aspecto semántico, es indispensable utilizar diferentes técnicas que puedan tratar las propiedades y relaciones de los objetos geográficos para describir su comportamiento.

1.2 Objetivos

En la presente sección se describe el objetivo general y los objetivos particulares de la tesis.

1.2.1 Objetivo general

Diseñar una metodología para la construcción de una ontología del dominio geográfico por medio de la conceptualización de éste, la cual pueda ser utilizada para generar ontologías de aplicación y con esta metodología se puedan realizar tareas de integración y de recuperación de datos geoespaciales, por medio de descripciones semánticas que reflejen algunas de las propiedades básicas definidas en las ontologías y que permitan compartir esta información a través de estas descripciones que se obtienen directamente de un esquema conceptual que se utiliza como mecanismo de interacción para extraer instancias de las ontologías.

1.2.2 Objetivos particulares

- Proponer y formalizar una metodología para la construcción de una ontología del dominio.

- Definir los elementos esenciales que se utilizan para la construcción de una ontología de dominio geográfico; así como los conceptos y relaciones que integran a ésta.
- Analizar las relaciones y propiedades que componen a un sistema de objetos geográficos, de acuerdo con diversas fuentes de información que ayuden a realizar la conceptualización del dominio geográfico.
- Definir un esquema conceptual a partir de la ontología de dominio geográfico, el cual se utilice como soporte para construir descripciones semánticas.
- Generar un diagrama de descripción simbólica a partir del esquema conceptual que permita vaciar los términos definidos en éste en una descripción semántica que refleje las relaciones entre objetos geográficos de alguna representación espacial en particular.
- Representar la descripción obtenida en formato XML (Extensible Markup Language – por sus siglas en inglés), para intercambio de datos geoespaciales.

1.3 Enfoque de la investigación de esta tesis

Con base en (Goodchild, M., *et al.*, 1999) se puede definir el término *GIScience* como el estudio sistemático de la naturaleza y las propiedades de la información geográfica. *GIScience* se interesa principalmente por tres áreas: el *usuario*, el *sistema* y la *sociedad*.

Esta tesis se encuentra orientada a la interacción entre los usuarios y los sistemas. Por lo tanto, se inicia con un *usuario*, utilizando la percepción del mundo geográfico de un grupo de personas para poder llevar a cabo la conceptualización de un dominio geográfico en particular. Posteriormente, esta conceptualización debe traducirse en *implementaciones computacionales* de una ontología, asociadas a diversos mecanismos para representar y recuperar objetos geográficos de un caso de estudio particular.

Con esta tesis se intenta proponer un mecanismo adecuado para compartir e integrar entre diversas bases de datos espaciales; por medio de una conceptualización del dominio geográfico, restringida al contexto; es decir, el objetivo principal de esta tesis es proponer

una metodología capaz de conceptualizar el dominio geográfico, a través de esquemas conceptuales basados en descriptores semánticos, los cuales sirvan para generar, compartir e integrar información geoespacial entre diferentes usuarios.

En otras palabras, se pretende diseñar una metodología para la construcción de ontologías del dominio geográfico; por medio de la conceptualización de este dominio y bajo un contexto particular, la cual pueda ser utilizada para generar descripciones semánticas que ayuden a la representación y recuperación de objetos geográficos a partir de un caso de estudio específico.

1.4 Alcances y limitaciones del trabajo

De acuerdo con el trabajo desarrollado en esta tesis, los alcances de la misma están orientados esencialmente al desarrollo de una metodología que es capaz de conceptualizar el dominio geográfico, por medio de un conjunto de términos que han sido formalizados para este fin, en este caso los elementos que integran esta metodología son: tipos de conceptos, axiomas, relaciones, propiedades, restricciones, vecindad de conceptos, habilidades, clases e instancias.

En este sentido, la metodología GEONTO – MET permite coleccionar y organizar jerárquicamente un conjunto de conceptos geográficos, partiendo de diversas fuentes de información, con el objeto de generar una ontología de dominio (*Kaab-Ontology*). De acuerdo con los resultados y pruebas realizadas; es factible que esta metodología pudiera ser utilizada para otros contextos y no solo el geográfico. Para este fin, es necesario realizar algunas pruebas o construir otras ontologías de diferentes escenarios o entornos ajenos al geográfico. Es posible que sea necesario hacer algunos ajustes para llevar a cabo este tipo de construcciones; sin embargo, la estructura general de GEONTO – MET permite solventar estas modificaciones sin alterar las definiciones formales de las componentes que integran a la técnica.

Una de las contribuciones principales de esta metodología, es la de proporcionar una conceptualización consistente con base en el conocimiento de expertos de dominio; así como de usuarios generales. En este sentido, se utiliza un número finito de relaciones axiomáticas que constituyen la base para vincular y restringir la generación de conceptos y de acuerdo con la estructura de *Kaab-Ontology*, pueden agregarse n número de relaciones

posibles que permitan reflejar la semántica de los conceptos geográficos que se encuentren presentes.

En este sentido el hecho de utilizar conceptos del tipo relación garantiza incrementar la *granularidad* de las relaciones y obtener el comportamiento de conceptos geográficos con mayor detalle de especialización. Asimismo, de esta forma se evita la redundancia y se minimiza el uso de relaciones y se restringen los conceptos que se definan en la ontología, evitando la ambigüedad entre éstos.

No obstante existen algunas limitaciones para llevar a cabo el mapeo entre relaciones axiomáticas en la ontología de dominio. En este caso como la ontología fue implementada en Protégé, es necesario utilizar otras herramientas que permitan definir relaciones ternarias, ya que este editor únicamente permite realizar mapeos de relaciones en forma binaria. Asimismo, es necesario considerar el uso de frases preposicionales para contar con mayor flexibilidad en la descripción ontológica de conceptos; así como evitar las limitaciones para expresar otro tipo de relaciones utilizando el mapeo de los conjuntos de relaciones axiomáticas A_1 y A_2 ; para definir el mapeo entre A_1 con A_1 , A_1 con A_2 , A_2 con A_1 y A_2 con A_2 .

De acuerdo con lo anterior, GEONTO – MET utiliza relaciones ternarias para vincular conceptos relación con conceptos estándar, a través de las relaciones axiomáticas de ejecución o habilidad y preposicionales. Por lo tanto, es necesario generar un mecanismo independiente a este editor para solventar el mapeo entre relaciones y conceptos en forma *n*-aria.

De igual forma, la descripción ontológica que arroja Protégé está orientada a vincular un concepto con otro, mediante una relación compuesta o simple. Sin embargo, pueden existir casos en los cuales las descripciones ontológicas sean representadas por más de dos conceptos del tipo estándar o a su vez por más de una relación o concepto del tipo relación. Para ello, en trabajos a futuro es necesario considerar este tipo de mapeos para descripciones ontológicas más exhaustivas.

Por otro parte, con el diseño de un esquema conceptual que permite describir en forma general una vista lógica y funcional de *Kaab-Ontology*, se han podido generar descripciones simbólicas de instancias de conceptos, provenientes de la ontología de dominio geográfico, poblando de esta forma el esquema conceptual.

Este esquema permite definir en forma de atributos todas las relaciones y propiedades que describen explícitamente a una instancia, con lo cual se simplifica el proceso de representación de regiones geográficas en particular; puesto que únicamente se almacenan las instancias de conceptos que representan objetos geográficos de esa región en específico. Entonces, con este esquema es posible realizar una simplificación de los objetos geográficos para su posterior descripción semántica.

Sin embargo, el esquema conceptual es una estructura rígida, la cual está compuesta por los atributos esenciales del dominio geográfico, representados por conceptos terminales y no-terminales. En este sentido, el hecho de decir “atributos esenciales” indica que un grupo de individuos ha realizado este tipo de generalización, con lo cual el esquema no puede ser modificado en forma sencilla. En este sentido, es necesario mejorar este tipo de estructura para que pueda ser dinámica la adición o cambio de conceptos en el esquema conceptual.

Aunado a lo descrito anteriormente, el desarrollo de una plantilla XML para la descripción semántica, permite reflejar las propiedades y relaciones de los objetos que pertenecen a una región espacial, describiendo el comportamiento que presentan éstos entre sí y reflejando la semántica misma de los objetos; puesto que ésta es realmente descrita en las relaciones. Asimismo, esta plantilla tiene su propio formato nativo, cuya estructura intenta generar una remembranza de la forma en la que los seres humanos perciben el mundo real, se comunican e interpretan cognitivamente su entorno.

De esta forma, esta plantilla es interoperable entre diversas plataformas y resulta una técnica eficiente para compactar la información geoespacial en forma transparente, y permite organizar y coleccionar objetos geográficos a través de instancias, evitando así la redundancia de datos por cada objeto geográfico.

Asimismo, esta plantilla describe las características esenciales de los objetos geográficos; así como las propiedades y relaciones topológicas y geométricas que definen el comportamiento de estos objetos inmersos en una región geográfica, con lo cual al compartir datos geográficos a través de esta plantilla de descripción, los usuarios pueden visualizar espacialmente a partir de ésta los objetos geográficos que corresponden a una región geográfica en particular. En adición, es posible realizar una unificación de todas y cada una de las características que describen a los objetos geográficos presentes en la partición.

Sin embargo, con las pruebas realizadas se determinó que es necesario realizar un álgebra que contemple los objetos geográficos más allá de la región establecida para el análisis; es decir, el complemento de dicha región. Esto se debe a que es imposible actualmente, determinar una región geográfica suficientemente extensa para contener todos los objetos que la conforman y que a su vez sea práctica en cuanto a delimitar correctamente la región especificada.

En el estado actual la metodología no contempla el hecho de que los objetos geográficos, sobre todo del tipo poligonal, extiendan su dominio más allá de la región establecida; de manera que la descripción se ve afectada en cuanto al verdadero estado geográfico o contexto del objeto geográfico. Lo anterior, podría ocasionar relaciones inconsistentes con respecto a la realidad del entorno, más no relacionadas con la conceptualización hecha en *Kaab-Ontology*.

Por lo tanto, sería de utilidad contar con un método de enlace de descripciones semánticas de regiones contiguas, con lo cual se podría emplear la presente metodología para generar una descripción de más de una región geográfica adyacente, considerando los objetos “cortados” y que sus anotaciones sirvan de punto de referencia y enlace con la descripción e información almacenada en la plantilla que corresponda a otras regiones.

Por último se ha diseñado un mecanismo de recuperación de instancias de conceptos, los cuales se vinculan directamente con el objeto geográfico al que pertenece dentro de una base de datos geográfica o bien mediante un *shapefile*², visualizando las instancias que representan objetos geográficos en una aplicación *web-mapping*. Este mecanismo utiliza la API (Application Programming Interface – por sus siglas en inglés) Jena³ de Java para extraer la información directamente de la ontología en un formato OWL (Ontology Web Language – por sus siglas en inglés). Sin embargo, esta recuperación es estática; es decir, las consultas están predefinidas de acuerdo con la etiqueta del concepto y a la clase a la que pertenece, por lo cual es necesario realizar un sistema de consulta que permita a través de lenguaje natural u otro mecanismo, extraer cualquier tipo de instancia de conceptos y que el conjunto de instancias recuperadas pueda ser visualizado en forma espacial.

² *Shapefile* es un formato nativo de ESRI, el cual es utilizado para representar gráficamente objetos geográficos en un tema. Este formato está compuesto por tres archivos principales: (.shp) que almacena las formas geométricas de los objetos, a través de primitivas de representación, (.shx) que se encarga de almacenar los índices de los objetos para vincularlos con su respectiva representación atributiva, y (.dbf) el cual almacena la información descriptiva de los objetos, presentando una relación uno a uno con respecto a cada renglón de la tabla.

³ Jena es un marco de trabajo de Java que se utiliza para construir aplicaciones de Web Semántica. Jena proporciona un ambiente de programación para RDF, RDFS, OWL y SPARQL. Además incluye un motor de inferencia basado en reglas.

1.5 Justificación

Una de las mayores dificultades que se han presentado durante la existencia del hombre en la Tierra, es la de contar con los medios adecuados para poder representar su ambiente o parte de cómo el ser humano puede percibir el mundo real. De acuerdo con esta necesidad, la humanidad inició con este tipo de representaciones a través de *bosquejos* y *dibujos*, en los cuales el hombre representaba una *abstracción* de lo que percibía en su *modelo cognitivo* de la realidad.

Posteriormente, las necesidades fueron aumentando; así como la capacidad para interpretar y representar las abstracciones del ser humano. Por tal motivo, las tareas de navegación, localización y ubicación de objetos en un plano originó la aparición de los *mapas*. Por lo tanto, los mapas fueron creados por el hombre con el propósito de conocer su mundo, y apoyados primeramente en teorías filosóficas y con un amplio formalismo matemático. Hoy en día, los mapas constituyen una fuente importante de información y puede decirse que una gran parte de la actividad humana está relacionada de una u otra forma con la cartografía. En este sentido, la cartografía es el área del conocimiento encargada de la representación de la realidad por medio de mapas. Históricamente, los mapas se han convertido en herramientas muy importante en diversos ámbitos de la actividad humana.

Con la llegada de la era digital, los mapas son la base para el desarrollo de Sistemas de Información Geográfica, los cuales proporcionan mecanismos para almacenar, manipular y analizar la información geográfica. La forma de representar los mapas digitalmente durante los primeros años era a través de imágenes (modelo raster), posteriormente las necesidades de procesamiento de datos y análisis más complejos sobre la información espacial, dio origen a la representación de los mapas por medio de vectores (modelo vectorial). Es importante puntualizar que este tipo de representaciones numéricas; así como su procesamiento clásico han sido muy eficaces para máquinas de la generación anterior, con lo cual se han solucionado diversos aspectos y problemas dentro del campo de la Geocomputación.

No obstante, este tipo de manejo y representación de los datos geoespaciales, a través de los modelos raster y vectorial presentan hoy en día diversas dificultades en el procesamiento de la información geográfica; además de encontrarse algunas *ambigüedades* en análisis particulares de estos datos. En contraste con las máquinas de generación

anterior, las máquinas de nueva generación tienen que soportar un procesamiento semántico, a través de otro tipo de representaciones, las cuales puedan ser útiles para facilitar el procesamiento de los datos geoespaciales; así como evitar *ambigüedades* en el procesamiento de la información. En este caso, una alternativa es contar con una estructura de datos consistente, tal como una ontología de dominio geográfico que permita un acceso confiable y rápido a los datos geoespaciales, con el objeto de que estas máquinas puedan interpretar y procesar esta clase de información en una forma más simple y así solucionar en forma transparente problemas de heterogeneidad entre sistemas y bases de datos geográficas.

Por lo tanto, se concluye que con base en la evolución de las máquinas, es necesario contar con representaciones y métodos alternos que permitan procesar la información geoespacial, por medio de una *conceptualización*, basada en los procesos de *abstracción* y *representación* de los datos geográficos.

En otras palabras, el hombre inició la representación del mundo real a través de un *modelo cognitivo*, el cual posteriormente se transformó en *mapas*, como una conceptualización plenamente definida de la realidad.

Posteriormente de acuerdo con las necesidades, estos mapas fueron conceptualizados a través de *modelos discretos*, los cuales representan a los mapas en forma digital para su procesamiento en la máquina.

Subsecuentemente, ya no es suficiente utilizar un modelo clásico de procesamiento de datos geoespaciales para un GIS, por lo cual es necesario proponer nuevas estructuras que sirvan para conceptualizar el mundo real, tal es el caso de las *ontologías de dominio geográfico*, las cuales permiten representar conceptos que eviten ambigüedades y así mejorar el procesamiento e interpretación de los datos geoespaciales en una máquina.

De esta forma, el “mundo real” se dirige hacia una *abstracción* para poder obtener una *conceptualización*. Aunque tradicionalmente el “mundo real” es representado en el **dominio geográfico** por medio de **mapas**.

Por lo tanto, el procesamiento clásico no es viable para poder realizar una representación alternativa de un dominio geográfico, ya que en este caso los mapas son ya una conceptualización formal, la cual envuelve todos los elementos que intervienen en la

definición implícita de este término, y llega a representarla en forma gráfica o geométrica. Esta representación es muy compleja y muy difícil de procesar por la máquina, tal es el caso de una de las razones por la cual fue concebido el sistema A2R2V (Levachkine, S., & Polchkov, E.,⁴ 2000).

La línea de investigación a la que se enfoca la presente tesis doctoral es el “*Análisis y Síntesis Semántica Asociativa de Datos Geoespaciales*” y el área de aplicación está dirigida a la **representación, recuperación e integración de objetos geográficos por medio de su semántica espacial, haciendo uso de una conceptualización del dominio geográfico que permita generar ontologías de aplicación, las cuales puedan ser utilizadas para describir regiones espaciales basadas en descriptores semánticos obtenidos de un esquema conceptual.**

Por lo tanto, con el resultado de este análisis, el tema de investigación se centraliza en proponer una metodología para la *conceptualización del dominio geográfico*, por medio del análisis de diversas fuentes de información que se encuentren involucradas en este dominio. Esta conceptualización debe reflejarse a través de una ontología, la cual se auxilia de un esquema conceptual para proporcionar descripciones semánticas que sirvan para descubrir explícitamente las características, el comportamiento o propiedades entre los objetos geográficos y cómo estos se encuentran relacionados entre sí dentro de una región espacial determinada o basándose en contextos establecidos.

Cabe resaltar que hoy en día se está iniciando con una investigación robusta para la generación de trabajos y proyectos enfocados a *semántica* relacionada con datos geoespaciales. Por lo tanto, el hecho de conocer las propiedades, relaciones y funciones intrínsecas proporcionará un mejor entendimiento e interpretación del comportamiento de los sistemas de objetos geográficos, por medio de una *representación ontológica*, lo que implica contar con un argumento sólido para definir la *semántica espacial* y poder aplicarla a la representación formal e integración de objetos geográficos por medio de ontologías.

No obstante, en la actualidad existen diversas líneas de investigación en este campo, las cuales se encuentran relacionadas con la ciencia de la información geográfica (GIScience). Sin embargo, no existe una en particular que se dedique exclusivamente a este enfoque, puesto que existen diferentes trabajos (ver Capítulo 2. Estado del Arte), en donde se describe que los datos espaciales pueden ser clasificados de acuerdo con su estructura

⁴ En memoria a Evgueni Polchkov por sus esfuerzos dirigidos a la automatización del procesamiento de datos raster y vectoriales.

topológica, pero no con base en **otras propiedades, relaciones y funciones** que son de suma importancia en la definición y comportamiento de la información geográfica y pueden ser las bases para la generación de una ontología del dominio geográfico. En adición, se puede observar en el Capítulo 2 que se describen diversos trabajos publicados, los cuales hacen referencia a la semántica y ontologías (previamente definidas), pero todos éstos en un enfoque diferente al que se propone en este trabajo.

1.6 Planteamiento del problema

Hoy en día, el área de la Geocomputación se enfoca principalmente en encontrar nuevos mecanismos alternativos para representar, recuperar e integrar la información geoespacial. Estos mecanismos deben proponer una correcta representación de los objetos geográficos desde su entrada hasta su visualización, para que puedan ser utilizados satisfactoriamente en procesamientos subsecuentes.

En la actualidad, existen diversas instituciones que utilizan datos geoespaciales para la toma de decisiones en diferentes ambientes. Por tal motivo, el uso de bases de datos geográficas, a través de los GIS proporcionan herramientas para el manejo, análisis y procesamiento de datos geoespaciales. Sin embargo, esta información en algunos casos no puede ser representada en forma “**adecuada**”, ya que ésta presenta *ambigüedades* notables que no permiten el uso correcto de estos datos, por lo cual no pueden existir aplicaciones interoperables que permitan compartir e integrar información geoespacial. Asimismo, esta información en algunos casos es imprecisa, heterogénea y se encuentra distribuida.

En otras palabras, las aplicaciones GIS son utilizadas para analizar las características de diferentes ambientes geográficos. Sin embargo, estas aplicaciones utilizan diferentes fuentes de datos geoespaciales para lograr sus objetivos; así como diversos formatos, los cuales pueden encontrarse dispersos o en diferentes bases de datos geográficas; motivo por el cual la *integración de información geoespacial* es un problema complejo para llevar a cabo tareas específicas. Por ejemplo, tal es el caso en el control del crecimiento urbano, para éste es necesario utilizar datos y temas tales como: políticas de gobierno, topografía, geología, entre otros. Además, frecuentemente estos conjuntos de datos son representados en diferentes formatos, modelos y bases de datos geoespaciales (ver Figura 1.1).

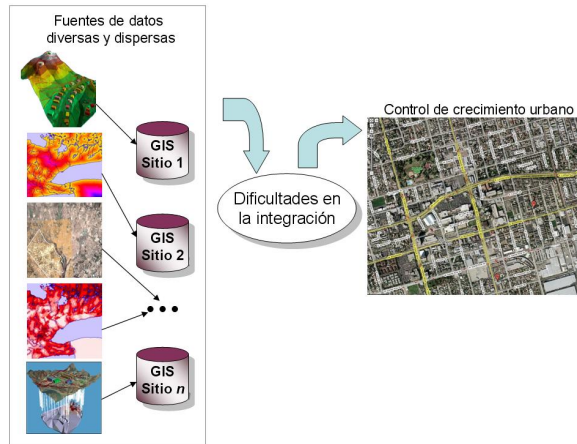


Figura 1.1. Heterogeneidad de datos espaciales inmersos en la integración de geo-información para aplicaciones de crecimiento urbano

De acuerdo con (Smith, B. & Mark, D., 1998) las ontologías y con (Minsky, M., 1974) la representación del conocimiento, ambos elementos son esenciales para la creación y uso de estándares para el intercambio de datos en general y para el diseño de interfaces *hombre-máquina*, por lo cual una ontología permite solucionar problemas asociados a *heterogeneidad, interoperabilidad, representación, integración e intercambio* de datos geográficos en particular.

Por otra parte, existen otros tipos de problemas con respecto a la representación formal de objetos geográficos. Por ejemplo, el análisis espacial requiere frecuentemente objetos muy *precisos* para proporcionar buenas soluciones. Tal es el caso de la Ciudad de México, en donde la población se expande fuera de los límites oficiales de la ciudad, invadiendo áreas ecológicas protegidas, zonas sin servicios y áreas con riesgo de deslave e inundación. La Ciudad de México es por lo cual una *entidad dinámica*, cuyo límite no puede ser definido con *exactitud* (o solo con inconsistencias). En este caso, el límite de la Ciudad de México es considerado un *objeto geográfico impreciso*; por lo tanto, su análisis también lo es (ver Figura 1.2).

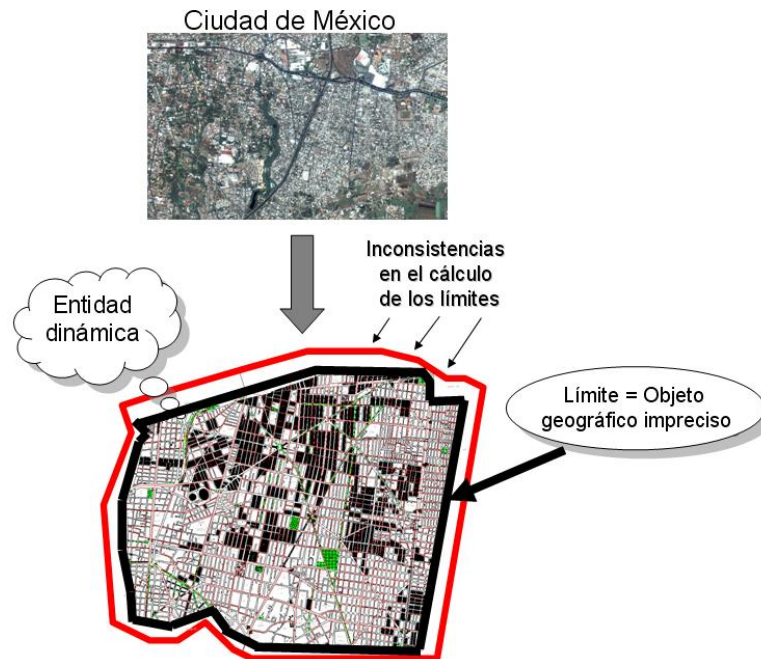


Figura 1.2. Entidad dinámica y objeto impreciso para obtener los límites de la Ciudad de México

De igual forma, existen otras fuentes de imprecisión; por ejemplo, datos en diferentes escalas, diferentes niveles de resolución o características atributivas que son implícitas en la composición de los objetos geográficos. En conclusión, aunque las consecuencias son diversas, los datos que son usados por aplicaciones GIS, frecuentemente son *imprecisos*. Por lo tanto, es importante considerar representaciones espaciales alternas a los objetos geográficos, las cuales sean independientes de la naturaleza imprecisa de este tipo de datos.

Con lo anterior, se puede comprobar y observar que los GIS no exploran extensiblemente la semántica de los datos espaciales. Por lo tanto, para desarrollar una teoría relacionada a la semántica espacial, es necesario incluir todas las propiedades, relaciones y funciones que envuelven al análisis de los sistemas de objetos geográficos en un contexto geográfico (Torres, M., 2002).

En este sentido, el análisis espacial puede utilizar mecanismos formales alternos para representar e integrar datos geoespaciales. Un conjunto de conceptos puede estar embebido en una ontología base del dominio geográfico, la cual muestre un panorama general de un contexto geográfico y permita capturar la semántica espacial para un caso de estudio particular.

Existen otros problemas relacionados a la integración de datos geoespaciales, los cuales se encuentran relacionados a la ambigüedad que pueden generar objetos geográficos en diversas bases de datos. Por ejemplo: Un objeto “**Lago**” es el “límite definido por un compromiso en términos de la escala de presentación”, a lo cual se le denomina *objeto “bona fide”*, y por otro lado se tiene un objeto “**Parcela**”, el cual se define como: “el producto de convenciones sociales establecidas, su existencia depende de un contrato legal”, en donde éste es considerado un *objeto “fiat”*, según (Smith, B. & Mark, D., 2001). Espacialmente, ambos objetos geográficos tienen la misma representación geométrica (*polígono*). Sin embargo, al realizar algún procesamiento sobre estos objetos pueden existir *ambigüedades*, esta situación es causada por el hecho de que los modelos de bases de datos geográficas no soportan *límites difusos*, lo cual es requerido para distinguir objetos con límites exactos (Parcelas) de objetos con límites inexactos (Lagos). Por lo tanto, una ontología puede ayudar a evitar este tipo de ambigüedades y definir estos objetos geográficos como conceptos, por medio de una conceptualización del dominio geográfico (ver Figura 1.3).

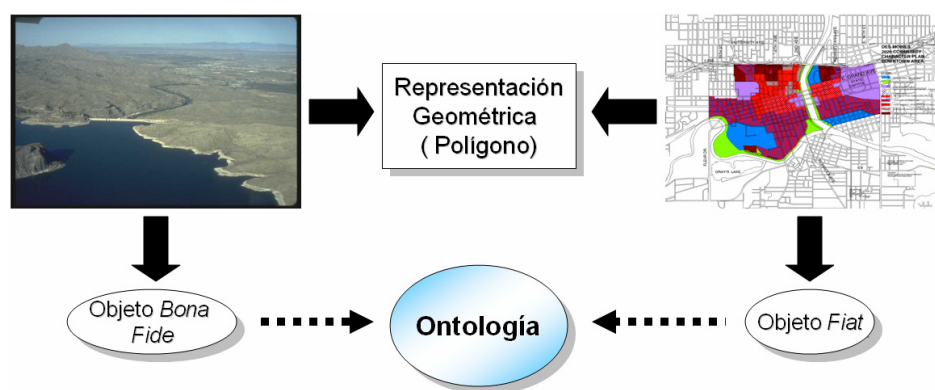


Figura 1.3. Objetos *bona fide* y *fiat*, los cuales presentan ambigüedades en bases de datos geográficas

Estos hechos conllevan a buscar soluciones a problemas orientados a la representación e integración geoespacial, heterogeneidad semántica e imprecisión de objetos geográficos. En consecuencia, los Sistemas de Información Geográfica comerciales y las técnicas de Geoprocesamiento actuales, no cuentan con las herramientas necesarias para explorar las *propiedades, relaciones y funciones esenciales* de los objetos geográficos.

Por tal motivo, es difícil conocer y/o definir la *semántica espacial* en forma explícita para un conjunto de objetos geográficos, a través de estos elementos. Por ejemplo, existen diferentes instituciones y grupos que cuentan con información geográfica; sin embargo, esta información presenta diversas características, se encuentra dispersa y es heterogénea; lo que

implica incompatibilidad entre los diversos objetos geográficos, así como una conceptualización espacial diferente y poco precisa de acuerdo con un contexto determinado.

En trabajos recientes se han propuesto ontologías para tratar de solucionar problemas de *interoperabilidad y heterogeneidad semántica y espacial*. No obstante, estas propuestas definen en forma manual las ontologías (predefinidas y específicas para cada caso de estudio); además de no contar con una base completa y suficiente para considerar una definición de semántica, ya que no consideran *aspectos intrínsecos*⁵ con respecto a los objetos geográficos. Por lo tanto, no se ha logrado obtener resultados adecuados que solucionen esta problemática. Esto se debe a que únicamente se eligen ciertos criterios para definir la semántica espacial para determinados casos de estudio y de acuerdo con una comunidad de especialistas en GIS, o simplemente se consideran en forma aislada las componentes básicas de este campo: *usuario, espacio y tiempo*. En este sentido, estas componentes deben ser consideradas para proponer una metodología que permita *conceptualizar el dominio geográfico*, ya que en la actualidad se han realizado diversos intentos para este objetivo; sin embargo todos estos factores han sido tratados en forma aislada, lo cual resulta en conceptualizaciones muy dependientes del *expertise* de los usuarios o de los diseñadores de las ontologías; por lo tanto, lo que se busca es generar conceptualizaciones muy particulares acotadas a un contexto en particular de un caso de estudio, pero que involucren las tres componentes citadas y que conforman la esencia del dominio geográfico.

Cabe señalar, que no existen trabajos dirigidos a utilizar la semántica espacial como un mecanismo alternativo para la correcta *representación y descripción* de los datos geoespaciales, en donde se puedan distinguir estos elementos por medio de sus características (propiedades, relaciones y funciones) o comportamiento, sino simplemente utilizando un “valor atributivo” o una primitiva de representación espacial (punto, línea y polígono). Por tal motivo, es necesario involucrar valores cualitativos y datos imprecisos que puedan ser útiles para encontrar y definir la semántica de los objetos geográficos, por medio de una conceptualización del dominio geográfico, la cual se vea reflejada a través de ontologías.

⁵ Se consideran aspectos intrínsecos a todas las propiedades, relaciones y funciones que componen a los objetos geográficos, de acuerdo con un contexto específico.

Por consecuencia, en esta tesis se pretende encontrar una metodología formal que permita definir la *semántica espacial del dominio geográfico*, considerando todo un conjunto suficiente de propiedades, relaciones y funciones que determinen el comportamiento de los objetos geográficos, para describir su semántica por medio de una conceptualización basada en ontologías y orientada a un contexto particular dentro de este dominio.

Por lo anterior, con esta metodología se busca mejorar los mecanismos de representación, recuperación e integración de datos geoespaciales, evitando ambigüedades en la medida de lo posible, las cuales pueden presentarse en diferentes representaciones geográficas, en particular dentro de un dominio geográfico.

1.7 Comparativo: Enfoque clásico vs. Enfoque propuesto

En el enfoque clásico, se tienen diversas tareas de análisis y procesamiento de los datos geoespaciales. Éstas se basan o dependen directamente de una *representación numérica*, lo cual ha resultado favorable en los modelos de representación geoespaciales tales como raster y vector. Mediante un *procesamiento numérico*, es posible obtener distintas características inmersas en los objetos geográficos, siempre relacionadas con propiedades *topológicas* o *geométricas*. Por ejemplo, si se tiene un Fresno, se pueden obtener sus coordenadas geográficas: 51° N, 112° W dentro de un bosque. También, si se desea conocer la distancia que hay del puesto de vigilancia del CIC al metro IPN está puede ser obtenida: $d = 300$ m, calculada directamente de los números. Ahora bien, si se desea conocer el área que abarca el edificio del CIC ésta se procesa con valores numéricos, la cual arroja como resultado: $a = 3,600$ m². En este sentido, los *factores* que describen las propiedades de los objetos geográficos establecen los criterios para localizar, identificar o realizar algún otro tipo de análisis sobre una entidad geográfica. En tal caso, si se obtienen coordenadas más precisas de un objeto; por ejemplo, las coordenadas 51.89° N, 112.77 W que correspondían anteriormente al Fresno; ahora, al incrementar la resolución este objeto ya no puede ser localizado ni identificado, puesto que se trata de otro totalmente diferente, ya que la precisión influye en la ubicación de los objetos. Ahora, si modificamos la proyección de una región el valor del área será diferente; puesto que la proyección cartográfica es dependiente para esta tarea. Por tanto, podemos ver que el enfoque clásico siempre es dependiente de diversos *factores* que intervienen entre sí para determinar el análisis y procesamiento de datos geoespaciales, tales como la escala, sistemas de georeferencia, proyecciones cartográficas, propiedades topológicas y geométricas

implícitamente representadas; por lo cual esto es su principal limitante. También, en este enfoque no se representa el significado (semántica) de lo que implícitamente indican estos valores; es decir, para un ser humano es más entendible obtener como resultados *etiquetas* que describan la interpretación de nuestro sistema cognitivo. Por ejemplo, ¿En dónde está el CIC? La respuesta sería en la Unidad Zacatenco, en lugar de proporcionar una tupla de coordenadas; o bien, ¿Cómo llegar del puesto de vigilancia del CIC al metro IPN? Sería mejor arrojar una descripción en lenguaje natural que nos permita entender el camino para llegar, en lugar de proporcionarle un mapa con la ruta requerida.

En este sentido, el enfoque que proponemos no depende de ninguna escala, sistema de georeferencia, proyección u otra característica intrínseca a los datos geoespaciales. Por tal motivo, no se utiliza un procesamiento basado en *valores numéricos* para tal fin. No obstante, estos valores se encuentran implícitos en los datos geoespaciales, por lo cual es factible la obtención de resultados relacionados con el enfoque clásico. De acuerdo con lo anterior, y retomando la pregunta ¿Cómo llegar del puesto de vigilancia del CIC al metro IPN? La respuesta con el enfoque propuesto sería: “Salir por la puerta principal del CIC, caminar a la izquierda hacia la reja de entrada, dar vuelta al final de la calle Venus a la izquierda, caminar a lo largo de agencia Mylsa 50 m.”. Cabe señalar que esta descripción está lista para poder ser enviada al celular de algún usuario por SMS (Short Message Service – por sus siglas en inglés). De igual forma, se pueden evitar *ambigüedades* entre los objetos geográficos involucrados en una descripción; puesto que se cuenta con una *conceptualización* del dominio para este fin. El enfoque propuesto se basa en un *procesamiento semántico* de estos datos, con el objetivo principal de describir un entorno y mediante el resultado que se obtenga se pueda compartir, interoperar, integrar, compactar información geoespacial; así como ofrecer un mecanismo alternativo de representación de la información geoespacial entre diversos grupos, resultando éste una forma más interpretable del entorno geográfico. En otras palabras, se intenta generar una remembranza de la manera en la cual los seres humanos percibimos el mundo real en su forma más natural; así como la forma en la que nos comunicamos e interpretamos cognitivamente nuestro entorno.

1.8 Hipótesis

La presente tesis introduce una metodología basada en la conceptualización del dominio geográfico, apegada a las especificaciones o estándares del INEGI⁶ que permite auxiliar en las tareas de integración, recuperación, representación y compartir la información geoespacial de acuerdo con su semántica. Se propone que estas tareas se realicen a través de las propiedades, relaciones y funciones que envuelven a los objetos geográficos y que definen su semántica, la cual puede ser obtenida por medio de una descripción conducida por un esquema conceptual que involucre las propiedades esenciales del dominio geográfico, a partir de una ontología de dominio y de ontologías de aplicación de un contexto. Por lo tanto, las preguntas principales sobre el problema planteado y hacia donde se dirige esta investigación son las siguientes:

- ¿Cuáles son los componentes que definen la semántica espacial de los objetos geográficos?
- ¿Cómo se puede obtener una conceptualización del dominio geográfico y una ontología de aplicación restringida por un contexto espacial?
- ¿Para qué sirve generar descripciones y esquemas conceptuales de un contexto geográfico a partir de una ontología del dominio geográfico?
- ¿Cuál es el propósito de contar con una conceptualización del dominio geográfico?

Las respuestas a estas preguntas se enfocan en el desarrollo de un marco de trabajo para la integración, recuperación y representación formal del conocimiento de los datos geoespaciales, basándose en la semántica que proporcione una conceptualización de este dominio. De acuerdo con el desarrollo de algunas investigaciones realizadas, se ha considerado que para definir la semántica espacial es necesario conocer el conjunto de propiedades, relaciones y funciones esenciales que describen a los objetos geográficos, lo cual puede proporcionar la conceptualización de este dominio.

Una parte fundamental para llevar a cabo la conceptualización de este dominio, es considerar el conocimiento *a priori* que se tenga sobre el contexto, en donde se puede definir a este término como el conocimiento previo y registrado que se tiene sobre los

⁶ Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.

objetos geográficos (datos geoespaciales), ya sea por medio de la experiencia humana (expertos en el área) o por un conjunto de especificaciones explícitas (estándares generados por INEGI y otras fuentes) en diversos periodos de tiempo que permitan definir este conocimiento.

Por tal motivo, suponemos que es necesario partir del análisis y acuerdos compartidos⁷, los cuales permitan describir las características de los objetos geográficos para obtener un conocimiento *a priori*, de acuerdo con los tres componentes esenciales que componen al dominio geográfico: el *usuario*, *espacio* y *tiempo*.

A su vez, este conocimiento *a priori* puede clasificarse para diseñar una ontología espacial tosca⁸ del dominio geográfico que permita reflejar la *semántica* de un sistema de objetos geográficos, de acuerdo con un *contexto* específico, a través de una *descripción semántica*⁹ obtenida a partir de un conjunto de propiedades, relaciones y funciones descritas en un esquema conceptual.

Este marco de trabajo puede servir para definir la semántica espacial de un sistema de objetos geográficos y puede considerarse como una representación semántica, la cual es un método alternativo para la integración, recuperación y representación formal de datos geoespaciales.

Adicionalmente, este mecanismo sólo considera los objetos geográficos que componen una partición espacial específica; es decir, está orientada hacia la descripción semántica de datos geoespaciales de un contexto determinado dentro del dominio geográfico, considerando todas las propiedades, relaciones y funciones intrínsecas que componen a esta partición.

Con respecto al propósito de contar con una conceptualización del dominio geográfico, éste puede ser considerado como una alternativa de representación de datos geoespaciales, en donde este tipo de representación permita compartir e integrar información; con lo cual los mecanismos de recuperación de datos puedan ser más precisos

⁷ Acuerdos compartidos hace referencia a la definición de (Gruber, T., 1991b) de ontología, la cual se define como una especificación explícita de una conceptualización compartida.

⁸ Tosca se refiere a una ontología base, debido a que cuenta con un nivel de abstracción alto, pero no detallado en cuanto a conceptos específicos se refiere.

⁹ Esta descripción podemos considerarla como un subconjunto de la ontología del dominio geográfico, por lo tanto ésta es considerada una ontología más detallada de acuerdo con el contexto determinado.

y se utilice la *semántica* de los objetos geográficos para estas tareas. En conclusión a lo anterior, la hipótesis de investigación de esta tesis es:

- *La conceptualización de un dominio geográfico se obtiene a partir de una ontología de dominio, la cual está compuesta de conceptos, relaciones, propiedades, instancias, axiomas, habilidades, clases y restricciones que definen este contexto. Esta conceptualización permite construir ontologías de aplicación utilizando los elementos que componen a una ontología de dominio geográfico. Además con esta técnica se puede solucionar en forma parcial tareas de integración y recuperación de información geoespacial, con el soporte de un esquema global que describe instancias de la ontología para generar descripciones semánticas. El esquema conceptual consiste en un conjunto de conceptos terminales y no terminales que representan relaciones intrínsecas espaciales y no espaciales, las cuales determinan el comportamiento de los conceptos que representan objetos de un contexto específico de un dominio geográfico, con lo cual se pueden generar ontologías de aplicación restringidas por el contexto o casos de estudio en particular.*

Hasta el momento a este mecanismo de conceptualización del dominio geográfico, lo hemos denominado *procesamiento semántico asociativo para datos espaciales*, en el cual intervienen un conjunto de componentes básicos para describir la semántica de un conjunto de objetos geográficos que envuelven una partición espacial.

1.8.1 Definiciones intuitivas relacionadas con la hipótesis

De acuerdo con la hipótesis, a continuación se proporciona un conjunto de definiciones iniciales o intuitivas sobre los términos citados anteriormente.

Propiedades. Son elementos fundamentales que permiten describir las características básicas de los objetos geográficos, tales como la topología, geometría y atributos descriptivos que envuelven a una entidad geoespacial, desde un punto de vista general. Dentro de las propiedades que envuelven a los datos espaciales, éstas pueden clasificarse como: *espaciales* y *no espaciales*. Por ejemplo: En una red hidrológica, es necesario conocer todos los afluentes que llegan a una ciudad para brindar agua a la población, o en el caso de los cuerpos de agua, en donde se encuentran ubicados, cual es su capacidad de explotación, almacenamiento, etc.

Relaciones. Son los elementos que se encargan de definir los vínculos existentes entre diversos objetos geográficos que componen una partición o un conjunto definido de objetos geográficos. Se utilizan para interpretar y determinar reglas de consistencia de los datos geoespaciales. Existen tres niveles para formular estas reglas:

1. Reglas a nivel de primitivas geométricas para mantener la estructura de los objetos geográficos.
2. Reglas para la relación entre objetos y primitivas geométricas.
3. Reglas para mantener las relaciones topológicas entre objetos, a partir de un conjunto de restricciones.

Las relaciones espaciales pueden clasificarse en dos tipos: *relaciones intrínsecas*, son todas aquellas que involucran la interacción con elementos del mismo sistema de objetos geográficos, y las *relaciones extrínsecas* son aquellas que se encuentran presentes con otros sistemas de objetos. Dentro de esta clasificación de relaciones, se deben considerar diversos aspectos de las mismas, entre los cuales están: el *topológico*, *geométrico*, *localización*, *dirección* y *lógico*.

Funciones. Son relaciones que describen el aspecto lógico de un sistema de objetos geográficos en un contexto determinado, tal que una relación es dependiente de la otra. Por ejemplo, supongamos que un ingeniero desea construir una carretera, y existe un punto en el terreno en donde se presenta una intersección; sin embargo, no se sabe si este tipo de intersección es un cruce de carreteras o simplemente otro tipo de objeto como un “puente”, por lo tanto se presenta una relación lógica que es dependiente del contexto y de la partición de objetos geográficos.

Ontología. De acuerdo con (Smith, B. & Mark, D., 2001), una ontología en términos computacionales es una representación de algún dominio preexistente de la realidad, el cual:

1. Refleja las propiedades de los objetos dentro de su dominio en forma tal que se obtiene una correlación sistemática entre la realidad y la representación por sí misma.
2. Es inteligible a un dominio experto.
3. Es formal tal que permite el soporte automático para el procesamiento de la información.

Contexto. En un sentido estricto, es “una abstracción rodeada de diversos componentes y da el significado a algo más”¹⁰. El contexto es un tema clave en la interacción entre hombre y máquina, describiendo los hechos que rodean y que agregan un *significado*.

De acuerdo con el estado del arte, se ha definido el término de contexto como una descripción de la situación actual sobre un nivel abstracto, derivado de las señales que están disponibles. En un ámbito espacial, el significado de un concepto espacial puede ser *dependiente* de un gran número de contextos dentro de los cuales el concepto es utilizado.

Por ejemplo, cuando un usuario solicita un mapa para ser desplegado por un GIS, él está intentando realizar una tarea dominio que tiene algunas necesidades de información. La tarea llega a ser una parte importante del uso del contexto para conceptos espaciales. En este sentido, la petición “*muéstrame un mapa cerca de Cancún*”, puede ser elaborado por una persona *A*, quién tiene la tarea de seleccionar un centro comercial y existe una persona *B* que planea unas vacaciones a este sitio. Sin embargo, la persona *B* es probable que espere un mapa que muestre un área geográfica grande en comparación con la persona *A*.

Por lo tanto, existen evidencias para asumir que el significado de los conceptos espaciales, tal es el caso de “cerca” son dependientes de un contexto espacial. Por lo tanto, el contexto espacial relevante de un objeto geográfico depende del propósito, o de los datos geográficos considerados.

De igual forma, el contexto puede ser utilizado como un significado para expresar excepciones (i.e. “*remover todas las casas excepto la que se encuentra aislada*”). Este uso de contexto es adoptado particularmente a una representación basada en reglas de conocimiento cartográfico, en donde las excepciones a las reglas contienen términos de contexto relacionado.

Además, puede ser utilizado para expresar restricciones sobre los resultados esperados (i.e. “*La posible relación de paralelismo entre la carretera y el río debe ser conservada*” o “*El río debe quedar dentro del valle*”). Estas reglas cartográficas son expresadas de manera más sencilla en un formalismo basado en restricciones.

¹⁰ Esta definición es proporcionada por The Free On-line Dictionary of Computing.

Descripción semántica. Es una descripción que refleja la semántica de un conjunto de objetos geográficos que componen una partición espacial, en un contexto específico. Se puede considerar que esta descripción semántica es un *subconjunto* de una ontología espacial. Asimismo, la descripción presenta un *contenido semántico*, el cual está definido por las propiedades, funciones y relaciones que envuelven al sistema de objetos geográficos y su vocabulario.

Estas descripciones semánticas pueden ser utilizadas para diversos objetivos, tales como métodos alternativos para representar formalmente conocimiento geoespacial, integración de información geográfica, heterogeneidad e interoperabilidad semántica, compresión de datos espaciales, entre otros.

Esquemas conceptuales. La diferencia entre una ontología y un esquema conceptual es muy grande, ya que el primer término se encarga de describir una conceptualización del dominio geográfico y el segundo es generado para describir los contenidos de ese dominio en particular, como puede ser el caso de una base de datos (BD).

En este sentido, una ontología es externa a un sistema de información (SI) y es una especificación de posibles mundos y escenarios de éstos. Por el contrario, un esquema conceptual es interno a los SI y es elegido como la especificación de un mundo posible. Además, los esquemas conceptuales son construidos para organizar qué se va almacenar en una BD y entonces son utilizados para documentarla.

Por ejemplo, un *depósito* puede representarse diferentemente en diversas bases de datos, pero el concepto es el mismo; al menos desde el punto de vista de una comunidad (concepto consensuado).

Este punto de vista es expresado en la ontología que la comunidad ha especificado, i.e., **depósito es un depósito** si éste es representado para los propósitos de un SI por: fotografías aéreas, modelo digital del terreno, un polígono entre otras representaciones del mundo real.

Un *esquema conceptual* proporciona una descripción lógica de datos compartidos, permitiendo que programas de aplicación y bases de datos interoperen sin tener que compartir estructuras de datos; además, éste define relaciones sobre los datos, lo cual es muy importante considerar cuando se pretende conceptualizar el dominio geográfico.

En resumen, la técnica propuesta en esta tesis pretende solucionar en forma parcial problemas relacionados con el intercambio y ambigüedades de datos espaciales, entre diferentes bases de datos geográficas o formatos, con lo cual también se puede considerar ésta para intentar solventar problemas relacionados con integración, heterogeneidad y representación del conocimiento geoespacial.

Esta metodología puede ser útil en el sentido de que un concepto pueda resolver ambigüedades con respecto a los datos geoespaciales que se encuentren almacenados en diferentes fuentes, y recuperar así los conceptos (“no palabras”) que cumplan con un criterio semántico real de un caso de estudio en particular.

Usando la *semántica espacial*, se pretende realizar una *compresión* de la información para facilitar el intercambio e integración de la misma, a través de conceptos que correspondan a la descripción de cada elemento que compone un fenómeno geográfico en diferentes dominios especializados del mundo geográfico.

De igual forma, el hecho de conocer la *semántica espacial* de los objetos geográficos, puede permitirnos realizar análisis espacial con mayor precisión y confiabilidad, lo cual implica mejorar la toma de decisiones en diferentes contextos.

1.9 Audiencia o lectores de esta tesis

Esta tesis está pensada para cualquier persona interesada en la integración de información geoespacial, principalmente basándose en el *aspecto semántico* de los datos geoespaciales, proponiendo una nueva metodología para representar, recuperar, integrar y compartir datos geográficos, sin utilizar extensivamente métodos clásicos de la Geocomputación.

En adición, este trabajo puede contener material de interés para usuarios que trabajan en el diseño y desarrollo de GIS, esquemas conceptuales, modelos de representación de conocimiento geográfico, implantación de sistemas de información conducidos por ontologías, incluyendo además a investigadores interesados en geo-ontologías, diseño de bases de datos geográficas; así como modelado de objetos geoespaciales basados en semántica y razonamiento espacial basado en una conceptualización.

1.10 Organización de la tesis

Esta tesis se encuentra compuesta por seis capítulos y dos anexos. Cabe señalar que al inicio de cada capítulo se presenta una introducción al mismo; así como las conclusiones o resumen general de lo tratado en cada sección.

Capítulo 1. Este capítulo proporciona una introducción a la tesis, se presentan los objetivos del trabajo, el enfoque de investigación de la tesis, la justificación del por qué es importante contar con técnicas alternas para procesar la información geoespacial; además se describe el planteamiento del problema y la hipótesis de investigación desarrollada. En adición, se ha agregado una sección que intenta orientar al lector sobre el tópico de esta investigación; así como los alcances y limitaciones del trabajo.

Capítulo 2. Este capítulo describe el estado del arte y el enfoque de la investigación. Asimismo, se detallan varios trabajos relacionados con el enfoque de la tesis. El capítulo finaliza con una serie de comentarios y críticas relacionadas al estado del arte y hacia donde se dirige la investigación de semántica en el área de la Geocomputación.

Capítulo 3. Éste presenta el marco teórico de la tesis, el cual contiene todos los elementos o herramientas esenciales que componen el desarrollo de la misma; así como términos relacionados con el estudio de ontologías, conceptualización, semántica, razonamiento cognitivo, contexto, entre otros.

Capítulo 4. Este capítulo describe la metodología propuesta para diseñar una técnica que proporcione los pasos adecuados para conceptualizar el dominio geográfico, formalizando todos los elementos involucrados en esta metodología. De igual forma, se definen los esquemas conceptuales, descriptores semánticos, utilizados para generar una ontología de dominio específico, restringida por un contexto particular o caso de estudio.

Capítulo 5. En este capítulo se presentan y discuten los resultados experimentales obtenidos al aplicar la técnica diseñada para un caso de estudio en particular. Por otra parte, se describen varios mecanismos que permiten validar el método para determinar la eficiencia del mismo; así como las guías para implementar nuevos algoritmos que mejoren la conceptualización de un dominio geográfico.

Capítulo 6. Este capítulo describe las conclusiones del trabajo, haciendo un énfasis en las aportaciones originales emanadas de esta tesis, las ventajas y limitaciones de la técnica propuesta; así como los trabajos a futuro que pueden desarrollarse, tomando como base esta tesis.

Finalmente se adjuntan las referencias bibliográficas utilizadas y consultadas durante el desarrollo de la presente tesis; así como el Anexo 1 correspondiente al código fuente de las funciones principales de la metodología y el Anexo 2 que contiene las ontologías diseñadas e implementadas; en conjunto con los recursos y herramientas utilizados en esta tesis.

Capítulo 2. Estado del Arte

2.1 Introducción

En este capítulo se aborda el estado del arte relacionado con el trabajo de investigación de esta tesis. De igual forma, se exploran los resultados de diversas investigaciones y proyectos realizados por diversos científicos y académicos dentro del área de ciencias de la información geográfica (GIScience).

Asimismo, en este capítulo se presentan los antecedentes que dieron origen a la línea de investigación; así como el enfoque general de los trabajos realizados en el campo y su relación directa con la presente tesis. Por último, se puntualizan comentarios finales y el análisis de las diversas investigaciones, en dependencia con el trabajo aquí desarrollado.

2.2 Antecedentes

Las ontologías de fenómenos geospaciales es un tema de investigación crítico en ciencias de la información geográfica. Actualmente, la percepción y concepto de ontología ha conseguido incrementar la atención entre diversos investigadores de ciencias de la información geográfica. Asimismo, el UCGIS (*University Consortium for Geographic Information Science* – por sus siglas en inglés) ha reconocido la importancia de las ontologías para jugar un rol indispensable en el establecimiento de fundamentos teóricos robustos para las ciencias de la información geográfica en el futuro. El interés sobre el tópico ha sido documentado de manera formal en diversas actividades:

- Una sesión sobre ontologías en una reunión de la AAG (*Association of American Geographers* – por sus siglas en inglés) en el año 2000 en Pittsburgh, organizada por Nadine Schuurman y David Mark, presidida por Max Egenhofer; así como presentaciones estelares por parte de Michael Curry, Grez Elmes, Harvey Miller, Nadine Schuurman y David Mark.

- El Congreso de EURESCO denominado *Euro Conference on Ontology and Epistemology for Spatial Data Standards*, cubrió un tópico sobre el Dominio Geográfico y Sistemas de Información Geográfica, este evento fue organizado por Stephan Winter en septiembre del año 2000.
- Un número especial de la revista *International Journal of Geographical Information Science*, ha sido editado, en donde diversos trabajos relacionados con ontologías espaciales fueron publicados.
- Varias sesiones y artículos sobre ontologías han sido presentados y publicados en el *Congreso GIScience*, desde el año 2000.
- En proyectos patrocinados por NSF y por NIMA (*National Science Foundation* y *National Imagery and Mapping Agency* – por sus siglas en inglés respectivamente) en esta área.

UCGIS se ha encargado de documentar una serie de investigaciones y proyectos relacionados con el tópico de “Fundamentos Ontológicos para Sistemas de Información Geográfica”. Bajo esta sombrilla, se han unificado varias investigaciones de subcampos interrelacionados, cada uno de los cuales negocian con diferentes perspectivas sobre ontologías geoespaciales y los roles que pueden jugar en ciencias de la información geográfica. Mientras que cada uno de estos subcampos podrían direccionarse en forma separada¹.

Actualmente, se piensa que es importante enfocar la investigación ontológica en una forma unitaria, un estilo sistemático y conceptual; con respecto a qué debe requerirse para establecer una ontología exhaustiva del dominio geoespacial. En este sentido, es necesario también hacer una elección de los métodos apropiados para formalizar ontologías; así como consideraciones con respecto al diseño de sistemas de información conducidos por ontologías.

Esta técnica integrada es necesaria porque existe una fuerte dependencia entre los métodos utilizados para especificar una ontología, y la riqueza conceptual. Del mismo modo, las implementaciones de sistemas de información son necesarias como pruebas de

¹ Este artículo fue originado por dos propuestas separadas: *Geospatial Ontology* (www.ucgis.org/oregon/ontology.buffalo.pdf) y *Ontologies in GIS* (www.ucgis.org/oregon/ontology.maine.pdf).

validación del uso de cada aspecto de una ontología exhaustiva del dominio geográfico. Cabe señalar, que ninguna de las prioridades de investigación de UCGIS proporciona una perspectiva integral como tal; por lo tanto, el tópico de “Fundamentos Ontológicos para Ciencias de la Información Geográfica” es único (Mark, D., Smith, B., Egenhofer, M., *et al.*, 2001).

2.3 Enfoque general

De acuerdo con los antecedentes presentados en la sección anterior, es necesario analizar diversos términos que relacionan al tópico de investigación. Con base en (Mark, D., Smith, B., Egenhofer, M., *et al.*, 2001), se cita que es importante trabajar en conceptos geográficos, categorías, relaciones y procesos desde una perspectiva teórica, la cual debe estar coordinada con los datos geoespaciales y un software estándar.

Puesto que implícita o explícitamente, las teorías y compromisos ontológicos son la razón fundamental del aspecto cognitivo, la ontología en un sentido filosófico es una iniciativa que corta transversalmente todas las raíces de la ciencia y los sistemas de información. Esto se debe a que todas las ciencias y sistemas de información interactúan de alguna forma y en algún nivel de generalidad con la realidad (Smith, B., 2003). B. Smith cita el hecho que “*el crear representaciones efectivas es una ventaja, si conocemos algo acerca de las cosas y procesos que se intentan representar*”.

Por otra parte, los compromisos ontológicos son el fundamento de todas las formas de lo cognitivo; de aquí que las ontologías en sistemas de información sean conceptualizaciones y compromisos, los cuales son necesarios para soportar la investigación en ciencias de la información geoespacial. En este caso, la ontología como el estudio de compromisos ontológicos es muy cercana a tópicos de investigación que relacionan a GIScience, tales como *modelado de datos y representación de los mismos* (Smith, B., 2003).

El sentido cognitivo espacial y los sistemas de información geográfica relacionan sus propias formas a los aspectos espaciales del mundo real, específicamente al dominio de los objetos y procesos localizados en grandes regiones espaciales, o sobre la superficie de la Tierra. Este dominio existe, independientemente del sentido cognitivo humano.

Por lo anterior, se puede concluir que la realidad espacial existió antes de la existencia de los seres humanos o cuando éstos fueron introducidos a esta escena. La independencia del dominio geoespacial es especialmente realizada en una forma clara, cuando existen varias raíces independientes de las ciencias naturales; tales como geología, geomorfología, climatología, oceanografía, ecología, entre otras; y tal vez la geografía por si misma, las cuales negocian con la misma realidad.

Esta dependencia implica que las concepciones filosóficas y de los sistemas de información de ontologías sean mucho más cercanas al dominio geográfico que a otros dominios (Smith, B., 2003).

La tarea de construcción de ontologías no solo está enfocada al diseño específico de algoritmos y estructuras de datos que permitan la implementación y codificación de la información geoespacial y procesos; sino además apunta a construir técnicas robustas y adecuadas para la representación e integración de datos geoespaciales; así como aspectos conceptuales del dominio geográfico, interoperabilidad y heterogeneidad semántica. Sobre estas bases se buscan obtener representaciones apropiadas para fenómenos geoespaciales, las cuales permitan coincidir con la realidad fundamental y especialmente cómo esta realidad sale del ser humano.

De acuerdo con lo anterior, a continuación se presentan varios trabajos relacionados con los tópicos de investigación mencionados y se describen las principales características de estas investigaciones.

2.3.1 Smith, B. & Mark, D., 2001

Este trabajo reporta los resultados de una serie de experimentos que fueron diseñados para establecer cómo los *sujetos* no expertos conceptualizan los fenómenos geoespaciales. A estos *sujetos* se les solicitó dar ejemplos de categorías geográficas en respuesta a una serie de diferentes expresiones. Los resultados producen una ontología de categorías geográficas.

Esta ontología envuelve un catálogo de conceptos geoespaciales fundamentales y categorías compartidas en común por *sujetos* humanos, independientemente de sus orientaciones. Cuando este catálogo se combina con sustantivos tales como: *característica* y *objeto*, el adjetivo *geográfico* proporciona exclusivamente elementos de un ambiente físico de escala geográfica o tamaño; tal como una montaña, lago y río. Los autores

comentan la frase *las cosas que podrían dibujarse sobre un mapa*, asumiendo que muchos otros artefactos geográficos pueden producirse para poder ser representados en un mapa (*carreteras, ciudades, etc.*); así como objetos *fiat*² (*estados, países, etc.*) y algunos tipos de características físicas. Estos datos revelan discordancias considerables, tales como los significados asignados a los términos “*geografía*” y “*geográfico*” por diversos científicos y por sujetos ordinarios.

Para ellos, esto resulta útil con el objeto de conocer las diferencias que pueden existir en cómo los científicos y sujetos ordinarios conceptualizan los fenómenos geográficos. Este trabajo tiene implicaciones directas para trabajar sobre la utilidad e interoperabilidad en ciencias de la información geográfica y lanza a la luz los términos “*objeto*”, “*entidad*” y “*característica*”; además de cómo estos términos pueden interactuar con los conceptos geográficos.

2.3.2 Smith, B. & Mark, D., 1998

En este artículo se describen algunos aspectos fundamentales para la construcción de una ontología del espacio geográfico; así como de objetos y fenómenos del espacio geográfico. También se presentan algunas razones del por qué las ontologías de objetos geográficos difieren de las ontologías de objetos cotidianos examinados comúnmente por filósofos y especialistas en cognición.

En este sentido, una ontología de tipos geográficos es diseñada para consentir un mejor entendimiento de la estructura del mundo geográfico y soportar el desarrollo conceptual de sistemas de información geográfica.

Este trabajo primero demuestra que los objetos geográficos y tipos no son solo versiones mayores de objetos y tipos cotidianos de la ciencia cognitiva. Los objetos geográficos no son meramente localizados en el espacio, éstos están intrínsecamente ligados al espacio; esto significa que sus límites espaciales son en muchos casos los elementos más importantes para una categorización.

La ontología presentada en este trabajo está basada en la *topología* (teoría del límite, contacto y separación) y en la *mereología* (teoría de enteros y partes extendidas). Además,

² Este término es un sustantivo que describe un objeto legalmente válido o una decisión tomada por una corte para validar alguna región.

la realidad geográfica comprende entidades *mesoscópicas*³, muchas de las cuales son mejor visualizadas como conjunto de sombras por encima de un plano espacial de acuerdo con el razonamiento humano y el lenguaje.

Con este enfoque, una ontología de tipos geográficos puede ayudar a entender cómo grupos diferentes de humanos intercambian información geográfica. Además, puede auxiliar también a entender ciertos tipos de características que envuelven las relaciones cognitivas de fenómenos geográficos.

En este sentido, se asevera que los sistemas de información geográfica necesitan manipular representaciones de entidades geográficas y estudios ontológicos, en un nivel básico proporcionando características adicionales para estos sistemas.

La base principal del trabajo está centralizada en la *categorización* de entidades, en donde las entidades u objetos pueden considerarse como *bona fide y fiat*, de acuerdo con el significado o interpretación cognitiva de cada ser humano. De igual forma, las preposiciones espaciales inmersas en la topología; así como las características mereológicas juegan un rol primordial en la ontología de tipos geográficos. Para la categorización de entidades se proponen dos tipos de preposiciones: *categorías* (elementos base, tales como: “es un hombre”, “es un pez”, “es un lago”, etc.) y accidentales (propiedades o adjetivos de elementos, tales como: “es rojo”, “está coloreado”, “es grande”, “está enojado”).

El propósito de esta ontología de tipos geográficos está orientado a establecer las correspondencias e interrelaciones entre diferentes dominios de entidades espaciales y relaciones, con el objeto de construir sistemas para el razonamiento relacionado a entidades y relaciones espaciales.

2.3.3 Fonseca, F., Davis, C. & Câmara G., 2003

El propósito de este trabajo es demostrar cómo puede construirse un mapeo entre ontologías y esquemas conceptuales. Además se exploran las conexiones entre estos dos componentes; así como una descripción formal del mapeo, considerando que éste puede acelerar el desarrollo de ontologías y acortar el ciclo de desarrollo de aplicaciones, con base en esquemas conceptuales.

³ El término “mesoscópico” hace referencia a la escala de las entidades u objetos que se encuentran entre la escala macroscópica del mundo real y la escala atómica (o microscópica). Por lo cual, el término se utiliza para realizar un análisis de entidades de objetos geográficos al momento de ser miniaturizados.

Por lo tanto, se propone un método para enlazar una representación formal de semántica (i.e. ontologías) a esquemas conceptuales, describiendo información almacenada en una base de datos para integrar información geográfica. La aportación principal de este trabajo, es una estructura formal que detalla un mapeo entre una ontología espacial y un esquema conceptual geográfico.

El mapeo de ontologías a esquemas conceptuales es realizado por medio de tres niveles de abstracción: nivel formal en el cual conceptos altamente abstractos son utilizados para expresar el esquema y las ontologías. Nivel de dominio éste considera un esquema como una instancia de un modelo de datos genérico y el nivel de aplicación se enfoca directamente a aplicaciones geográficas.

Por lo tanto, los esquemas conceptuales son construidos para abstraer partes específicas del mundo real y representar esquemáticamente que datos deben ser coleccionados y organizados.

Una de las principales aportaciones de este trabajo es el describir el enfoque del problema, desde el momento del modelado y abstracción hasta la implementación de aplicaciones. Por ejemplo, un modelador es requerido para capturar una vista de mundo real en un modelo conceptual, éste utiliza algún paradigma para representar esta abstracción; sin embargo, en algunas ocasiones el modelador no es un especialista en el contexto del modelado, por lo cual se producen inexactitudes e inconsistencias desde el momento de la captura de un entorno.

No obstante, la consolidación de conceptos y representación de conocimiento en un esquema conceptual puede ser útil en los pasos iniciales de la construcción de ontologías. Por lo tanto, es indispensable corregir estas deficiencias, por medio de acuerdos iniciales entre el modelador y el usuario sobre conceptos del mundo real. Tales acuerdos podrían establecerse a través de una ontología, la cual entonces sería definida como la conceptualización compartida de un dominio de aplicación.

Además cabe considerar que los autores describen los aspectos del mundo geográfico que influyen en el mapeo de ontologías a esquemas conceptuales, tal que las representaciones computacionales deben envolver conceptos de componentes esenciales del mundo geográfico como: componentes *descriptivos*, *geométricos* y de *posición*.

En contraparte, los autores proporcionan una descripción taxonómica de los tipos de ontologías y muestran la diferencia principal entre una ontología y un esquema conceptual; a lo cual una *ontología* describe un dominio específico y un *esquema conceptual* es creado para describir los contenidos de ese dominio en una base de datos. Además, una ontología es externa a los sistemas de información y es una especificación de posibles mundos, a diferencia de un esquema conceptual que es interno a los sistemas de información y éste es elegido como la especificación de un posible mundo.

En este caso las ontologías son *semánticamente* más ricas que un esquema conceptual, puesto que representan conceptos del mundo real. Las ontologías están más cerca del modelo cognitivo del usuario y los esquemas conceptuales son construidos para organizar qué es necesario almacenar en una base de datos. Por ejemplo, un *depósito* puede representarse en forma diferente en diversas bases de datos, pero el concepto es el mismo, al menos desde el punto de vista de una comunidad.

2.3.4 Guarino, N., 1998

El término “*ontology-driven information systems*”⁴ fue acuñado por Guarino, en donde utiliza el término genérico de “*sistema de información*” en un sentido muy amplio para referirse a diversos campos y aplicaciones, principalmente en las áreas de Inteligencia Artificial, Lingüística Computacional y Teoría de Bases de Datos.

Este trabajo se enfoca en el lado de las aplicaciones, intentando ofrecer una referencia sistemática del rol centralizado que pueden jugar las ontologías en los sistemas de información. Asimismo, se presentan peculiaridades metodológicas y arquitecturales; en el lado metodológico su principal enfoque es la adopción de diversas técnicas interdisciplinarias, mientras que en el arquitectural, los aspectos se centralizan en el cómo automatizar sistemas de información por medio de ontologías.

De igual forma, el trabajo intenta clarificar el término de “*ontología*” en el área de ciencias de la computación. Además de proporcionar definiciones relacionadas a los términos “*compromiso ontológico*” y “*conceptualización*”. Se introduce además, la perspectiva de mostrar cómo las ontologías pueden jugar un rol central, impactando en los principales componentes de un sistema de información, tales como: recursos de información, interfaces de usuario y programas de aplicación.

⁴ Sistemas de información conducidos por ontologías.

El autor comenta que en muchos casos el término “ontología” es solo un nombre fantasioso que denota el resultado de actividades familiares del análisis conceptual y modelado de dominios, realizado por medio de metodologías estándar. Sin embargo, en otros casos presenta sus propias peculiaridades. Por ejemplo, en el lado metodológico se refiere a la adopción de una técnica altamente interdisciplinaria, en donde la filosofía y la lingüística juegan un rol fundamental en el análisis de estructuras de una realidad dada en un nivel de granularidad alto, formulando un vocabulario limpio y riguroso. El lado arquitectural se refiere a la centralización del rol que una ontología puede jugar en un sistema de información, para poder concebir un sistema de información conducido por ontologías.

El autor hace una distinción entre “Ontología” (con “o” mayúscula) y “ontología” (con “o” minúscula), el primer término hace referencia al sentido filosófico, en donde una ontología es un sistema particular de categorías que representan una cierta visión del mundo, y este sistema no depende de un *lenguaje* en particular. El segundo es utilizado dentro de la comunidad de ciencias de la computación, en donde una ontología se refiere a un *artefacto de ingeniería*, constituido por un *vocabulario* específico que es utilizado para describir una cierta realidad, con suposiciones explícitas con respecto a un *significado intensional* del vocabulario. Este conjunto de suposiciones usualmente tienen la forma de una teoría lógica de primer orden, en donde las palabras del vocabulario aparecen como nombres de predicados unarios o binarios, los cuales son llamados *conceptos y relaciones*. En el caso más simple, una ontología describe una jerarquía de conceptos relacionadas con aseveraciones relacionales, en casos más sofisticados, axiomas son agregados para expresar otras relaciones entre conceptos y para restringir su interpretación pensada.

Guarino argumenta que dos ontologías pueden ser diferentes en el vocabulario utilizado aunque compartan la misma *conceptualización*. Según Guarino, el término de *conceptualización* está vinculado con las *relaciones extensionales*, las cuales reflejan un estado particular de eventos, en donde las relaciones pueden definir significados. A su vez, las relaciones intensionales representan una propiedad matemática de las funciones que envuelven a posibles mundos (dominios). Todo tipo de representación intensional es denominada como *compromiso ontológico*, el cual se encuentra intrínsecamente ligado a un *lenguaje*.

Por lo tanto, una de las principales contribuciones de Guarino es transformar la definición de ontología, a la cual la considera como un conjunto de axiomas lógicos diseñados para dar cuenta de un significado pensado de un vocabulario. Por lo tanto, una ontología puede especificar una conceptualización solo en una forma muy indirecta, puesto que:

- a) Ésta puede solo aproximarse a un conjunto de modelos pensados.
- b) Así, un conjunto de modelos pensados es solo una caracterización débil de una conceptualización.
- c) Por lo tanto, una ontología para un lenguaje se aproximará siempre una conceptualización.

De acuerdo con lo anterior, Guarino concluye que una ontología es una teoría lógica para el significado pensado de un vocabulario formal, i.e. su compromiso ontológico a una conceptualización particular del mundo. Los modelos pensados de un lenguaje lógico utilizando un vocabulario son restringidos por su compromiso ontológico. En este sentido, una ontología refleja indirectamente este compromiso aproximando estos modelos pensados. Es importante enfatizar que una ontología es dependiente del lenguaje, mientras una conceptualización es independiente de cualquiera.

Guarino asegura que la integración de información es una de las áreas más importantes para utilizar ontologías. En este caso, si dos sistemas adoptan el mismo vocabulario, no existe garantía de por medio que pueda aceptar cierta información, a menos que éstos compartan la misma conceptualización. Asumiendo que cada sistema tiene su propia conceptualización, una consideración necesaria para realizar un posible acuerdo es que los modelos pensados de una conceptualización original se traslapen.

Suponiendo que ahora estos dos conjuntos de modelos pensados se aproximan por dos ontologías diferentes, puede darse el caso que estas dos ontologías se traslapen, mientras que los modelos pensados no lo hagan. Esto significa que un técnica *bottom-up* para la integración de sistemas basada en la integración de ontologías locales múltiples no pueden trabajar, especialmente si las ontologías locales son solo enfocadas en relaciones conceptuales relevantes a un *contexto* específico.

Con respecto a sistemas de información conducidos por ontologías, Guarino cita que cada sistema de información tiene su propia ontología, puesto que atribuye significado a los símbolos utilizados, de acuerdo con una vista particular del mundo. Guarino discute el rol específico y particular de una ontología explícita, la cual puede contar con una perspectiva arquitectural, donde este rol es centralizado y la ontología puede manejar todos los aspectos y componentes de un sistema de información.

En este caso un sistema de información consiste de tres tipos de componentes diferentes: programas de aplicación, recursos de información como bases de datos, bases de conocimiento e interfaces de usuario. Estos componentes están integrados en tal forma que cumplen un propósito concreto. Cuando se discute el impacto de una ontología en sistemas de información, se deben distinguir dos dimensiones ortogonales: una dimensión temporal, si una ontología es utilizada en tiempo de desarrollo o en tiempo de ejecución y una dimensión estructural, concerniente a la forma particular en la cual ésta puede afectar los componentes principales de un sistema de información.

Un punto importante para tener en mente en el desarrollo de sistemas de información conducidos por ontologías, es que una ontología no solo puede ser utilizada para construir un nuevo sistema de información, sino además ésta puede aprovecharse para la reingeniería de sistemas de información.

2.3.5 Egenhofer, M.J., Glasgow, J., Günther, O., Herring, J.R., *et al.*, 1999

Este artículo evalúa el progreso y estado de la investigación en el área de métodos computacionales para representar información geográfica. De igual forma, presenta las bases para la modelación de conceptos que representen diversos fenómenos geográficos.

En este sentido, el artículo cita que en los últimos 10 años, un subcampo de GIScience ha sido reconocido para direccionar el enlace entre el pensamiento humano con respecto al espacio y los mecanismos de implementación en modelos computacionales.

Los autores indican que el problema principal es el poder realizar un nivel altamente abstracto que permita capturar la *semántica* de la información geográfica. En este sentido, una motivación cognitiva es lo más prometedor de cómo se modela el enfoque de las necesidades de los usuarios y sus puntos de vista.

En este sentido, el trabajo intenta proponer mejoras en ciertos campos, tales como modelos de información espacial cualitativa, aspectos temporales, adquisición de conocimiento e integración de GIS con sistemas manejadores de bases de datos.

Es particularmente importante con respecto a la interfaz entre el mundo real y cómo éste es percibido en mundos geográficos computacionales. Este aspecto es vital porque a través de una técnica cognitiva, los conceptos geográficos que siempre han sido intuitivos pero nunca formalizados pueden desarrollarse en una estructura más formal.

Por otro lado, mientras implementaciones computacionales requieren ingenieros y programadores, es necesario considerar cómo la gente piensa acerca del espacio geográfico y tiempo, cómo traducen las conceptualizaciones humanas en formalismos que permitan que estos procesos sean repetitivamente consistentes y cómo hacer para que la gente interactúe en forma más natural con los sistemas de información.

Estos tres aspectos muestran cómo los métodos computacionales se extienden sobre el pensamiento espacial al área cognitiva, cómo se utilizan e interactúan con respecto a la información geográfica y cómo formalizar conceptos geográficos.

Para implementar conceptos geográficos en un alto nivel, compactos y en una forma reutilizable, es necesario definir tipos de datos espaciales, los cuales han llegado a formar métodos estándares.

En esencia se propone introducir la componente cognitiva en los modelos de datos espaciales y lenguajes de consulta espacial. Para aplicaciones espaciales, conceptos convencionales de un sistema manejador de base de datos son frecuentemente inadecuados; puesto que las bases de datos espaciales contienen datos multidimensionales con conocimiento explícito acerca de los objetos, su extensión y su localización en el espacio. Éstos frecuentemente tienen una estructura compleja: un objeto dato espacial puede estar compuesto de un punto único o varios miles de polígonos o varias colecciones de polígonos, líneas y puntos con restricciones de consistencia complejas.

Otro punto a tratar para la representación de conceptos geográficos es manejar tipos de datos espaciales abstractos, los cuales se apeguen más a las conceptualizaciones humanas del mundo real, y que no dependan directamente de los modelos computacionales de representación. Para esto se propone utilizar *Tipos de Datos Abstractos* (ADT por sus

siglas en inglés Abstract Data Types), los cuales proporcionen una forma más robusta para integrar tipos complejos dentro de un sistema de base de datos. La idea básica es encapsular la implementación de un tipo de dato, en tal forma que uno pueda comunicar con instancias de los tipos de datos solo a través de un conjunto de operadores bien definidos. La implementación interna de los tipos de datos y sus operadores son ocultados para cualquier usuario externo.

Como conclusión los autores argumentan que es difícil y arriesgado predecir el futuro de los métodos computacionales para representar conceptos geográficos, y citan que el aspecto *cognitivo* y el acercar las *conceptualizaciones* humanas debe ser la tendencia para solucionar problemas relacionados a la representación de conceptos geográficos con respecto a los métodos computacionales.

2.3.6 Bishr, Y. & Kuhn, W., 2000

Los autores citan que el compartir e intercambiar información geoespacial entre sistemas dentro de un ambiente distribuido, tal como Internet, es un requerimiento esencial en las aplicaciones actuales. Sin embargo, la mayor dificultad se presenta en la heterogeneidad semántica de las bases de datos geoespaciales, puesto que existen diferencias en el significado de los objetos abstractos en los diferentes sistemas de información.

Este trabajo muestra que una ontología basada en modelado de información proporciona más fundamentos cognitivos para modelos de sistemas de información⁵ y por lo tanto, minimiza el problema de la heterogeneidad semántica. Además, muestra el rol de una ontología en el modelado de información y discute las teorías necesarias para desarrollar ontologías para aplicaciones geoespaciales.

En este sentido, el artículo aborda una pregunta fundamental en el modelado de la realidad para sistemas de información. Para muchos modeladores de información, la pregunta de diseño es cuando se debe abstraer un fenómeno como una clase, atributo o relación.

⁵ El modelado de la realidad para sistemas de información se denomina modelado de la información. Esto significa el proceso de abstraer fenómenos del mundo real en construcciones que pueden representarse en la computadora, i.e., objetos, propiedades, comportamiento y relaciones. Este proceso es conocido como “modelado conceptual”.

Es común decir que la experiencia y las reglas son los factores más importantes para esta decisión. Por ejemplo, consideremos el término “*el carro es azul*”, entonces debemos definir la clase *carros*, la cual tiene la *propiedad* del tipo de color o definir una clase *color* y una clase *carro*. Entonces, es necesario demostrar que para la información a ser compartida es viable y esencial basarse en abstracciones pertinentes de la realidad, a lo cual se le denomina *fundamento ontológico*.

En trabajos de (Guarino, N., 1998), (Sheth, A., Gala, S. & Navathe, S., 1993) y (Bishr, Y., 1997) han desarrollado varias técnicas para identificar y ajustar las diferencias entre la similitud semántica de objetos en diferentes bases de datos. Aunque el mapeo semántico es realizado usualmente en un nivel extensional, el conocimiento acerca del nivel intensional es necesario para el mapeo correcto extensional. Los modelos conceptuales son intensionales por definición, puesto que no contienen suficiente conocimiento y por lo tanto no son lo suficientemente ricos *semánticamente* para proporcionar una interpretación única. Por ejemplo, considerando una clase “*carro*” que es una subclase de “*vehículo*”. Si tenemos alguna cosa que es similar a carros pero mucho más grande y utilizado para transportar madera, una *camioneta* debe ser una instancia de *vehículos* o de *carros*. Sin embargo, no es posible dar una respuesta a esta pregunta con la información limitada acerca de la semántica de vehículos y carros proporcionados por los modelos conceptuales.

En este caso un modelo computacional solo puede ser una representación correcta de la realidad dentro del ambiente en donde éste es creado y utilizado. Una vez que este modelo es expuesto fuera del mundo la noción de exactitud llega a ser insignificante, ya que no existe una especificación a la cual pueda éste referirse. Por lo tanto, las ontologías llenan esta necesidad, ya que proporcionan la especificación a seguir por los modelos computacionales.

Varios científicos han propuesto ontologías como un meta lenguaje que puede utilizarse para describir posibles mundos de una realidad dada (Guarino, Gruber, Bateman y Burg). El modelado de información necesita ser controlado para permitir compartir información satisfactoriamente. En este trabajo se sugiere que cualquier modelo de información coherente necesita basarse en un fundamento ontológico aceptado por una comunidad para garantizar interpretaciones sin ambigüedad.

Retomando el ejemplo de camionetas y carros, la decisión si la camioneta es un carro o ambos, un carro y un vehículo es un hecho de posibles mundos. En este caso una ontología permite considerar una camioneta como un carro. Si el modelo es lo suficientemente rico semánticamente para definir los mundos posibles, se podría decir que una camioneta es un carro y un vehículo, o solo un vehículo.

Las ontologías por lo tanto, son *externas* a los sistemas de información y son una especificación de mundos posibles en algún dominio particular. Por otra parte, los modelos conceptuales son *internos* a los sistemas de información y son una especificación solo de un mundo posible de un dominio dado. Con esta distinción es posible construir modelos conceptuales que sirvan para diferentes propósitos y estén basados en la misma ontología como referencia. El mapeo entre modelos conceptuales que tienen el mismo fundamento ontológico será simplificado.

Los autores comentan que para construir ontologías geoespaciales, es necesario tomar en consideración diversas teorías tales como: teoría de la topología, mereología, identidad, categorías y dependencia. Por lo tanto, el desarrollo de un fundamento ontológico basado en estas teorías ayudará en el desarrollo más coherente de modelos de información.

2.3.7 Spaccapietra, S., Cullot, N., Parent, C., *et al.*, 2004

Este trabajo está orientado a describir los elementos y componentes necesarios para la generación de ontologías espaciales; así como el estado actual en este campo. De igual forma, se propone una técnica específica basada en MADS (*Metadata Authority Description Schema*) y en un modelo de datos conceptual espacio-temporal.

En este sentido, las ontologías espaciales requieren de modelos específicos y herramientas para negociar con los aspectos geográficos de los datos. Una ontología proporciona una representación de conceptos del mundo real, como un acuerdo de una comunidad de individuos. Ésta sirve como referencia semántica para usuarios y aplicaciones que aceptan alinear su interpretación de la semántica de sus datos, a la interpretación almacenada en la ontología.

Diversos tipos de ontologías pueden existir, tales como diccionarios de datos sofisticados para enriquecer descripciones conceptuales y formales de conceptos con sus relaciones y restricciones. Una primera generación de ontologías y posiblemente, las más

utilizadas hoy en día son los *diccionarios* y *tesauros*. Éstos se enfocan en la definición de términos y su organización dentro de jerarquías (generalización/especialización) enriquecidas por enlaces semánticos comúnmente utilizados en lingüística (i.e. sinónimos, antónimos), por lo cual estos enlaces definen una referencia al vocabulario y son relativamente fáciles de usar.

Los autores comentan que la tendencia actual en el desarrollo ontológico apunta al soporte de modelos de ontologías más ricas que habiliten compartir información más compleja. Más allá de la organización de términos para denotar conceptos, estas ontologías deben enriquecer la descripción semántica de conceptos, asociando a cada concepto una descripción estructurada de sus propiedades.

Las ontologías descriptivas comparten con los esquemas de bases de datos conceptuales el esfuerzo para modelar algunos dominios o algunas actividades. Sin embargo, mientras las ontologías han sido tradicionalmente consideradas como un significado para explicar el mundo, los esquemas de bases de datos solo brindan el soporte para el manejo de datos, representando el mundo de esta manera. Como consecuencia, las ontologías usualmente no almacenan instancias de los conceptos que describen, mientras que las bases de datos están diseñadas para manejar eficientemente grandes cantidades de instancias.

Los autores citan que los servicios de Web semántica para objetos geográficos requieren el mismo tipo de facilidades ontológicas como otras aplicaciones. Sin embargo, todavía no se han considerado extensiblemente componentes esenciales que envuelven a los objetos geográficos tales como el *tiempo* y el *espacio*.

El espacio y tiempo pueden ser tratados en tres diversas formas. La primera, éstos pueden ser los dominios descritos por la ontología. Las ontologías de espacio definen los conceptos que son utilizados en la especificación del espacio, elementos espaciales (puntos, líneas, áreas), relaciones espaciales tales como: relaciones topológicas y campos continuos. Un ejemplo de ontologías de espacio son las especificaciones de ISO y OGC (Open Geospatial Consortium), las cuales utilizan GML (Geography Markup Language) para su definición. Similarmente, las ontologías de tiempo definen los conceptos que son utilizados para especificar el tiempo y elementos temporales, tales como: instante, intervalo, etc., y relaciones temporales como: antes, después, etc.

La segunda, el espacio y tiempo pueden ser el *background* implícito a un dominio de aplicación que depende de los datos geográficos. En este caso, se habla acerca de ontologías del dominio geográfico. Redes eléctricas, de transporte, población y sistemas de control de agua son ejemplos de posibles *dominios ontológicos*.

Finalmente, el espacio y tiempo puede ser utilizado para enriquecer la descripción de conceptos en la ontología para representar su localización espacial y temporal. En la misma forma, los modelos de datos espacio-temporales soportan la descripción de elementos espaciales y temporales en bases de datos espacio-temporales. Los autores utilizan el término ontologías espacio-temporales para referirse a ontologías que permiten especificar características espacio-temporales de sus conceptos.

Las direcciones principales de este artículo, de acuerdo con los autores, están enfocadas en agregar la componente espacial a las técnicas de descripciones lógicas, lo cual podría ser útil para enriquecer la descripción con un dominio concreto para la dimensión espacial. Para esto se propone agregar la *componente geométrica* en las descripciones; así como *predicados topológicos* que definan las restricciones de un concepto. Asimismo, es necesario generar *roles topológicos*, los cuales pueden hacer una especificación de los conceptos espaciales y objetos. El dominio concreto proporciona acceso a los algoritmos de razonamiento espacial que permiten la extensión del razonamiento terminológico a la dimensión espacial.

La otra dirección está orientada a incorporar sistemas de descripción lógica (DL) con sistemas de información geográfica. Esto proporcionaría razonamiento espacial cualitativo e incluiría la posibilidad de definir roles topológicos en una representación híbrida; así como una estructura de razonamiento para soportar la representación espacial y temática de los datos geográficos. Este marco de trabajo estaría compuesto por tres componentes principales:

La componente *extensional*, la cual manejaría las instancias que componen a las bases de datos espaciales. La componente *intensional* que ofrecería las capacidades de razonamiento y la componente de *consulta* que se encargaría de coordinar y definir las consultas de partes de objetos (u objetos completos) con respecto a características geométricas, topológicas y temáticas.

Por último los autores describen la técnica MADS (*Metadata Authority Description Schema*), la cual intenta proporcionar una técnica orientada al humano para modelar ontologías. Este modelo de datos soporta campos con vistas discretas y continuas del espacio y tiempo. Para la vista discreta, MADS depende de una jerarquía rica de tipos de datos espaciales (líneas, puntos, áreas, etc.), similar a la especificación que propone la OGC y tipos de datos temporales (instante, intervalo, etc.). Las extensiones espaciales y temporales pueden asociarse a tipos de objetos, tipos de relaciones y atributos para contar con mayor precisión de la estructura de datos.

MADS soporta la definición de atributos cuyo valor es una función del espacio, tiempo o ambos. Asimismo, este modelo puede definir relaciones espaciales y temporales, tales como: relaciones topológicas y de sincronización. Este modelo soporta percepciones y representaciones múltiples para los mismos objetos del mundo real.

2.3.8 Sharma, J., Flewelling, D. & Egenhofer, M.J., 1994

Este artículo describe los esfuerzos para construir un razonador espacial cualitativo, considerando álgebra de mapeos individuales para relaciones topológicas, aproximación de distancias, direcciones de cardinalidad y relaciones temporales. Se demuestra además, que un sistema de este tipo puede ser construido utilizando una metodología orientada a objetos y visualizando las relaciones espaciales como objetos por sí mismos.

En este caso un razonador cualitativo puede intentar solucionar los siguientes tópicos: (i) Formalizaciones para describir las direcciones de cardinalidad y aproximación de distancias entre objetos. (ii) Con un conjunto de álgebras de relaciones espaciales homogéneas, las inferencias entre diferentes tipos de relaciones espaciales pueden ser abordadas. (iii) En grandes bases de datos, los métodos de inferencia cualitativa pueden gastar muchos recursos computacionales, por lo cual un sistema de inferencias cualitativas, basado en jerarquías puede disminuir el costo computacional. (iv) Problemas relacionados con las diferencias en el uso y semántica de predicados espaciales, pueden ser solucionados basándose en un conjunto de conceptos espaciales.

No obstante, el trabajo cita que el empleo de métodos cuantitativos para representar e inferir información espacial y el tratar de negociar con información espacial cualitativa (IEC), presenta diversos problemas de *interoperabilidad*. En este caso, la IEC puede estar

incompleta o imprecisa y sin conocimiento de la geometría particular de los objetos espaciales involucrados.

Aunado a lo anterior, las representaciones cuantitativas siempre necesitan una descripción completa de los objetos (geometría), i.e., estas representaciones no pueden manejar información parcial y tienen serios problemas cuando la información geométrica es imprecisa.

Por otra parte, escenarios con información espacial cualitativa, incompleta e imprecisa ocurre frecuentemente cuando los usuarios desean analizar descripciones espaciales. Por ejemplo: narrativas, como en un periódico, descripciones de viajes y reportes de emergencia incluyen descripciones del espacio geográfico sin una descripción precisa requerida de los objetos involucrados, los cuales son necesarios para permitir a un GIS llenar los huecos e inferir información faltante.

El artículo describe que una técnica cuantitativa es una representación inapropiada del sentido cognitivo del ser humano y del razonamiento espacial. Por lo tanto, los autores citan que es importante forzar a los usuarios a traducir todos los conceptos espaciales en una estructura cualitativa, con el objeto de que los usuarios puedan razonar acerca de la *información espacial*, dentro de un ambiente puramente cualitativo. Mientras que los modelos cuantitativos utilizan valores absolutos, los modelos cualitativos negocian con *magnitudes*. La ventaja de los modelos de razonamiento cualitativo es que pueden separar el análisis numérico desde la determinación de magnitudes o eventos, los cuales pueden evaluarse en forma diferente dependiendo del contexto. En el razonamiento cualitativo, una situación es caracterizada por variables que pueden solo tomar un número pequeño y predeterminado de valores y las reglas de inferencia que utilizan estos valores en vez de cantidades numéricas que aproximan a éstos.

La investigación se enfoca en un espacio geográfico a gran escala, el cual está definido como un espacio que está más allá del sentido humano y no puede observarse desde ningún punto. En este sentido, el espacio geográfico está sujeto comúnmente a información incompleta e imprecisa para el razonamiento humano espacial; por lo tanto, en la ausencia de información geográfica precisa, el razonamiento geográfico cualitativo puede utilizarse como un sustituto. Mientras estos procesos de razonamiento pueden proporcionar solo aproximaciones, el significado para inferir nueva información puede solucionar problemas de un contexto geográfico.

En este caso, el trabajo cita que es importante encontrar representaciones que soporten información parcial e imprecisa; a lo cual se dice que la geometría Euclidiana no es un buen candidato, puesto que depende de la existencia de coordenadas de *n-tuplas* completas. Asimismo, representaciones en forma de dibujos o bosquejos son inadecuadas, puesto que predeterminan ciertas situaciones que pueden ser ambiguas, debido a que estas representaciones no presentan ningún formalismo.

El razonador espacial cualitativo está basado en la representación de *relaciones espaciales explícitas*. Éste permite registrar información independiente de las relaciones espaciales de la geometría actual de los objetos geográficos. Ejemplos de relaciones espaciales explícitas son: *direcciones de cardinalidad* tales como: norte o noreste; *aproximación de distancias* tales como: cerca o lejos; y relaciones *topológicas* como: dentro, disjunto o sobrepuesto. Además este sistema considera *relaciones temporales* para describir a los objetos espaciales en diferentes estados en el tiempo.

Con respecto a lo anterior, el razonador puede inferir información en diferentes niveles conceptuales. En aplicaciones geográficas, las entidades están definidas en términos de sus atributos y sus relaciones espaciales. Esta estructura espacial puede modelarse de las siguientes formas: (1) definiéndose explícitamente en una forma relacional o (2) construyendo reglas en una base de datos deductiva.

Los autores consideran que el comportamiento de las relaciones espaciales y temporales es capturado en el álgebra de relaciones. Esta álgebra formaliza propiedades particulares que son cruciales cuando se deriva información.

2.3.9 Bernard, L., Einspanier, U., Haubrock, S., et al., 2004

Este trabajo se enfoca en el descubrimiento y recuperación de la información geográfica. Las especificaciones proporcionadas por la OGC (Open Geospatial Consortium – por sus siglas en inglés) habilitan la interoperabilidad sintáctica y los catálogos de información geográfica. Sin embargo, mientras los catálogos de la OGC proporcionan descubrimiento, organización y acceso a la información geográfica; éstos todavía no proporcionan métodos para superar problemas de *heterogeneidad semántica*. Estos problemas ya presentan retos para ambientes abiertos y distribuidos de las infraestructuras de datos espaciales.

Los autores citan que una posible técnica para abordar el problema de la heterogeneidad semántica, es la descripción de conocimiento por medio de ontologías, las cuales pueden utilizarse para la identificación y asociación de conceptos semánticamente correspondientes.

Asimismo, este artículo describe una arquitectura basada en una ontología para descubrir y recuperar información geográfica, la cual consiste en extender las capacidades de consulta que ofrecen actualmente los catálogos de la OGC, con razonamiento terminológico sobre los *metadatos* proporcionados por un componente de razonamiento basado en ontologías. Además, se muestra cómo esta técnica puede contribuir a solucionar problemas de heterogeneidad semántica durante búsquedas de texto libre en catálogos, y cómo soporta además, el acceso a información intuitiva de un recurso.

En este enfoque, dos tipos de heterogeneidad semántica pueden conducir a problemas, en el caso de utilizar una búsqueda basada en una palabra clave. Por ejemplo, utilizar el término “nivel de agua” o “presa El Refugio”. Estos tipos se clasifican como: *heterogeneidad de nombres* (sinónimos), la cual se refiere a terminología totalmente diferente. La *heterogeneidad cognitiva* (homónimos) se enfocan a la interpretación de los términos en la forma en cómo los humanos perciben la realidad.

Los autores comentan que es necesario utilizar *modelos de contexto explícitos* que pueden servir para reinterpretar la información en el contexto de nuevas aplicaciones. Esta técnica consiste en tener una fuente independiente de un vocabulario compartido para cada dominio. Esto asume que los miembros de un dominio comparten un entendimiento común de ciertos conceptos. Estos conceptos no requieren una explicación adicional, por lo tanto forman los términos básicos contenidos en un *vocabulario compartido*.

Una vez que un vocabulario compartido existe, los términos pueden utilizarse para fabricar información contextual de una fuente explícita de información. Además el vocabulario tiene que ser lo suficientemente general para ser utilizado a través de todas las fuentes de información acotadas dentro del dominio y muy específico para realizar definiciones significativas.

Para la restricción de fuentes de información basada en ontología, los autores hacen dos modificaciones a la técnica. En la primera las fuentes de información no son restringidas directamente, sino que describen los tipos de elementos proporcionados por un

servicio, el cual está definido a través de su esquema de aplicación. Para ser más preciso, el vocabulario compartido es utilizado para describir las propiedades incluidas en el esquema.

La segunda modificación no solo utiliza ontologías de dominio específico (i.e. mediciones, hidrología), si no además ontologías independientes de dominio (sistemas de unidades). Por lo tanto, en esta técnica se utilizan las propiedades (i.e. “localización”, “nivel de agua” y “fecha y tiempo de medición”) para describir un tipo de elemento.

La técnica propuesta distingue dos tipos de consultas: *consultas simples*, en las cuales el usuario puede elegir un concepto de una ontología de aplicación existente para su consulta y *consultas de conceptos definidos*, las cuales permiten definir un concepto basado en un vocabulario compartido dado que adecua su entendimiento a un concepto concreto. En los siguientes pasos, los conceptos de ontologías de aplicación existentes y conceptos definidos por el usuario son tratados por consultas de conceptos definidos.

Asimismo, la búsqueda se realiza automáticamente mapeando entre la consulta de conceptos y los conceptos de ontologías de aplicación diferentes dentro del mismo dominio. Esto se hace posible aplicando un razonador terminológico, i.e., RACER (Reasoner for A-Boxes and Concept Expressions Renamed – por sus siglas en inglés), el cual trabaja con conceptos presentados de una descripción lógica. Este razonador permite la clasificación de los datos en otro contexto por igualdad o inclusión. En este caso, una inclusión significa que si el concepto *B* satisface los requerimientos para ser un caso del concepto *A*, entonces *B* puede buscar en una forma que no es posible con una palabra clave.

La arquitectura propuesta en este trabajo ofrece dos funcionalidades que mejoran significativamente la usabilidad de información geográfica existente, utilizando consultas de conceptos definidos para superar problemas de heterogeneidad semántica durante el descubrimiento de información y proporcionando soporte de interpretación para tipos de elementos y propiedades durante la recuperación de información.

La técnica engloba las siguientes consideraciones: primero es necesario proporcionar ontologías, para cada esquema de aplicación existe una ontología de aplicación que está descrita por un vocabulario compartido correspondiente a su dominio. Estas ontologías proporcionan la descripción formal del esquema de aplicación de la fuente de datos. Por lo tanto, éstas son referenciadas desde el catálogo de descripción de los metadatos, correspondientes a la especificación ISO 19115. Estos metadatos describen el contenido de

información de la fuente de datos (por ejemplo, una lista de los nombres de los tipos de elementos disponibles). Para proporcionar acceso a las ontologías se definen dos interfaces: la de servicio de definición de conceptos que permite acceder a los conceptos del vocabulario compartido y las ontologías de aplicación; y la de servicio de consultas de conceptos que permite razonar acerca de posibles concordancias con una búsqueda simple y definida de conceptos. El segundo componente es un servicio de catálogo en cascada que proporciona acceso a través de la interfaz de servicio de catálogo de la OGC. Éste extiende su funcionalidad analizando y manipulando los filtros de las consultas de metadatos. El último componente es una interfaz de usuario que hace uso del servicio de definición de conceptos para permitir al usuario formular consultas refinadas para metadatos y geodatos.

Las consultas de metadatos para fuentes de datos con información específica de un esquema de aplicación, permiten la construcción de una consulta de conceptos. Los conceptos de ontologías de aplicación soportan la formulación de consultas WFS (Web Feature Service) para esquemas desconocidos y para la interpretación de los resultados.

2.3.10 Li, M., Zhou, S. & Jones, C.B., 2002

De acuerdo con los autores, muchos tipos de información están geográficamente referenciados, en este sentido los mapas interactivos proporcionan una interfaz natural para este tipo de datos. Sin embargo, la presentación de mapas en GIS y en Internet está relacionada con técnicas de cartografía tradicionales, a lo cual se proporciona una interactividad muy limitada con los objetos espaciales.

El artículo presenta MAPBOT, el cual es un sistema para recuperación de información de mapas basada en la Web que se utiliza para buscar información geográfica, a través de técnicas de software y de agentes. En este caso, cada tipo de los elementos del mapa tales como edificios o carreteras son tratados como un agente, denominado *Maplet*. Cada *Maplet* tiene un nivel de despliegue gráfico que controla la presencia y la apariencia del elemento sobre el mapa.

Las relaciones semánticas de los *Maplets* son definidas en un repositorio de ontologías (OR) y utilizadas para controlar la recuperación. Para este fin se implementó un editor de ontologías con una interfaz gráfica. Por otro lado, la visualización del lado del cliente está basada en el formato SVG (Scalable Vector Graphics). En general, el artículo describe el estado actual del desarrollo del prototipo, presenta y evalúa experimentalmente

un procedimiento de resolución de conflictos gráficos orientado a agentes, el cual demuestra el potencial para la resolución de esta clase de eventos, vía la comunicación a bajo nivel de un agente, lo opuesto a un control global.

A diferencia del proyecto AGENT (<http://agent.ign.fr>), el trabajo está enfocado en el problema de la generalización de mapas, utilizando agentes de software; sin embargo éste no considera aspectos relacionados directamente a la recuperación e interacción de la información. Por lo tanto, MAPBOT es una aplicación multi-agente para activar mapas que hacen uso de la tecnología de agentes, con el objeto de recuperar información de los mapas en la Web. Este sistema proporciona una interfaz de usuario para agentes (UIA), orientada a asistir a los usuarios en la búsqueda de mapas y de información relacionada. Esta interfaz realiza un número de tareas que son cruciales para la correcta operación de un sistema de *concordancia* semántica inteligente.

La interfaz de usuario de MAPBOT hace uso de una ontología para validar las entradas de los usuarios y capturar las intenciones de interacción. Esta ontología está organizada en XML. En esta aplicación el mapa activo está asociado con diferentes agentes tales como representación de fenómenos geográficos, capacidades de comunicación con los mapas de los usuarios visualizados por representaciones simbólicas que se adaptan a la escala o propósito del mapa y conocimiento de su ontología.

Los autores proponen el siguiente esquema de funcionamiento para la interacción entre los agentes de MAPBOT en el contexto de la ejecución de una consulta: el sistema enlista las consultas a procesar que fueron introducidas mediante la UIA, las cuales se representan por agentes independientes (*Maplets*). Cada *Maplet* se registra en el servidor de agentes (SAB) y recupera datos relacionados de la base de datos espacial. Cuando los agentes se registran en el SAB, cada *Maplet* necesita informarle al SAB que un concepto pertenece a cierta ontología. Un usuario inicia interacciones con el MAPBOT por medio del navegador Web, el usuario plantea una consulta a través de la selección de un elemento del mapa, marcando la consulta en un campo de búsqueda, entonces la UIA somete la consulta con el perfil del SAB para recuperar la información. Cuando se recibe la petición, el SAB busca en el repositorio de ontologías para encontrar concordancias con el término de la consulta, y se analiza el perfil para verificar si la consulta es válida e informa a la UIA del resultado.

El SAB recupera la información de la ontología basada en una consulta válida y emite una petición con los objetos de la ontología (conceptos) a todos los *Maplets* registrados en el SAB. Después de recibir la petición del SAB, cada *Maplet* necesita decidir el despliegue. La ontología asistirá en estas decisiones, además de cómo puede utilizarse para calcular una distancia semántica entre los términos de la consulta y la clase del *Maplet*. Estas distancias serán utilizadas para clasificar la relevancia de clases particulares de información. El SAB recibe los datos de los *Maplets* que serán desplegados, y envía una cadena de datos formateada a la UIA para actualizar el mapa.

El trabajo describe un repositorio de ontologías, en donde una ontología para un cuerpo de conocimiento, concierne a una tarea o dominio particular, el cual describe una taxonomía de conceptos para un dominio o tarea que define la interpretación semántica del conocimiento. La ontología en MAPBOT define las relaciones semánticas de los *Maplets*. El OR está organizado en una estructura de árbol y descrita en XML, esta estructura contiene uno o más nodos, en donde cada uno tiene su propio nombre, un nodo padre y uno o más sinónimos relacionados con las palabras clave. Los *tags* `<map>` `</map>` se refieren a la raíz del árbol de la ontología. Ésta debe contar con uno o más hijos, los cuales se definen por los *tags* `<node>` `</node>`. El tag `<node>` tiene cuatro hijos: nombre, padre, sinónimo y relación. Cada uno de los cuatro hijos es un elemento atómico, en donde cada nodo debe contener un nombre y un padre.

Por otro lado, cada *Maplet* representa una instancia de un concepto que puede mapearse a un nodo en el OR. Un mensaje de búsqueda del usuario será mapeado a un nodo en el OR y todos los *Maplets* mapearán al mismo nodo, a lo cual un conjunto de sus “parientes” responderán a la petición del usuario. Por ejemplo, si el usuario busca información sobre “transportación”, entonces los *Maplets* relacionados en la ontología como “autopistas”, “estaciones de tren”, etc., serán desplegadas. El OR proporciona el potencial para permitir realizar *concordancias* imprecisas entre los términos de la consulta del usuario y la información en la aplicación. Algunas técnicas para realizar tales concordancias (*matching*) y clasificar sus resultados han sido descritos por (Jones, C.B., Alani, H. Tudhope, D., 2001) para el contexto de la información geográfica.

2.3.11 Smith, B. & Mark, D.M., 2003

Este trabajo inicia con una pregunta: *¿Existen las montañas?* El hecho de proporcionar una respuesta a esta pregunta es sorprendentemente difícil, y que la respuesta que uno da dependa del contexto en donde se formula la pregunta. En este sentido, las montañas existen como correlaciones del pensamiento cotidiano del ser humano, lo cual forma *arquetipos*⁶ para los objetos geográficos.

Aunado a lo anterior, todavía, las montañas como objetos individuales carecen de muchas propiedades que caracterizan a los objetos *bona fide*; a su vez las montañas como una categoría carecen de propiedades que las puedan caracterizar como *tipos naturales*.

En el contexto del modelado de ambientes, especialmente de fenómenos naturales como superficies, hidrología, erosión fluvial, depósitos; las montañas no son escogidas como componentes de la realidad, por el contrario éstas son solo partes del campo de elevaciones, cuyos gradientes modelan la dirección, la influencia y la intensidad de la erosión.

En este sentido, los autores argumentan que se requiere una ontología basada en objetos de montañas y otras formas del terreno para hacer justicia a nuestra concepción cotidiana del entorno que nos rodea; así como para soportar el razonamiento espacial y el procesamiento del lenguaje natural. Actualmente, las bases de datos topográficas están diseñadas en técnicas basadas en campos para soportar el modelado ambiental a escalas geográficas.

En esencia, el trabajo cita que el término “Montaña” es el ejemplo de tipo de característica (o cosa) geográfica que más comúnmente se cita por las personas, en inglés y muchos otros lenguajes (Mark, D.M., Smith, B. & Tversky, B., 1999; Smith, B. & Mark, D.M., 2001).

El trabajo describe que la gente en general convive con el mundo cotidiano en una variedad de formas; además de actuar dentro del mundo directamente utilizamos mapas, leemos periódicos, escuchamos el estado del tiempo y del tráfico. Cada una de estas actividades involucra cierta *conceptualización*, lo cual significa que involucramos un

⁶ Un arquetipo es el patrón ejemplar del cual otros objetos, ideas o conceptos se derivan. En la filosofía de Platón se expresan las formas sustanciales (ejemplares eternos y perfectos) de las cosas que existen eternamente en el pensamiento divino.

sistema de conceptos o categorías que dividen el dominio en el que nos encontramos en objetos, cualidades, relaciones, etc.

Por tal motivo, los sistemas de conceptos o categorías sirven para abstraer y representar este conocimiento en sistemas de información, por lo cual el término ontología es actualmente utilizado por científicos de la información, en un sentido distinto al que lo utilizan los filósofos. Una ontología en el sentido de los sistemas de información no involucra cuestiones de existencia, sino que está diseñada para asistir en la tarea de especificar y clarificar los *conceptos* empleados en un *dominio* dado, y por encima de todo formaliza los conceptos dentro del marco de una cierta teoría formal con una *estructura lógica* (*sintáctica y semántica*) bien entendida.

Una meta central del régimen ontológico es la resolución de las incompatibilidades que resultan en ciertas circunstancias, idealmente por medio de alguna especie de marco de trabajo formal aceptado generalmente, por una “descripción concisa y sin ambigüedades de las entidades principales y relevantes de un dominio de aplicación y sus relaciones potenciales entre sí”. Los autores aseveran que no se puede esperar mucho de la perspectiva en sistemas de información, puesto que una ontología es una cosa pragmática.

Con respecto a lo anterior, es necesario contar con una teoría primaria y secundaria, según (Horton, R., 1982), la *teoría primaria* es aquella que parte del sentido común que encontramos en todas las culturas y seres humanos. Las *teorías secundarias*, en contraste; son aquellas colecciones de creencias populares o científicas que son peculiares para grupos sociales particulares.

Una *teoría primaria* consiste en la física básica, psicología básica, y otras familias de esas creencias básicas que toda la gente necesita para percibir y actuar en situaciones cotidianas. Es importante mencionar que la teoría primaria es en muchos aspectos incompleta. Por ejemplo, la teoría primaria reconoce la existencia de montañas, pero no da explicación de cómo las montañas están demarcadas (o como no lo están) de sus alrededores. Una teoría primaria debe ser compatible con los resultados de la ciencia (Smith, B., 1995a; Smith, B., 1995b). En general, podemos asumir que una teoría primaria no entrará en conflicto directamente con las teorías científicas del mismo fenómeno a la misma granularidad.

Por otro lado, una teoría secundaria está basada tanto en teorías científicas de fenómenos físicos microscópicos y macroscópicos (átomos y *quarks*⁷, galaxias y *quasars*⁸) como en creencias populares (ángeles y demonios, cielos e infiernos). Ambas cosas no son accesibles a nuestra percepción y acción cotidiana debido a que son o muy grandes o muy pequeñas, o tal vez porque no existen completamente.

Con respecto a los objetos de una ontología, éstos se organizan en dos niveles: el nivel de individuos (*tokens* particulares) y el nivel de tipos (categorías, tipos, universos). Nuestro conocimiento de individuos es muchas veces marcado por el uso de nombres propios (“Volcán Popocatepetl”) y por expresiones léxicas (“ese volcán”). Nuestro conocimiento de tipos es marcado por el uso de nombres comunes tales como “cerro”, “montaña”, “volcán”, etc. Por lo tanto, se han desarrollado métodos computacionales para extraer elementos de características del terreno de modelos de elevación para replicar los métodos utilizados por geomorfólogos y otros especialistas.

La teoría primaria reconoce que las montañas tienen ciertas formas, cubiertas, materiales constitutivos; que algunas montañas son más altas que otras, más difíciles de escalar que otras, etc. La superficie de la Tierra no es un caos, cuando es vista a través de la conceptualización humana de la teoría primaria.

Las pendientes colgantes son extremadamente raras, lo cual implica además que, casi sin pérdida de generalidad, la elevación de la superficie de la Tierra relativa al geoide puede ser modelada o conceptualizada científicamente como una función univaluada de la posición horizontal; esto es, como un campo continuo. Generalmente hablando, es esto lo que hacen los científicos para modelar la geometría de la superficie de la Tierra.

De igual forma, los mapas comúnmente contienen elementos de ambos puntos de vista: tanto basado en *campos* (al describir la superficie de la Tierra con base en elevaciones) y basado en *objetos* (por medio de una teoría primaria). Esto resulta ser especialmente evidente cuando miramos el cómo se representan las montañas en los mapas,

⁷ Los *quarks* son partículas fundamentales constituyentes de la materia, además de los *leptones*. Los *quarks* son las únicas partículas fundamentales que interactúan con las cuatro fuerzas fundamentales. La palabra *quark* fue originalmente utilizada por Murray Gell-Mann como una palabra sin sentido que rimaba con "*pork*". Hay seis tipos distintos de *quarks* que los físicos han denominado de la siguiente manera: "up" (arriba), "down" (abajo), "charm" (encanto), "strange" (extraño), "top" (cima) y "bottom" (fondo), éstos fueron nombrados arbitrariamente basados en la necesidad de nombrarlos de una manera fácil de recordar y usar. antiquarks.

⁸ Un *quásar* o *cuásar* (acrónimo en inglés de QUASI-stellar radio source) es una fuente astronómica de energía electromagnética, incluyendo radiofrecuencias y luz visible. El consenso científico indica que estos objetos están extremadamente lejos, explicando su corrimiento al rojo alto, son extremadamente luminosos, explicando por qué se pueden ver a pesar de su distancia, y muy compactos, explicando por qué pueden cambiar de brillo con rapidez. Se cree que son núcleos activos de galaxias jóvenes.

típicamente se hace a través de curvas de nivel. Los cartógrafos ponen los nombres de la montaña en sus mapas, en la vecindad de la colina o de alguna parte correspondiente a curvas de nivel que indican la forma de la superficie de la Tierra en el vecindario de la etiqueta. Pero entonces, ellos dejan al usuario del mapa inferir la extensión del objeto al cual se refiere el nombre que aparece en la etiqueta. Exactamente *¿qué parte del mapa es el volcán Popocatepetl?* El problema se resuelve ya que cada molécula del volcán existe, y está localizada donde está, completamente independiente a las creencias de las personas.

Por lo tanto, cuando las personas ordinarias aprenden, y describen una escena, parece que ellos no piensan en la escena como un campo de elevaciones en el sentido científico. En lugar de ello viven en escena que objetos, presumiblemente basados en alguna combinación de la aplicación de los principios de Gestalt gobiernan la percepción visual y en el reconocimiento de patrones. (Gibson, J.J., 1986) distingue objetos sueltos que tienen superficies completamente cerradas, haciendo los móviles, al menos en principio; y objetos anclados, que son los objetos grandes, o forman parte de las capas de la superficie (claramente la cara, el picaporte de la puerta). La superficie percibida de la Tierra parece ser poblada por aquellos objetos muy grandes anclados los cuales se les denomina *forma del terreno*. Las partes convexas son mayormente salientes, aunque regiones cóncavas (agujeros) como los valles y los cráteres aparentan ser otro tipo de objetos en muchos contextos.

Como consecuencia, una ontología formal de las superficies de elevación y de los procesos fluviales está relacionada a los modelos de datos utilizados para representar la topografía en los sistemas de información geográfica actuales, lo cual espera revelar cómo el modelado de estos procesos meteorológicos puede ser implementado en varias representaciones.

Los autores citan que la intención de la Geomorfología como un campo distinto de la ciencia puede ser justificada con bases ontológicas o epistemológicas, lo cual parece depender de la extensión en la que las formas del terreno pueden ser vistas como "*cosas naturales*". La realidad objetiva investigada por la ciencia está poblada por tipos independientes de cosas naturales que son caracterizadas como los poderes fundamentales e intrínsecos que poseen. Además de que es necesario considerar teorías primarias y secundarias para lograr una categorización conceptual de las cosas del mundo real.

2.3.12 Kavouras, M. & Kokla, M., 2000

De acuerdo con los autores, una comunicación efectiva y la interacción transparente entre diversas fuentes de datos geospaciales requieren de un método para compartir e integrar diferentes ontologías. Este trabajo propone una metodología para la organización de la información y la integración semántica, la cual pueda proporcionar el reuso de datos entre sistemas de información geográfica heterogéneos.

En este sentido los autores abordan el tópico de la interoperabilidad y citan que ésta apunta al desarrollo de mecanismos para resolver cualquier interoperabilidad y heterogeneidad; así como para garantizar el acceso a los datos desde múltiples fuentes. La interacción dinámica de diferentes aplicaciones requiere no solo del soporte técnico para el intercambio de datos, sino además de la preservación de la semántica fundamental.

Asimismo, se argumenta que el compartir datos geospaciales no es una tarea trivial, debido a los distintos esquemas conceptuales y a la semántica; por lo cual interpretaciones diversas de datos geospaciales codificados en diferentes bases de datos causan heterogeneidades entre las mismas. La heterogeneidad puede clasificarse de acuerdo con tres categorías (Bishr, Y., 1998).

Heterogeneidad sintáctica, la cual es causada por diferentes modelos lógicos (i.e. relacional vs. orientado a objetos), o debida a diferentes representaciones geométricas (raster vs. vector).

Heterogeneidad esquemática, ésta ocurre por distintos modelos de datos conceptuales (i.e. objetos en una base de datos consideran propiedades y en otros diferentes jerarquías de generalización).

Heterogeneidad semántica, la cual ocurre por diferencias en los significados, en la interpretación o uso de los mismos o con datos relacionados. Este tipo de heterogeneidad se puede dividir en heterogeneidad basada en nombres (homónimos y sinónimos) y en heterogeneidad cognitiva (enfocada a diferentes conceptualizaciones, por ejemplo: definiciones de clases o descripciones geométricas).

Los autores también citan que las causas principales de la heterogeneidad semántica son las diferencias en la conceptualización de datos geográficos en conjunto con su complejidad; así como diversos contextos y niveles de detalle.

Por lo tanto, para lograr una interoperabilidad semántica entre diferentes aplicaciones geoespaciales, una teoría comúnmente aceptada para la definición formal y representación de la semántica del conocimiento geoespacial sería ideal. Esta teoría proporcionaría las bases para la representación formal de entidades geográficas, con respecto a su estructura y semántica. Sin embargo, detrás de este ideal, grandes objetivos deben solucionarse inmediatamente, tales como: darle prioridad al desarrollo de métodos y herramientas para formalizar conceptos geoespaciales y relaciones codificados en bases de datos, con la finalidad de habilitar la fusión de estas bases de datos.

La metodología de este trabajo se enfoca en la formalización de conceptos y relaciones geoespaciales, utilizando el análisis formal de conceptos y la integración de categorizaciones geográficas múltiples, las cuales exhiben diferencias en el contexto de aplicaciones y resolución temática. Estos objetivos facilitan la información geográfica entre diversas organizaciones y propósitos. El proceso de integración de múltiples categorizaciones está dividido en dos fases: *Factorización Semántica* y *Lattices de Conceptos*.

La *factorización semántica* es el proceso de analizar y descomponer las categorías de las categorizaciones originales en conjuntos de categorías fundamentales. En este paso, es necesario resolver posibles conflictos de nombres (homónimos o sinónimos) y especificar equivalencias y traslapes entre las clases y atributos. El caso de traslape entre las categorías es resuelto por divisiones dentro de las clases disjuntas. De esta forma, este proceso de factorización descompone conceptos complejos en conceptos más simples fuera de los cuales ellos están contruidos.

El segundo proceso de análisis formal de conceptos, es utilizado para combinar las categorías fundamentales derivadas del proceso de factorización; así como de sus propiedades y genera lo que se conoce como *lattices de conceptos*. Los términos básicos de este análisis son los siguientes:

- Un *contexto formal* (G, M, I) es un conjunto de objetos G , un conjunto de atributos M y una relación de incidencia binaria I .
- Una *relación de incidencia binaria* I o *glm* es la conexión entre los objetos y atributos.
- Un *concepto formal*, una clase conceptual o *categoría* es una colección de entidades u objetos que exhiben una o más propiedades o características comunes.
- Una *relación superconcepto / subconcepto* es el procedimiento ordenado *top-down* de conceptos más generalizados a conceptos más especializados: $(A_1, B_1) \leq (A_2, B_2)$, si $A_1 \subseteq A_2$.
- Un *lattice de conceptos* $\{B(G, M, I); \leq\}$ es el conjunto ordenado de todos los conceptos formales de un contexto formal.

Los lattices de conceptos son utilizados para formalizar conceptos geoespaciales y relaciones que generan una estructura integrada única de diversas categorizaciones para descubrir su asociación e integración. Estos lattices son ricos en estructuras, puesto que permiten la existencia de relaciones traslapadas entre conceptos formales. Detrás de las categorías originales, los lattices de conceptos incluyen el resultado de la descomposición o fusión de categorías adicionales para que las categorías sean más simétricas. No obstante, este tipo de análisis asiste en la detección de clases finales, las cuales no están predefinidas.

Por otra parte, los autores citan que la integración de diferentes categorizaciones existentes proporciona significados flexibles y efectivos para construir bases de datos multi-escala y multi-contexto. La integración puede proceder en dirección “*vertical*” u “*horizontal*”; las cuales se refieren a diferentes niveles de detalle (integración vertical) y a diferentes contextos de aplicación (integración horizontal). Esta metodología de integración puede utilizarse en la generalización de modelos para proporcionar los significados para mover a lo largo de diferentes niveles de detalle cambios de escala y además, de desplazarse a través de diversos contextos y realizar un cambio en la percepción de la información geográfica.

El *lattice* de conceptos integrados enlaza clases similares de diferentes niveles de detalle y sirve como una guía para la determinación del esquema apropiado para una escala y contexto específico.

Con respecto a la topología de ontologías (por ejemplo, herencia de atributos e identificación de padres) está construida selectivamente en tiempo real o explícitamente a través de menús de comandos.

De acuerdo con lo anterior, los autores han desarrollado un editor de ontologías para crear y manipular ontologías geográficas. El software tiene la habilidad para cargar y salvar ontologías, crear, modificar y borrar categorías y atributos; así como buscar categorías específicas de acuerdo con su nombre o algún atributo y por último ofrece la posibilidad de trazar la jerarquía completa de una categoría. El software ha sido implementado utilizando una base de datos SQL (Structured Query Language – por sus siglas en inglés) para almacenar, recuperar y consultar los datos; así como una OCX (Object Control Extension – por sus siglas en inglés) para desplegar las ontologías y todas las herramientas gráficas para soportar su funcionalidad.

En resumen, la metodología propuesta proporciona una herramienta para la formalización, integración y generalización de información; explícitamente el *lattice* de concepto integrado, no es estrictamente una estructura de árbol, puesto que ciertas clases pueden tener más de una superclase. Esta flexibilidad permite su uso en diferentes aplicaciones, lo cual significa que las jerarquías son utilizadas como una herramienta conceptual y no como una restricción de la metodología. Por ejemplo, la clase “*Commerce*” puede pertenecer a diferentes circunstancias, a la clase “*Industrial or Commercial Units*” o a la clase “*Tertiary Sector*”. Además la metodología puede aplicarse independientemente de la resolución espacial y temática representada por el esquema de clasificación de entrada. Por lo tanto, es posible asociar clasificaciones creadas para propósitos similares negociando con muchos traslapes entre las clases o para integrar esquemas de clasificación de diferentes resoluciones temáticas. Aunado a lo anterior, el método ayuda a identificar y resolver heterogeneidades entre categorizaciones originales, éstas se refieren a heterogeneidades esquemáticas debido a estructuras diferentes de las jerarquías de generalización original, o debido a la definición de clases similares en diferentes niveles de detalle y a heterogeneidades semánticas causadas por traslapes en las definiciones de clases similares.

Finalmente, el proceso de integración convierte la clasificación del esquema de entrada a un esquema único, correspondiente a uno integrado, y además de la concepción entera del espacio. En este sentido las clases y atributos originales no son alterados, pero semánticamente están relacionados a cada esquema para formar el esquema jerárquico final. Por lo tanto, el proceso de integración identifica similitudes y reconcilia diferencias sin prevenir la independencia y el uso autónomo del esquema original.

2.3.13 Bateman, J. & Farrar, S., 2004

En este trabajo se describen los resultados con respecto a los esfuerzos para establecer una fundamentación que combine ontologías espaciales. Los autores muestran un estado del arte muy general con respecto a la ingeniería ontológica computacional, ontologías para sistemas de información geográfica y razonamiento cualitativo, con el objeto de construir una estructura dentro de la cual éstas u otras aplicaciones puedan posicionarse. El esqueleto de la estructura es proporcionado por DOLCE (*Descriptive Ontology for Linguistic and Cognitive Engineering* – por sus siglas en inglés). Los autores puntualizan la importancia de incluir nociones de granularidad variable, capas y sitios para justificar los requerimientos de una aplicación ontológica práctica.

En este caso, se cita que existen muchas propuestas para describir el espacio, las relaciones espaciales y relaciones entre entidades y sus localizaciones, las cuales han sido discutidas ampliamente en una “*estructura ontológica*”. Sin embargo, actualmente se intenta reconciliar y combinar estas técnicas estudiadas dentro de un conjunto de herramientas que negocien con el espacio; las cuales sirvan para soportar la representación y razonamiento en varios dominios de aplicación, donde el espacio juega un rol central y permita con estas técnicas generar descripciones ontológicas.

Un principio organizacional fundamental para esta reconciliación es una perspectiva ontológica, la cual los autores la rechazan explícitamente en términos de reduccionismo, i.e., intentando reducir los aspectos espaciales a la geometría Euclidiana y buscan en lugar un fundamento genérico para la conceptualización.

Los autores argumentan que las ontologías espaciales necesitan estar integradas dentro de cuentas ontológicas amplias para progresar y encontrar aplicaciones, a lo cual los autores piensan que es importante considerar el espacio y relaciones como un componente de cuentas ontológicas generales del mundo para evitar formalizaciones vagas. Por lo tanto,

se prefiere proceder en una forma *top-down*, considerando las entidades y relaciones ontológicas más generales, hasta llegar a una cuenta donde el espacio tiene su forma más natural.

El aspecto fundamental de este trabajo se concentra en el espacio para ontologías, en donde se toma el hecho de que éste debe ser tratado correctamente como un soporte indirecto. Ontologías como SUMO (Suggested Merged Upper Ontology – por sus siglas en inglés) consideran una combinación de técnicas para considerar el espacio. El axioma básico de localización en SUMO es el siguiente:

```
(=<=> (instant ?PHYS Physical)
      (exists (?LOC ?TIME)
        (and
          (located ?PHYS ?LOC)
          (time ?PHYS ?TIME))))
```

Donde, el segundo parámetro del predicado `located` está restringido a una región. Las regiones obedecen a algunas propiedades mereológicas básicas y permiten la definición de algunas variantes de las relaciones espaciales, tales como `partlyLocated`, `exactlyLocated`; así como relaciones de conexión, conocido y sobrepuesto. La conexión está definida solo en términos de una ruta y el intercambio de partes es una necesidad y condición suficiente para la sobreposición espacial.

Una técnica alternativa para la reconciliación es el modelado ontológico a través de DOLCE. Para éste, el espacio es un tipo de calidad, análoga a los colores o sabores. DOLCE separa cualidades desde sus valores de abstracción, lo cual está definido y localizado en un *espacio de calidad*. Entonces, instancias de *calidad* son mencionadas como *inherentes* en sus alojamientos asociados, pero sus valores están definidos como puntos en un espacio de calidad abstracto.

Finalmente, la atención se concentra en el tratamiento del “espacio” en BFO⁹ (Basic Formal Ontology – por sus siglas en inglés). Un componente esencial de BFO es su separación de la realidad en dos clases de ontologías: SNAP y SPAN. La ontología SNAP no involucra el tiempo y son solo perspectivas de imágenes instantáneas; la ontología SPAN necesariamente involucra al tiempo y son perspectivas de 4D. En este sentido una descripción completa requerirá ambos tipos de ontologías y mecanismos para relacionar ontologías de ambas. Dentro de BFO-SNAP, el espacio por sí mismo es considerado un

⁹ Diseñado por Barry Smith.

entero identificable, denominado “*El Universo Espacial Completo*” (la máxima región espacial), de las cuales todas las regiones espaciales son partes de: $\text{SpatialRegion}(x) \equiv \text{Part}(x, \text{space})$. Esto significa que todas las instancias de `SpatialRegion` son partes del espacio por sí mismo. Otras clases de entidades de SNAP no son partes de `SpatialRegion`, pero todas las otras entidades de SNAP deben localizarse en alguna región espacial. Las `SpaceRegions` sobre todos los niveles de escala actúan como localizaciones para otras entidades de SNAP, a lo cual se le ha denominado el “*contenedor*” o “*vista del espacio absoluto*”.

Dos términos han sido propuestos para ayudar a conceptualizar el concepto espacio: *capas (layers)* y *particiones granulares*. Una *capa* es invocada para evitar diversos problemas de entidades que coincidan temporalmente y espacialmente, las cuales pertenecen a cadenas de mereología separadas. Las capas aumentan la mereotopología para permitir coincidencias temporales y espaciales y que éstas no se traslapen. Con respecto a las *particiones granulares*, éstas contribuyen para restringir la transitividad de rutas y definen las entidades y relaciones, las cuales son consideradas relevantes para algún propósito. En esencia la *granularidad semántica* permite un atomisismo flexible, en donde las partes pueden ser más accesibles a través de particiones.

2.3.14 Mizen, H., Dolbear, C. & Hart, G., 2005

Este artículo describe el desarrollo de un método sistemático para crear ontologías de dominio. Se ha elegido reconocer explícitamente las necesidades que difieren del dominio experto humano y de la máquina, por medio de la representación de dos tipos de ontologías: *conceptual* y *lógica*. La ontología conceptual está pensada para el entendimiento humano y la lógica está expresada en descripciones lógicas, y se deriva de la ontología conceptual, por lo tanto, ésta se orienta para el procesamiento de máquina. La principal contribución del trabajo es la división de estas dos etapas en el desarrollo de ontologías, con un énfasis esencial en el dominio de expertos, creando la ontología conceptual que representa el conocimiento acerca del dominio.

Ordnance Survey tiene el reto de integrar sus propios datos con información topográfica de otros proveedores, para que una organización complete sus tareas esenciales. Esto frecuentemente es necesario para múltiples fuentes de datos que necesitan ser combinadas (integradas) y utilizadas en conjunto en una forma estructurada, en este caso pueden existir *diferencias semánticas* entre las estructuras de estos conjuntos de datos, por

lo cual éstos deben ser adaptados para tareas específicas. Actualmente el costo de estas actividades de integración y adaptación son una barrera para la adopción y explotación eficiente de conjuntos de datos complejos. Un aspecto importante de este proceso de integración es el reconocimiento de las diferencias semánticas entre los conjuntos de datos.

Por lo regular, estas diferencias se deben a documentación incompleta, pero lo más importante, es que se producen errores al desentendimiento de las suposiciones hechas en el nivel de dominio. Estos errores pueden ser costosos en el sentido semántico, puesto que pueden resultar en datos que no sean integrados y que afecten el proceso de toma de decisiones.

Los autores indican que se encuentran investigando si las tecnologías actuales aplicadas al desarrollo de Web Semántica, y particularmente ontologías pueden facilitar la captura del dominio de conocimiento, en tal forma que se detecten errores en la integración de datos o debido a la naturaleza explícita de la semántica para prevenir este tipo de ocurrencias. En algunas ocasiones, los procesos y servicios manuales pueden ser automatizados, sin embargo en aspectos de integración semántica algunas entradas deben realizarse en forma manual.

El Sistema de Referencia Semántica propuesto por (Kuhn, W., 2003) describe el sistema en términos de ontologías de nivel superior (*top – ontology*) que proporcionan una base para otras ontologías. Estas son ontologías que están pensadas para establecer *de facto* la semántica para un área particular. Kuhn cita que un sistema de este tipo es más que una ontología, debido a que éste soporta transformaciones entre dominios.

El trabajo anterior, se toma como base para poder proporcionar una definición semántica común de los principales conceptos topográficos que pueden aplicar para el sistema de referencia del Reino Unido. Con esto se intenta construir un sistema que primeramente permita entender la estructura necesaria para una ontología y como ésta debe ser construida.

En este sentido, la creación de una ontología es usualmente visualizada como una tarea de adquisición de conocimiento, en donde involucra la verdad, el análisis y la interpretación del conocimiento del humano experto; así como la transferencia de este conocimiento en una representación legible para la máquina.

Otras metodologías para ontologías están basadas alrededor de una estructura similar o contienen criterios de diseño similares; sin embargo, todas difieren ligeramente en un estándar formal de facto. La metodología de Uschold y la propuesta por Fernández-López y Gómez-Pérez (METHONTOLOGY) son los casos más representativos. Ambas proponen una fase de modelado inicial que desarrolla un entendimiento compartido implícito y glosarios del ser humano legible y explícito pero informal, antes de estructurar la información en una ontología lógica. (Uschold, M. & King, M., 1995) primero definen sus clases en forma precisa y sin ambigüedad, utilizando lenguaje natural, con lo cual las clases son estructuradas como jerarquías semi-formales antes de construir una ontología lógica. En el caso de METHONTOLOGY, propuesto por (Fernández-López, M., Gómez-Pérez, A. & Jurista, N., 1997), desarrolla un método más sistemático para la conceptualización del dominio; éste proporciona un conjunto de tareas para asistir al modelador de la ontología en capturar y estructurar la información requerida para una ontología lógica, utilizando una serie de tablas, un diccionario de datos y una serie de árboles de conceptos. Algunas de estas representaciones son especificadas claramente a diversos dominios, tales como la química y podrían ser adecuados para una ontología geográfica.

Estas dos metodologías promueven la creación de árboles de conceptos y subgrupos de clases similares. Éstas se caracterizan por contar con una dependencia de las estructuras de lenguajes formales y motivan a los modeladores de ontologías a agrupar clases bajo *encabezados* familiares que en algunos casos no representan la lógica verdadera de las relaciones fundamentales. Esto es particularmente cierto para relaciones de subordinación, por ejemplo: en una ontología topográfica los conceptos pueden no necesariamente dividirse bajo las ramas “*natural*” y “*artificial*” en una jerarquía. Por lo tanto, una ontología debe ser más que una taxonomía, puesto que éstas minimizan el potencial para inferir y reutilizar la dependencia de conceptos. Bajo este argumento, es posible que no todos los dominios tengan una estructura de clasificación natural o clara y en algunas ocasiones no pueden ser divididos en módulos más pequeños. En este mismo sentido se puede decir, que la representación del conocimiento es procedural, la gente encuentra dificultades para describir exactamente cómo los seres humanos llevan a cabo estos procedimientos o tareas.

Los autores se enfocan en el desarrollo de ontologías de dominio. En este sentido una ontología de dominio es una formalización del conocimiento de un área particular (dominio) tales como: topografía, ecología, biología, etc., y difieren de otros tipos de ontologías como las ontologías de tarea (la cual puede definirse como una formalización

del conocimiento necesario para solucionar un problema específico, abstraída de un nivel superior de una situación específica o un contexto organizacional).

Cada ontología puede ser pensada como un par de dos ontologías enlazadas: una *conceptual* y una *lógica*. La conceptual está pensada para una concepción humana e intenta balancear la necesidad para una formalidad máxima de la ontología mientras retiene una clara comprensión humana. Esto significa que expertos en un dominio capturan conocimiento del mismo, lo cual sirve para registrar y describir sus ideas explícitamente en una estructura estándar. Esta estructura debe ser libre de las restricciones de la ontología lógica y no debe estar influenciada por las estructuras o reglas que la descripción lógica presenta. La ontología lógica proporciona una representación legible para la máquina, típicamente utilizando un derivativo de lógica de primer orden, tal como una descripción lógica y producida por un lenguaje como OWL (Ontology Web Language – por sus siglas en inglés). Ésta es generada a partir de la ontología conceptual. Sin embargo se puede asumir que se pierde información durante el proceso de traducción debido a la incapacidad de las descripciones lógicas para representar la complejidad verdadera de una ontología conceptual. Los autores consideran que es necesario hacer una separación entre estas dos ontologías, dada la dificultad que implica que la mayoría de la gente tenga una comprensión de las relaciones lógicas y su incapacidad para expresar completamente la riqueza de un dominio. Se hace énfasis que la ontología conceptual debe ser construida y verificada por los expertos de los dominios más que por ingenieros en ontologías y citan esto como una ventaja de la metodología de dos fases.

La conceptualización de un dominio antes de procesar éste en una ontología lógica puede jugar un rol más significativo que simplemente coleccionar información para ser modelada. Cuando se separan los formalismos del modelado lógico, la estructura puede utilizarse por expertos de dominios para registrar su conocimiento e interpretaciones de su dominio. En algunas instancias el experto de dominio puede no contar con ninguna documentación existente del dominio completo, en el cual encajona estas etapas de conceptualización y la captura de conocimiento es un mecanismo útil para revelar información del dominio. Mientras que las técnicas de modelado de expertos en ontología tienden a prevaciar la estructura del conocimiento impuesto por las descripciones lógicas y los lenguajes de ontología. Se asume que los expertos de dominio no están familiarizados con ontologías y sus rigurosas estructuras; en lugar de comunicar la metodología utilizando una *jerga* familiar solo a los ingenieros de ontologías.

En este sentido, se propone utilizar términos comunes que puedan ser entendidos fácilmente por una comunidad general. Por ejemplo, en lugar de utilizar términos como “clases”, “propiedades” y “atributos”, se utilizan palabras como “conceptos”, “relaciones” y “características”. La metodología presentada utiliza una estructura sistemática. En este caso una lista de tareas promueve el uso de una estructura de ontología estándar y garantiza que las ontologías son producidas consistentemente, lo cual maximiza el potencial de interoperabilidad entre diferentes ontologías.

La técnica propuesta por los autores está orientada a proporcionar expertos de dominio con un conjunto sistemático y entendible de criterios y directivas para asistir a estos expertos, a través del ciclo de vida completo de la *ontología conceptual*. Se describe el esqueleto básico de tareas para construir una ontología de dominio conceptual, soportada por ejemplos de una ontología para el manejo de riesgos de inundación. La metodología está compuesta por cuatro tareas principales: decidir sobre los requerimientos y el contenido de la ontología, poblar un glosario de conocimiento y construir un conjunto de tripletas (relaciones entre conceptos), evaluar las ontologías y documentar la ontología conceptual.

Etapa 1: Preparatoria

Tarea 1: Identificar los requerimientos. En el dominio del conocimiento, los expertos de dominio formulan un conjunto de requerimientos para la ontología. Esto proporcionará al modelador (experto de dominio) un claro enfoque para el contenido y ámbito de la ontología. Los criterios para identificar los requerimientos son similares a los utilizados por (Uschold, M. & King, M., 1995). Primeramente, el modelador registra su definición de una ontología, el propósito para construirla (lo cual determina qué tipo de ontología se producirá), el ámbito o alcance de la ontología pensada (basada en el propósito) y un conjunto de preguntas de competencia. El ámbito o alcance de la ontología debe estar contenido y restringido en tamaño, para que las ontologías producidas sean manejables y consistentes. Si el ámbito es muy *grande* (i.e., el dominio topográfico), entonces el modelador puede desear subdividir el *dominio* en ontologías de *dominio adicionales* (hidrología, áreas urbanas, etc.), e integrar los módulos en conjunto cuando todos estén completos. Las preguntas de competencia diferirán dependiendo de que tipo de ontología se construya. Para ontologías de dominio, las preguntas de competencia son formuladas para que éstas puedan utilizarse en la revisión de cada etapa de la construcción de la ontología, para saber si las relaciones adecuadas han sido creadas entre los conceptos, y si éstas describen suficientemente el dominio. Para definir estas preguntas, algunas

preconcepciones acerca de qué conceptos son los principales para describir el dominio requerido se han considerado. Por ejemplo: ¿La ontología describe suficientemente el dominio a un nivel de granularidad adecuado para el propósito?, ¿Todos los conceptos tienen al menos un enlace a otro concepto? Casos específicos a una ontología de dominio hidrológico dentro del campo topográfico podrían ser: ¿Se ha descrito suficientemente el concepto “río” en términos de sus relaciones a sus características y enlaces a otros conceptos?, ¿Se han realizado las distinciones en las relaciones que describen “río” y “arroyo”?

Tarea 2: Coleccionar los datos. Se debe adquirir la base de conocimiento de entrada necesaria para construir el modelo conceptual, basado en el propósito, ámbito y preguntas de competencia. El modelador debe reutilizar otras ontologías que puedan adecuarse al propósito de la ontología a construir. De igual forma, éste debe identificar cualquier documento que capture el conocimiento que se requiera en la ontología. La información debe ser adaptada al propósito, al ámbito y a la representación de los dominios. Asimismo, cuando la información no esté disponible o no es suficiente, la ontología debe ser construida utilizando el conocimiento de los expertos en los dominios, ya sea en forma manual o semi-automática. En este caso, el modelador debe extraer sentencias semi-estructuradas que contengan información requerida por la ontología. Estas sentencias deben contar con términos descriptores tales como “y”, “o”, “algunas veces” y “no”; así como términos que describan la probabilidad: “debe”, “probable”, “podría”, “puede ser” y por último, términos que describan la posibilidad, incluyendo “usualmente” y “típicamente”. El objetivo es reducir la ambigüedad para la reestructuración de sentencias, pero garantizando que no haya pérdida de información.

Etapas 2: Poblar un glosario de conocimiento

El primer paso en capturar y estructurar el conocimiento del dominio es poblar un glosario de conocimiento. Algunas comparaciones con este término pueden ser los “diccionarios de datos” y las “tablas de atributos”; sin embargo, el glosario es más adaptable para una audiencia menos familiar con “clases” y “atributos”. Los autores utilizan lenguaje natural para los encabezados del glosario y proporcionan las directrices para asistir a los expertos de dominio, identificando la información correcta. La información requerida para el glosario es extraída de las sentencias semi-estructuradas y es mejorada por el experto del dominio. El modelador registra la definición lingüística de un término (i.e. sustantivo, verbo) como un paso intermedio para identificar qué términos son conceptos en la ontología y qué términos son relaciones o características (atributos). En este

caso, los sustantivos tienden a ser *conceptos* y los verbos *relaciones*. Definiendo los términos y registrando éstos en un significado, se puede clarificar su definición e interpretación del término y su uso dentro de la ontología.

Los conceptos principales que son claves para describir el dominio, son distinguidos a partir de “*conceptos secundarios*”, los cuales describen aspectos de los conceptos principales o tienen relaciones distintas con los mismos. Posteriormente, los conceptos no son miembros del dominio en consideración, pero son necesarios para habilitar conceptos en el dominio a ser relacionado con otros dominios. Por ejemplo, en el caso de la hidrología, un concepto principal “río” podría definir una relación a un concepto secundario “campo” que pertenecería a un dominio diferente. Los conceptos principales son vitales para la ontología y cuentan con más relaciones que el resto de los conceptos, éstos pueden ser descritos dentro de la ontología, no solo por sus relaciones a otros conceptos, sino por su relación a sus atributos (i.e. tiene tamaño, tiene localización), a lo que se denomina como “*características*” en la ontología conceptual. El experto del dominio identifica éstos utilizando sentencias semi-estructuradas y su propio conocimiento, y usará esta información para describir explícitamente los conceptos principales por sus *enteros* y *partes* en la ontología conceptual. Las características de los conceptos secundarios no son requeridas en la ontología conceptual.

Etapa 3: Crear una red semántica de tripletas

La etapa consiste en utilizar la información capturada en el glosario de conocimiento para construir una red de conceptos que describa el dominio. Una red de conceptos visualiza una ontología como nodos (conceptos) y enlaces (relaciones entre conceptos). La técnica propuesta en este trabajo, limita el uso de relaciones jerárquicas que pueden originar la creación de falsos agrupamientos de conceptos o divisiones innecesarias entre grupos de conceptos (i.e. la división de los conceptos “natural” y “artificial” en una clasificación típica de objetos topográficos). Además, se argumenta que una inferencia rica puede lograrse si los conceptos son definidos dentro de sí mismos y a través de un rango de relaciones a otros conceptos (i.e. relaciones de concepto a concepto y relaciones de concepto – característica). Se han adoptado los criterios de diseño de Gruber para reflejar las interpretaciones, los cuales son: claridad, coherencia, extensibilidad, codificación *bias* mínima y compromiso ontológico mínimo. Los autores especifican un número de reglas para crear una red de conceptos con el objeto de forzar a la consistencia de la ontología, las cuales incluyen:

- El modelador debe trabajar con una técnica *bottom-up*, para construir la ontología con los conceptos más específicos, los cuales pueden entonces generalizarse cuando sea necesario (identificando super conceptos) para prevenir conceptos que estén siendo agrupados bajo jerarquías o una semántica falsa.
- La herencia múltiple debe solo crearse cuando el concepto puede heredar todas las características de ambos (conceptos particulares y super conceptos).
- Se recomienda crear jerarquías cuando sea necesario describir el dominio en donde el super concepto herede todas las características de sus super conceptos, otras características o cuando la ontología necesite moverse entre diferentes niveles de granularidad.
- Si los términos del concepto o de la relación nueva son necesarios cuando se construye la red de conceptos, éstos deben validarse en contra del ámbito o alcance, objetivo o propósito, y deben agregarse al glosario antes de ser colocados en la ontología conceptual. Esto garantizará que el término utilizado sea consistente con su definición.
- Si la información no puede capturarse en la red de conceptos, ésta debe registrarse como sentencias semi-estructuradas o como un ejemplo para el modelador de la ontología lógica, quién intentará incluir esta información en la ontología lógica.
- Los conceptos o grupos pequeños de conceptos que no tengan enlaces con el resto de la red de conceptos deben descartarse de ser posible.

Los autores han utilizado dos métodos de visualización de la red de conceptos: utilizando diagramas de red para desplegar gráficamente enlaces entre conceptos y el otro es creando una lista de “tripletas de la ontología conceptual”, en donde los conceptos y relaciones son registradas como *sujeto-predicado-objeto*. Ambas representaciones puede ser difíciles de manejar si el ámbito o alcance de la ontología es grande, y el formador no facilita la captura de restricciones, suposiciones y reglas.

Etapa 4: Documentación del modelo conceptual

La documentación de la ontología conceptual debe incluir el glosario de conocimiento, las redes de conceptos y relaciones, pérdidas de información y cualquier regla y suposiciones definidas en el proceso de modelado.

Por otra parte, los autores citan que existen tres problemas en esta metodología: 1) No proporciona directrices para limitar la ontología a pequeños ámbitos o alcances que produzcan ontologías más pequeñas y manejables. 2) Las directrices para separar conceptos dentro de formas más adecuadas en ontologías de tarea o de dominio no son claras, y 3) No existen guías para modularizar la ontología, con el objeto de que ésta pueda producirse por varias personas al mismo tiempo o para dividirse en sub-dominios que puedan reutilizarse posteriormente.

2.3.15 Fonseca, F., Egenhofer, M.J. & Agouris, P., 2002

Hoy en día, existe una gran cantidad de datos reunidos acerca de la Tierra, no solo de sistemas de información geográfica, sino además de tecnologías de colección de datos más nuevas y sofisticadas. Este escenario guía a un número de retos interesantes de investigación tales como: la integración de información geográfica de diferentes tipos. La motivación de este trabajo es introducir una arquitectura GIS que pueda habilitar la integración de información geográfica en forma transparente y flexible, basada en su valor semántico y con respecto a su representación. La solución propuesta es un sistema de información geográfica conducido por ontologías que actúe como un sistema integrador. En este sistema, una ontología es un componente que permite la integración de datos, basándose en la semántica de conceptos y en la base de datos. Con una visualización a través de ontologías los usuarios pueden ser provistos con información acerca del conocimiento embebido del sistema. Un énfasis especial es dado a los casos de sistemas de teledetección y sistemas de información geográfica. Los niveles de las ontologías pueden utilizarse para guiar a los procesos de extracción de información más general o más detallada. El uso de múltiples ontologías permite la extracción de información en diferentes etapas de clasificación.

Los autores argumentan que para lograr una integración de diversos GIS, es necesario desarrollar un modelo conceptual para datos geográficos y su representación computacional. La conceptualización más ampliamente aceptada del mundo geográfico está basada en objetos y campos (Coucletis, H., 1992; Goodchild, M., 1992). El *modelo de objetos* representa el mundo como una superficie ocupada por entidades discretas e identificables con una representación geométrica y atributos descriptivos. Estos objetos no están necesariamente relacionados a un fenómeno geográfico específico. Elementos construidos por el hombre tales como carreteras, y edificios son típicamente modelados como *objetos*. El *modelo de campos* visualiza la realidad geográfica como un conjunto de

distribuciones espaciales por encima del espacio geográfico. Cobertura de climas, vegetación y mapas geológicos son ejemplos típicos de fenómenos geográficos modelados como *campos*.

Un problema importante de los modelos de objeto y campo es que éstos son modelos conceptuales muy genéricos, sin soporte para una semántica específica para diferentes tipos de datos espaciales. Este problema ha conducido a muchos investigadores a considerar el uso de *ontologías* como un significado de conocimiento compartido entre diferentes usuarios y comunidades para mejorar la interoperabilidad entre diversas bases de datos geográficas (Smith, B. & Mark, D., 1998; Fonseca, F. & Egenhofer, M., 1999).

La solución propuesta es un sistema de información geográfica conducido por ontologías (ODGIS – por sus siglas en inglés *Ontology-Driven Geographic Information Systems*) que actúe como un sistema integrador independiente del modelo. Las ontologías son teorías que usan un vocabulario específico para describir entidades, clases, propiedades y funciones relacionadas a una cierta vista del mundo. Éstas pueden ser una taxonomía simple, un léxico o un tesoro; o bien simplemente una teoría axiomatizada. Las ontologías en esta perspectiva son vistas como estructuras orientadas a objetos, dinámicas que pueden ser navegadas.

Para entender el rol de las ontologías en el modelado de datos geográficos, los autores proponen un paradigma de cuatro universos para modelar una representación computacional (Gomes, J. & Velho, L., 1995). Los cuatro universos son el *universo físico*, el cual comprende los objetos y fenómenos del mundo real que serán modelados en una computadora. El *universo lógico* el cual incluye una definición formal de estos objetos y fenómenos. El *universo de representación*, donde una descripción simbólica finita de los elementos es realizada en el universo matemático y el *universo de implementación* utilizado para mapear los elementos del universo de representación en estructuras de datos implementadas en un lenguaje de computadora.

En esta propuesta los autores agregan el *universo cognitivo*, el cual captura lo que la gente percibe del universo físico. Este universo (físico) es el mundo real; el universo cognitivo cuenta con los conceptos como ríos, parcelas, suelos, etc. El nivel lógico tiene los conceptos de los objetos geográficos; las geo-ontologías en el nivel de representación cuentan con los conceptos de objeto y campo. En el universo de implementación se

encuentran las estructuras de datos que son utilizados para implementar los conceptos de los niveles previos, incluyendo la geometría vectorial y raster.

Adicionalmente, el universo cognitivo destaca la perspectiva humana en un modelo de cuatro universos. El punto de vista de un individuo o un grupo de individuos es percibido en el universo cognitivo y modelado en el universo lógico. (Goodchild, M., Egenhofer, M., Kemp, K., *et al.*, 1999) define GIScience como un estudio sistemático de acuerdo con principios científicos de la naturaleza y propiedades de la información geográfica. GIScience concierne principalmente con tres áreas: el *individuo*, el *sistema* y la *sociedad*. Este artículo se enfoca en la intersección del individuo y el sistema, iniciando en el área individual, utilizando sus percepciones formalizadas del mundo geográfico, dentro de geo-ontologías y dirigiéndose a componentes de software extraídos de las ontologías que pueden ser utilizados en la clasificación de imágenes en el área del sistema.

La investigación acerca de la integración de la información geográfica inicia con el universo de implementación y se dirige al universo de representación. La técnica propuesta es invertida, trabajando sobre soluciones de interoperabilidad en GIS que empiezan desde los universos físico, cognitivo y lógico. Después un marco de trabajo basado en el universo físico ha sido diseñado para trabajar en el universo lógico; las soluciones disponibles sobre los universos de representación e implementación pueden ser utilizadas en una forma complementaria.

Por lo tanto, se considera que las geo-ontologías deben ser componentes esenciales en el universo lógico para el modelado de datos geográficos, lo cual es una vista que es respaldada por investigaciones recientes en ontologías (Guarino, N., 1998).

En sistemas de información geográfica conducidos por ontologías (ODGIS), una ontología es un componente tal que, la base de datos coopera para cumplir los objetivos del sistema. El primer paso para construir un OGDIG es especificar las ontologías utilizando un editor de ontologías. El editor almacena una representación formal de las ontologías y proporciona una traducción de las ontologías en un lenguaje formal de computadora (i.e. Java). Con la visualización a través de ontologías, los usuarios obtienen información acerca del conocimiento embebido en el sistema. Después de la traducción, las ontologías están disponibles como clases. Estas clases contienen las operaciones y atributos que constituyen la funcionalidad del sistema.

En este trabajo se hace un énfasis especial al uso de estructuras ontológicas para la integración semántica de información entre sistemas de información geográfica y sistemas de percepción remota. En este sentido la arquitectura propuesta utiliza diferentes niveles de ontologías para guiar los procesos para la extracción de información más general o detallada y permite la extracción de información en diversas etapas de clasificación.

El mapeo de tipos de clases desde múltiples ontologías proporciona un alto nivel de integración. Además de, la navegación dentro de una jerarquía de clases de la ontología derivada. Al usuario se le proporciona una guía para usar operaciones de generalización. El potencial para extraer diferentes niveles de información dentro de la estructura de trabajo de un ODGIS es esencial para la toma de decisiones. La técnica propuesta proporciona un intercambio dinámico y flexible y permite la integración parcial de información cuando ésta es incompleta. La técnica está basada en los compromisos de las comunidades para ontologías comunes. La estructura utilizada para representar las ontologías es flexible y puede oponerse a una búsqueda estándar. El uso de estándares como el solo significado logra una interoperabilidad ampliamente no aceptada. El uso de traductores semánticos en técnicas dinámicas es una solución más poderosa para la interoperabilidad y éstos promueven un estándar.

El sistema presentado en este trabajo puede clasificarse en tres niveles, ya que éste satisface los requerimientos de integración de información dentro de una estructura, utilizando una jerarquía para representar el mundo real. Esto además habilita el uso de un potencial completo de cada representación por medio de la manipulación de clases por el usuario final. En ODGIS, las clases de objetos son estructuradas jerárquicamente y son derivados de las ontologías.

En este sentido, los autores utilizan una arquitectura de sistemas de información geográfica conducida por ontologías para consultar y manipular información geográfica existente en GIS o de Percepción Remota. La propuesta es utilizar ontologías para *vincular (matching)* los elementos encontrados en las imágenes, esto con el objeto de agruparlos en las ontologías.

La estructura de ODGIS tiene dos aspectos principales: *generación de conocimiento y uso de conocimiento*. La generación del conocimiento involucra la especificación de las ontologías utilizando un editor de ontologías, la generación de ontologías nuevas de otras existentes, y la traducción de las ontologías dentro de componentes de software. La fase de

uso de conocimiento depende de los productos de fases anteriores: un conjunto de ontologías especificadas en un lenguaje formal y un conjunto de clases. Las ontologías están disponibles para ser visualizadas por el usuario, y éstas proporcionan información de los *metadatos* acerca de la información disponible. Un conjunto de clases que contienen datos y operaciones constituyen la funcionalidad del sistema. Estas clases son enlazadas a fuentes de información geográfica a través del uso de mediadores.

Generación de conocimiento. Los ODGIS están soportados por dos nociones básicas: haciendo las ontologías explícitas antes de que los sistemas de información sean desarrollados y la *división*¹⁰ *jerárquica de las comunidades*. El uso de ontologías explícitas contribuye a mejores sistemas de información, puesto que cada sistema de información está basado en una ontología implícita, haciendo esta ontología explícita para evitar conflictos entre los conceptos ontológicos y la implementación. Por otra parte, las ontologías de alto nivel pueden utilizarse como el fundamento para sistemas interoperables, porque representan un vocabulario común compartido por una comunidad.

La técnica propuesta está basada en un grupo de personas que alcanzan un acuerdo sobre cuáles son las entidades geográficas básicas de su mundo. No importa este hecho si las entidades están almacenadas o no en la base de datos. Un *esquema de base de datos* representa almacenamiento en la BD. Una *ontología* representa una vista de qué existe en el mundo. Las ontologías son más ricas en su semántica que los esquemas de base de datos. Las ontologías utilizadas son creadas a partir de los objetos geográficos del mundo real. La información que existe en las bases de datos tiene que ser adaptada para llenarse en las clases de las ontologías. Por ejemplo, el concepto de “*lago*”, puede representarse en forma diferente en diversas BD, pero el concepto es solo uno, al menos desde el punto de vista de una comunidad. Este punto de vista es expresado en la ontología que esta comunidad ha especificado. En la arquitectura de ODGIS, diversos mediadores tienen que actuar para reunir los principales aspectos del lago, a partir de diversas fuentes de información y ensamblar la instancia de un “*lago*”, de acuerdo con la ontología.

Por ejemplo, Supongamos que tenemos un fragmento de una ontología de México (MEX), la cual representa diversos conceptos relacionados al país, tal como la “**División Administrativa**”.

¹⁰ El término división jerárquica de comunidades hace referencia a expertos en diversas áreas que son capaces de conceptualizar un dominio; en donde estos usuarios se clasifican por niveles de conocimiento o experiencia en el campo que se intenta conceptualizar.

Ahora, si un usuario requiere saber *¿Cuáles son los Lagos en Jalisco?* Entonces se habla que el contexto dentro de esta ontología sería **“Jalisco”**, representado por C_1 , en donde únicamente importan los *“Lagos en Jalisco”*; por lo cual cualquier tipo de consulta estaría restringida al contexto **“Jalisco”**, tal como se aprecia en la Figura 2.1.

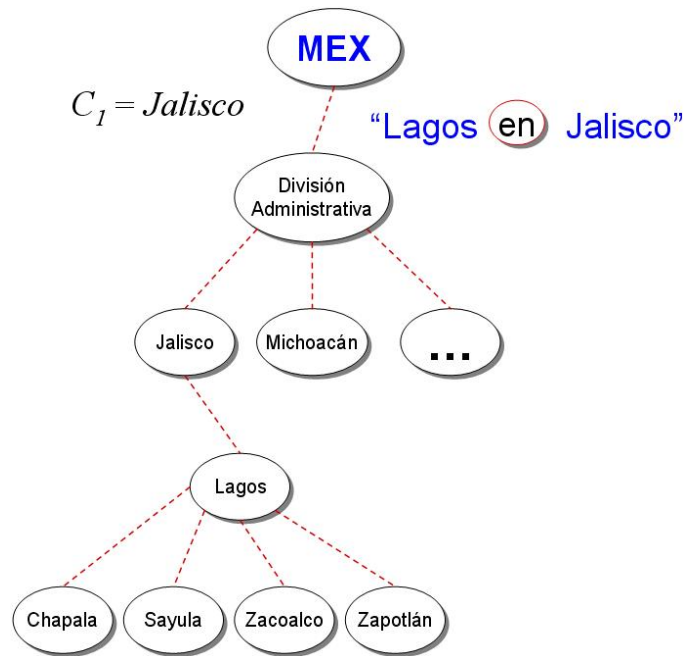


Figura 2.1. Fragmento de ontología *MEX* para localizar instancias del concepto *“Lago”*

De igual forma, podemos tener otra ontología, la cual podría ser **(Hidrología MEX)**, la cual contiene conceptos acerca de la *“Hidrología de Jalisco”*, en donde el contexto C_2 es **“Hidrología de México”**.

En este caso, únicamente nos interesan los *“Lagos en Jalisco”*, por lo cual podemos obtener nuevos conceptos que en la ontología **MEX**, no se encuentren o no estén descritos con tanto detalle, o simplemente complementar la ontología de dominio.

Esto puede permitirnos realizar un proceso de *convergencia de contextos* (mezcla de ellos) para poder obtener ontologías más completas y que proporcionen respuestas más detalladas a preguntas de este tipo; es decir, $C_1 \cup C_2 \rightarrow$ *“Lagos en Jalisco”* (Ver Figura 2.2).

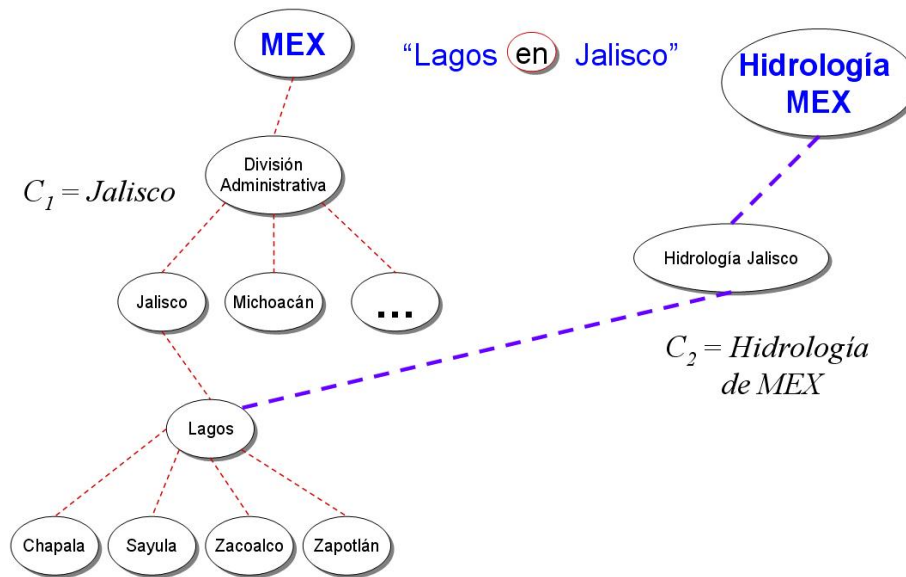


Figura 2.2. Mezcla de contextos para completar descripciones de conceptos

De esta forma, la relación “**en**” del predicado “*Lagos en Jalisco*” permite definir el tipo de relación a utilizar, además de que puede ser utilizada para restringir aún más el contexto, por lo tanto podemos pensar en el hecho de que las relaciones (**espaciales** y **no espaciales**) pueden ser utilizadas para *mezclar* y *fusionar* contextos. Sin embargo, no son utilizadas para realizar la fusión de dos ontologías de dominio geográfico. Por tal motivo, es necesario introducir el término de mezcla (convergencia) de contextos para construir ontologías de dominio geográfico.

Por lo tanto, dependiendo del **contexto** que se tenga, es como se debe construir la ontología; es decir, el **contexto** siempre determinará cualquier tipo de **conceptualización** y así mismo la **ontología**.

Por otro lado, se puede realizar una división de acuerdo con diversos grupos de personas; en donde cada grupo tiene una vista diferente del mundo. Considerando los diferentes grupos desde la perspectiva de la Geografía, (McKee, L. & Buehler, K., 1996) nombraron a estos grupos como: GIC (Geospatial Information Communities – por sus siglas en inglés). De acuerdo con esto, cada GIC es un grupo de usuarios que comparte un lenguaje de información geográfica digital y definiciones de elementos espaciales. (Bishr, Y., 1997) revisó este concepto considerando a una GIC como “un grupo de productores de datos espaciales y usuarios, quienes comparten una ontología de fenómenos del mundo real”. (Guarino, N., 1998) cita que se debe considerar una ontología para ser una base de conocimiento particular que describa los hechos que son siempre verdaderos para una

comunidad de usuarios. El concepto GIC es fundamental para ODGIS, porque las ontologías de diversas comunidades de usuario pueden ser explícitamente especificadas y posteriormente pueden fusionarse de ser necesario.

Adicionalmente, los autores utilizan jerarquías de grupos para generar ontologías de diferentes niveles de detalle. Por ejemplo, en una ciudad, la persona de mayor rango y personas inmediatas del departamento de gobierno visualizan la ciudad en un alto nivel. El departamento de transporte tiene una vista que es más detallada que la anterior. Dentro del departamento de transporte, la sección responsable del sistema del metro tendrá una vista aún más detallada de la ciudad. Entonces, se debe considerar que ontologías comunes mantienen estas comunidades juntas. Por ejemplo, en el departamento de transporte de una ciudad grande, existe un software especializado en el modelado de transporte más haya que paquetes de GIS y por lo tanto más que un modelo de datos. Pero la conceptualización de una red de tráfico de la ciudad es la misma entre estos grupos, solo que una ontología puede mantener esta conceptualización y el software no. Los usuarios tienen los significados para compartir información por medio del uso de clases comunes derivadas de las ontologías. El nivel de detalle de la información está relacionado al nivel de detalle de la ontología.

En ODGIS, es necesario que las GICs ensamblen y especifiquen ontologías en diferentes niveles. La primera ontología especificada dentro de una comunidad es una ontología de alto nivel. La suposición es que esta ontología existe y puede ser especificada. Los autores argumentan que ésta existe dentro de cada comunidad, aunque la ontología puede ser algunas veces muy genérica. Las personas dentro de cada comunidad se comunican, y por lo tanto están de acuerdo con los conceptos más básicos. La ontología de alto nivel describe los conceptos básicos.

Después de que la ontología de nivel superior es especificada, otras ontologías más particulares pueden crearse. La suposición de un ODGIS es que estas ontologías de nivel medio, son creadas utilizando entidades y conceptos específicos en ontologías de alto nivel. Estos conceptos son especificados con mayor detalle y combinaciones nuevas de éstos pueden aparecer. Por ejemplo, consideremos un concepto tal como un *lago*. Una suposición básica en este trabajo es que el consenso puede ser enriquecido con las propiedades básicas de un lago. (Mark, D., 1993) cita que una definición genérica de una clase puede especificarse por sus propiedades más comunes y entonces evitar una definición rígida de lo que exactamente es un lago. Definiciones más específicas pueden ser elaboradas en niveles más bajos. Esta idea es aplicable en la estructura propuesta de una ontología de

multi-niveles. Al respecto (Smith, B., 1998) asevera que conceptos diferentes convergen sobre otros conduciendo a ontologías comunes. El mecanismo introducido por (Fonseca, F., Egenhofer, M. & Davis, C., 2000) habilita compartir puntos comunes de estas teorías.

Por ejemplo si se tiene un *lago*, éste puede ser visto de diferentes formas por diversas GICs. Para el departamento de aguas, un *lago* puede ser una fuente de agua pura. Para un ambientalista, éste es un hábitat de vida salvaje. Para el departamento de turismo es un punto de diversión, mientras para el departamento de transporte puede ser un obstáculo.

De acuerdo con el ejemplo anterior, la ontología utilizada en este trabajo está basada en una combinación de la ontología de WordNet y la ontología extraída de SDTS (Spatial Data Transfer Standard – por sus siglas en inglés), con el objeto de presentar diversos significados en forma jerárquica. Desde el punto de vista de la combinación de estas ontologías, un lago “*es un cuerpo de agua (usualmente fresca) que está rodeado por la tierra*”. Esta ontología puede ser considerada como una ontología de alto nivel. Por lo tanto, en una estructura de ODGIS, otros conceptos de *lago* deben derivarse de esta ontología, utilizando un mecanismo de *herencia*. Los conceptos nuevos de lago tendrán todas las propiedades básicas definidas en las ontologías de WordNet y SDTS, agregando un plus a la conceptualización de GICs. En este sentido, se podrá compartir información completa en estos niveles, aunque éstos puedan compartir información parcial en niveles más bajos.

Los autores piensan que para construir las ontologías se cuenta con dos opciones. Primero se considera que estas comunidades pequeñas pueden ensamblar con otras comunidades que tienen el mismo interés y tratan de construir ontologías existentes en una ontología de alto nivel que abarca sus ontologías de más bajo nivel. La segunda opción es que estas comunidades se ensamblen antes de especificar sus propias ontologías para especificar una ontología de alto nivel para estos grupos de comunidades. Lo más importante de esto, es que la arquitectura de un ODGIS permite el reuso y combinación de ontologías basadas en la reutilización de clases a través del uso de la herencia. La misma racionalidad aplica dentro de una comunidad que puede ser expandida a comunidades de alto nivel o a subgrupos dentro de una comunidad.

El conjunto de ontologías es representado en una jerarquía. Los componentes de la jerarquía son clases modeladas por sus elementos distintivos (partes, funciones y atributos). Esta estructura para representar ontologías es extendida por (Rodríguez, A., 2000) con la

adición de *roles*. Los roles permiten una representación más rica de entidades geográficas y evitan los problemas de herencia múltiple. Una vez que las ontologías son especificadas, se pueden traducir éstas en clases. La traducción está disponible como función del editor de ontologías. Las ontologías disponibles para ser visualizadas por el usuario, proporcionan información de los metadatos acerca de los datos disponibles. El conjunto de clases contienen datos y operaciones que constituyen la funcionalidad del sistema. Estas clases contienen el conocimiento disponible para ser incluido en los nuevos sistemas basados en ontologías.

Uso de conocimiento. El resultado de la generación de la fase de conocimiento de un ODGIS es un conjunto de ontologías especificadas en un lenguaje formal y un conjunto de clases. Los componentes principales de la arquitectura ODGIS son los siguientes:

- *Servidor de ontologías.* Éste proporciona la conexión entre todos los componentes principales. El servidor es responsable de poner las ontologías disponibles a las aplicaciones. La conexión con las fuentes de información es realizada por medio de *mediadores*. El mediador busca información geográfica y traduce ésta en un formato entendible para el usuario. Los mediadores son artefactos de software con conocimiento embebido. Los expertos son los que construyen este componente, colocando su conocimiento en él y conservando éste actualizado.
- *Ontologías.* Representadas por dos tipos de estructuras, i.e., las especificaciones y las clases. Las especificaciones están elaboradas por los expertos y almacenadas de acuerdo con sus elementos característicos (*partes, funciones y atributos*) y sus interrelaciones semánticas (relaciones *is-a, part-of* y *whole-of*). Esta estructura proporciona información acerca del significado de la información disponible; puede ser utilizada con otras concepciones almacenadas por el administrador de ontologías. Las clases son el resultado de la traducción de las ontologías. Estas clases son componentes de software que pueden usarse para desarrollar aplicaciones y clases completamente funcionales con todas las operaciones que puedan aplicarse a cada entidad.
- *Fuentes de información.* Las fuentes de información geográfica en un ODGIS pueden ser de cualquier tipo de bases de datos geográficas que sean reconocidas por el mediador. Éste tiene la función de extraer las piezas de información necesarias para generar una instancia de una entidad de una ontología.
- *Aplicaciones.* Una de las aplicaciones del ODGIS es la recuperación de información. Los mediadores proporcionan instancias de las entidades disponibles

en el servidor de ontologías. El usuario puede visualizar la información en diferentes niveles de detalle, dependiendo de la ontología de nivel utilizada.

Por ejemplo, el funcionamiento del sistema es el siguiente: un usuario desea recuperar información acerca de los cuerpos de agua de una región determinada. Primero, el usuario visualiza el servidor de ontologías para buscar las clases relacionadas. Posteriormente, el servidor de ontologías inicia los mediadores para que busquen la información y regresen un conjunto de objetos de la clase especificada.

En este caso, los autores proponen el uso de ontologías como soporte para la clasificación de imágenes aéreas digitales y la integración de los resultados de los procesos de clasificación con otros sistemas de información. Para este estudio, el desarrollo de clases o una ontología especializada en la clasificación de imágenes mejora el proceso de clasificación y facilita la integración de imágenes aéreas dentro de una estructura ODGIS. De esta forma, las imágenes son representadas por clases especiales extraídas de ontologías geográficas.

Utilizando una ontología para clasificación de imágenes. En la arquitectura ODGIS existen diferentes niveles de ontologías, además de diferentes niveles de detalle de información. *Ontologías de bajo nivel* corresponden a información muy detallada. Mientras que *ontologías de alto nivel* corresponden a información más general. En este caso, si un usuario está visualizando ontologías de alto nivel espera encontrar información menos detallada. Se propone que la creación de ontologías más detalladas debe basarse en las ontologías de alto nivel, tal que cada nivel de ontología nuevo incorpore el conocimiento presente en el nivel más alto. Estas ontologías nuevas son más detalladas, ya que refinan descripciones generales del nivel del cual éstas heredan.

En ODGIS, la clasificación de una imagen es realizada a través de la asociación de la imagen y los objetos encontrados en la misma con las entidades de la ontología. La organización jerárquica de las ontologías permite el proceso de clasificación para ser elaborado gradualmente, iniciando con asociaciones muy generales y continuando con una clasificación final que puede ser muy precisa y detallada. Como el proceso de clasificación continua, más objetos pueden ser encontrados o los mismos objetos previamente encontrados pueden ser mejor identificados y relacionados a ontologías de tarea y dominio. Estas clases nuevas son agregadas a la clasificación previa, de esta forma un objeto en la imagen es gradualmente más específico y los resultados de la clasificación más precisos

hasta que todos los objetos en la imagen son relacionados a las ontologías de aplicación, en una clasificación a muy bajo nivel.

Este tipo de clasificación gradual es importante, ya que primero habilita un análisis progresivo, permitiendo el uso y refinamiento de una clasificación imprecisa. En segundo lugar permite volver a visitar imágenes clasificadas y reinterpretar los resultados, de acuerdo con información nueva disponible. Las ontologías proporcionadas al usuario pueden ser utilizadas para reevaluar la salida de la clasificación con nueva información.

Para mostrar estas ideas en práctica, los autores presentan un ejemplo basado en un caso de estudio de la deforestación en la selva amazónica, elaborado por el INPE de Brasil (Instituto Nacional para la Investigación Espacial). Se considera el problema de uso de suelo y el cambio de la cobertura de suelo, por encima de áreas de bosque tropical, por lo tanto se distinguen tres niveles de ontologías:

- Una *ontología de nivel superior*, la cual es compartida por diferentes comunidades relacionadas con los tópicos del cambio global en bosques tropicales. En este nivel, estas comunidades distinguen tipos muy genéricos de ontologías de uso de suelo y cobertura de suelo, tales como los objetos: `Forest`, `Non-Forest Vegetation` y `Deforestation`.
- Una *ontología de dominio* considera el caso de la selva amazónica y distingue diferentes subtipos de `Forest` (i.e. `TerraFirme Forest`, `Inundated Forest`), `Non-Forest Vegetation` (i.e. `Regrowth`, `Natural Savannah`) y `Deforested Areas` (i.e. `Burning`, `Human Settlements`, `Farms`). Esta ontología es más específica que la anterior, pero ya es lo suficientemente genérica para aplicarse enteramente a la Amazonia y no solo a un área geográfica dada.
- Una ontología de aplicación, la cual considera el caso específico del área geográfica a la que la imagen se refiere (i.e. la parte noreste del estado de Rondonia) y en la cual se identifican los objetos de la imagen en más detalle. Por ejemplo, objetos del tipo `Farms`, clasificados en la ontología de dominio pueden ser asignados en este nivel a tipos específicos de uso agrícola (i.e. `Soybeans Plantation`, `Cattle Farms`, `Abandoned Areas`).

Los autores citan que una de las ventajas de utilizar un ODGIS es la habilidad de tener interpretaciones múltiples de un mismo elemento geográfico. En este caso las clases

son típicamente definidas jerárquicamente, tomando como ventaja uno de los conceptos más importantes en los sistemas orientados a objetos: la *herencia*. Es posible definir una clase más general, conteniendo la estructura de un tipo de objeto genérico, y entonces especializar esta clase creando subclases. Las subclases heredan todas las propiedades de una clase padre y agregan algunas más de su propia entidad. Por ejemplo, dentro de un gobierno local se pueden tener vistas diferentes y utilizarlas para áreas verdes. Un comité de estandarización puede especificar una definición de área verde con características generales. Cada departamento que tiene una vista diferente de un área verde puede especificar su propia clase de parcela, heredando las características principales de la definición general de área verde, e incluyendo lo específico del departamento. En este caso, se puede tener una definición de área verde para una ciudad completa y derivada de ésta dos especializaciones diferentes, una para evaluación de impuestos y otra para permisos de construcción. Cuando una clase dada hereda directamente de solo una clase, a esto se le llama *herencia única*, mientras que una clase que hereda de más de una clase se le denomina *herencia múltiple* (Cardelli, L., 1984). La herencia múltiple es un concepto controversial, con beneficios y desventajas. Aunque la implementación y uso de la herencia múltiple no es trivial, su uso en modelado de datos geográficos es esencial (Egenhofer, M. & Frank, A.U., 1992a; Egenhofer, M. & Frank, A.U., 1992b).

Para representar diversas características de las entidades geográficas y evitar problemas de herencia múltiple, los autores han adoptado para el uso de objetos el concepto de *roles*. Cuando se define una entidad en una ontología, es importante establecer claramente una identidad. Aquí un objeto es una cosa que tiene identidad, pero puede jugar diferentes roles. (Guarino, N., 1992) presenta una distinción ontológica entre roles y conceptos naturales, utilizando el concepto de *fundamento* (foundation). Para que un concepto α pueda ser fundamentado sobre otro concepto β , cualquier instancia χ de α tiene que ser necesariamente asociado a una instancia γ de β , *la cual no está relacionada a χ por una relación parte-de*. Por lo tanto, instancias de α solo existen *en una unidad más amplia*, donde están asociadas a algunos otros objetos. Un rol es un concepto que está fundamentado pero no rígido semánticamente. Un concepto natural es esencialmente independiente y semánticamente rígido.

Un rol puede ser visto como un atributo de un objeto. En este caso es un *slot*, mientras que para la comunidad de base de datos es una *relación*. En lugar de utilizar herencia múltiple, en donde por ejemplo, un edificio es el centro de la ciudad y éste es al mismo tiempo un edificio y un centro comercial, por lo cual los autores citan que esta

entidad es un edificio que juega un rol de centro comercial. Puede ser que el edificio es visto siempre como un edificio y juega durante su tiempo de vida dos roles, i.e., fábrica y oficinas. ODGIS permite que un objeto pueda jugar muchos roles.

El desarrollo de la aplicación puede combinar clases de diversas ontologías y crear clases nuevas que representen las necesidades de los usuarios. De esta forma, una clase que representa a un *lago* en una ontología del departamento de parques y sitios recreativos, puede ser construida a partir de una región geográfica de la ontología de (Guarino, N. & Welty, C., 2000). Al mismo tiempo, un *lago* puede ser visto como un puerto de carga o como un enlace en una red de transportación. En este caso, un *lago* puede jugar los roles de **puerto** y **enlace**. Estos roles son entidades en otras ontologías tales como WordNet y SDTS. Entonces la clase real es *lago*, pero ésta juega muchos roles que en conjunto dan la clase y su característica única.

El compartir conocimiento e información se logra a través del uso de clases y roles que pertenecen a ontologías comunes o por medio de la conversión de instancias de clases superiores o inferiores en la jerarquía de la ontología.

Integración de Información. El objetivo principal de este trabajo es el de integrar lo que es posible en lugar de intentar integrar todo. Algunos tipos de información nunca serán completamente integrados; puesto que su naturaleza es fundamentalmente diferente. Por ejemplo, un lago desde el punto de vista del departamento de parques y recreativos (*lake p&r*) tiene diferentes funciones y atributos que un lago desde el punto de vista de un departamento de aguas (*lake w*). La suposición en este trabajo es que el lago es solo una entidad, pero vista diferentemente por tipos de personas diferentes. Por lo tanto, una integración completa de toda la información disponible en estas dos (o más vistas) es imposible, pero las características comunes pueden ser compartidas. Esta es la integración de las partes comunes de los conceptos que son direccionados aquí.

Para integrar las partes comunes de conceptos compartidos, se propone una representación jerárquica de ontologías. A lo largo de esta estructura, se propone el uso de los roles que estos objetos pueden tener. La integración es siempre realizada en la primer intersección posible que va de de abajo hacia arriba en el árbol de la ontología. Por ejemplo, si ambas vistas de lago antes son derivadas desde la misma entidad lago en las ontologías de WordNet y SDTS, la integración posible es realizada en este nivel.

La integración incluye todos los métodos y atributos de la clase, i.e., los métodos y atributos comunes de la clase `lago` están todos disponibles para el usuario que está utilizando la información integrada. Para que esto suceda, es necesario que las instancias de `lago lake p&r` y `lake w` sean convertidas a instancias de la clase `lake`.

En esta misma forma, los roles pueden ser utilizados para integrar información. Un rol es un objeto que puede ser coincido (*matching*) a otra clase o rol. Por ejemplo, el rol de un `wildlife habitat` que un lago juega en la ontología del departamento de aguas puede ser extraído y convertido en una instancia de `wildlife habitat` desde la ontología de la Agencia de Protección Ambiental y entonces integrado con otras instancias de `wildlife habitat` viniendo desde otras fuentes de información.

La conversión de las instancias desde una clase a otra es regida por un método de navegación. En ODGIS cada clase hereda de una clase básica denominada `Object`. Esta clase tiene dos métodos básicos para ser utilizados en cambios de clases. Un método es utilizado para generalizar clases nuevas y se llama `CalledUp()`, el otro es utilizado para especializar clases y se denomina `Create_From()`. Estos dos métodos proporcionan los significados para navegar a través del árbol entero de la ontología. Desde cada clase del árbol de la ontología se deriva una clase básica, cada interfaz hereda las herramientas necesarias de navegación. Entonces si los métodos de navegación son aplicados a `lake p&r`, la clase retornada es la clase siguiente en la jerarquía superior, siendo la clase `lake`.

Como conclusión, los autores citan que el uso de componentes de software extraídos desde una ontología, es una forma para compartir conocimiento e integrar diferentes tipos de información. Estos componentes de software son derivados desde las ontologías, utilizando un mapeo orientado a objetos. El mapeo de ontologías múltiples a las clases del sistema se logra por medio de técnicas de orientación a objetos, utilizando herencia. Este tipo de mapeo permite una integración parcial de la información cuando completarla no es posible.

2.3.16 Smith, B., 2004

Este trabajo se enfoca en proporcionar una visión con respecto a la representación del conocimiento; así como el de intentar clarificar definiciones como concepto y cómo este puede ser utilizado en diversos contextos. De igual forma el autor realiza una interpretación del rol y significado que pueden interpretarse entre conceptos y cómo estas relaciones deben formularse.

Algunos miembros de la comunidad de representación del conocimiento y de otras comunidades afines, muchos de ellos involucrados en el desarrollo de ontologías han abrazado una u otra forma de la filosofía idealista, escéptica o construccionista por ejemplo:

a) Una visión de acuerdo con lo cual no existe una realidad objetiva a la que correspondan los conceptos o términos generales de nuestra representación del conocimiento.

b) Una visión de acuerdo con lo que no podemos saber cómo es la realidad objetiva, así que no hay un beneficio práctico en tratar de encontrar una correspondencia con dicha realidad en nuestras representaciones del conocimiento.

c) Una visión según la cual el término “*realidad*” en cualquier caso significa nada más que una construcción hecha de conceptos, de manera que cada sistema de conceptos, en principio construye su propia “*realidad*” o “*mundos posibles*”.

Doctrinas como estas llevan a tesis en las que se piensa que la realidad objetiva desarrollada por las ciencias naturales no es otra cosa que una construcción cultural, comparable con la astrología y la brujería. En el campo de la IA pasa algo similar, (Gruber, T., 1991b) define *ontología* como “una especificación de una conceptualización” y definiciones con el mismo espíritu Gruberiano, se han desarrollado y aceptado por la comunidad de representación del conocimiento en IA. Por ejemplo, podemos leer en el sitio owlseek.com la siguiente definición: “ontología en ciencias de la computación son conjuntos de términos específicos para un modelo de datos, en donde el modelo contiene las relaciones entre sí que describen a las entidades”.

No se puede conocer la realidad en su forma más pura; podemos solamente interpretarla a través de nuestros sentidos y experiencias. Por lo tanto, cada quien tiene su

propia perspectiva de la realidad. Una ontología es una especificación formal de una perspectiva. Si dos personas acuerdan utilizar la misma ontología cuando se comunican, entonces no debe existir ambigüedad en la comunicación. Para esto, una ontología codifica la semántica utilizada para representar y razonar con un conjunto de conocimiento.

Se asume como un hecho que la representación del conocimiento no tiene que ver con la realidad sino con los conceptos concebidos como creaciones humanas. Un primer argumento para esta idea puede ser formulado de la siguiente manera. El conocimiento existe en las mentes de los sujetos humanos, de tal manera podemos tener conocimiento de las cosas que en la realidad solamente tenemos a través de nuestros sentidos. Así, podemos tener conocimiento no de las entidades como son por ellas mismas sino a través de nuestros propios conceptos. Un segundo argumento, parte de la premisa de que ahora conocemos cómo cosas erróneas que en el pasado considerábamos como parte del conocimiento.

Ciertamente sabemos, que a través de nuestras creencias, que algunas cosas son mal clasificadas debido a que el conocimiento permite tener falsas creencias, incluyendo aquellas expresadas por medio de frases que involucran conceptos (como por ejemplo el éter) que se refieren a cosas que no existen en la realidad y que solamente existen en nuestros propios conceptos.

A su vez, algunos falsos conocimientos fueron erróneamente contemplados como parte del conocimiento. Pero esto no prueba qué conocimiento haya comprendido falsas creencias. Esto solamente muestra que las falsas creencias fueron alguna vez erróneamente clasificadas como conocimiento. La respuesta apropiada para el problema del error es corregir nuestros errores conforme los vamos encontrando, lo cual sería difícil para la construcción de ontologías.

En muchos contextos, las personas que trabajan con ontologías tratan con conceptos análogos de las expresiones lingüísticas con las cuales están asociadas. Así, ellos hablan de "*definir*" conceptos y de "*mapear*" los conceptos de diferentes ontologías, entendiendo los conceptos efectivamente como herramientas (análogamente a telescopios con microscopios) que pueden ser utilizadas para obtener acceso cognitivo a las entidades correspondientes en la realidad.

La influencia de la visión centrada en los conceptos no es un producto plenamente de las raíces de los *sistemas de información*. Esto ha llegado a ser enriquecido además por el

hecho de que existe mucho trabajo relacionado con la representación de dominios, como el comercio, leyes, o administración pública, donde estamos tratando con productos derivados de la actividad humana, y por ello con entidades que son en algún sentido meramente "*conceptuales*".

El autor cita que hay pocos intentos convincentes para definir el término "*concepto*", los cuales son marcados por la característica de la *circularidad*. Dicha circularidad puede ser ilustrada utilizando como ejemplo la red semántica del sistema del lenguaje médico unificado (UMLS), el cual define una idea o concepto que puede citarse en diversos contextos para obtener una definición acerca de un concepto en su forma abstracta.

Los conceptos no son claramente distinguidos de las entidades en la realidad, o de los nombres o descripciones por el lado del lenguaje. La tendencia de manejar juntos conceptos y entidades se encuentra también en la lingüística. Sin embargo, dicha distinción es indispensable cuando nos embarcamos en el desarrollo de ontologías en el contexto de las ciencias naturales.

En este sentido, el autor propone una lectura lingüística del término "concepto" en la representación del conocimiento y en la literatura relacionada, ésta debe iniciar en el reconocimiento de diferentes términos hasta que mapeen en un concepto que sea más genérico para todos. Por ejemplo, en términos de diferentes lenguas el concepto de "perro", "dog", "chen", pueden tener el mismo significado. Por lo tanto, el término "concepto" es entonces utilizado en lugar de "nombre" o "palabra" con un dispositivo que nos permite abstraer de las diferencias sintácticas y enfocarnos en aquellas relaciones entre los términos que son importantes para el razonamiento. Algunas veces los conceptos parecen como una idea compartida entre aquellas personas utilizando los mismos términos. Algunas otras veces el concepto es visto como una construcción lógica.

Por otra parte, el autor cita que el problema obvio con la visión de ontologías centrada en conceptos es que resulta difícil entender cómo las ontologías pueden ser evaluadas en sus bases. Efectivamente, una buena *ontología* es aquella que corresponde a la realidad como existe más allá de nuestros propios conceptos. Sin embargo, el conocimiento por sí mismo es identificado con el conocimiento de nuestros propios conceptos, y si una ontología es solamente la especificación de una conceptualización, entonces la diferencia entre buenas y malas ontologías es inexistente.

En este sentido, el término "concepto" es utilizado de tal manera que se asume que tiene connotaciones normalmente asociadas con términos como "*propiedad*", "*tipo*" (*kind*) o "*universo*"; términos que utilizados en su forma normal no denotan entidades que sean productos del conocimiento humano. En la lectura lingüística, una frase como "**vacuola lytica es un vacuola**"; no es una aseveración acerca de las *vacuolas*; en lugar de ello es una aseveración acerca del uso del lenguaje. Esto nos dice que el significado asociado con el nombre "*vacuolas lyticas*" es más cercano o específico que el significado asociado con el nombre "*vacuolas*". Esta interpretación es especialmente común en trabajos de terminologías y diccionarios (*tesauros*).

De igual forma el autor realiza un análisis sobre el término "*información*", así como con el término "*modelo*" y con "*semántica*", los cuales en sí están sujetos a muchas confusiones que han estado asociadas con el término "concepto"; dentro del área de representación del conocimiento y literaturas asociadas. Una inspección de la práctica actual revela que los modeladores están preocupados en construir modelos de entidades de la realidad. Por ejemplo, con la construcción de modelos de la organización del genoma. El término "concepto", en sí mismo se refiere a entidades que son creadas por los modeladores. Los conceptos son criaturas del ámbito computacional que existen (en cierto sentido, que son difíciles de explicar) a través de sus representaciones en software, en diagramas UML, en representaciones XML, en sistemas axiomáticos, etc.

Sin embargo, desde el punto de vista ontológico, una buena ontología y un buen modelado para la utilización en ciencias naturales pueden ser desarrollados mediante la motivación que una disciplina dedicada precisamente a la representación de entidades tal como existen en la realidad; se podría hablar no de conceptos como artefactos computacionales o lingüísticos, en lugar de ello se habla de universos (*universals*), concebidos tal como son en la realidad. El término "universo" significa lo que las instancias correspondientes (por ejemplo todas las ballenas, todas las bacterias, etc.) tienen en común. Los universos son invariantes en la realidad. Hablando de la realidad de los universos, podemos hablar de las diferencias entre buenas y malas ontologías: las malas ontologías, son aquellas cuyos términos generales fallan en la relación de correspondencia con los universos y realidad; por lo tanto también con las instancias correspondientes. Las buenas ontologías son representaciones de la realidad, y el hecho de que dichas representaciones sean posibles se muestra, dado que muchos de ellos pueden ser alcanzados actualmente con las teorías existentes (en las ciencias naturales). Así, cuando la comunidad de IA pretende defender una aseveración que las representaciones computacionales deben ser

representaciones de artefactos especiales (conceptos, modelos, cadenas), mencionan que las entidades físicas reales (células, organismos, muerte) no pueden ser almacenadas dentro de una computadora.

Los universos son instanciados por instancias en espacio y tiempo, muestran una diferencia primitiva entre instancias particulares y no particulares. Entre las particulares (individuos, *tokens*) tenemos: “usted” y “yo”, el “planeta Tierra”, etc. Ejemplos de no particulares son universos como: “raza humana”, “mariposa”, “muerte”, etc. Un universo está definido como cualquier cosa que es instanciada, y una instancia como cualquier cosa que instancia a algún universo.

De igual forma, los autores llevan a cabo un análisis exhaustivo de las definiciones de las relaciones que más pueden presentarse en una ontología. En este sentido, definiciones comunes de “*es un*” conciben la relación en una amplia gama de términos teóricos. Por ejemplo: “**A es un B**”, quiere decir que el conjunto de instancias de A es un subconjunto de instancias de B. El problema con esa definición es que resulta difícil hacer justicia a las complejidades temporales de la relación entre instancias y universos lo que nos puede llevar a afirmaciones falsas como “**adulto es un niño**”. Podemos sin embargo, formular una mejor definición para la relación “*es un*” que excluye este tipo de casos:

“**A es un B**” sí y solo sí: (1) A y B son *universos*, y (2) para todo tiempo *t*, si cualquier cosa instancia el universo A al tiempo *t*, entonces la misma cosa debe instanciar también el universo B al mismo tiempo *t*.

Esta misma situación ocurre con la definición de “*parte de*”, para esta relación puede originar en interpretaciones incoherentes, cuando es considerada entre conceptos. Por ejemplo: “**cóccix parte de columna vertebral**”, esto expresa una relación del mismo tipo como “*es más estrecho que*” concebida como una relación de significados. Para entender la definición “*parte de*”, se necesita primero de todas las raíces mereológicas de la relación y se podría decir: “*El corazón de Miguel es parte del cuerpo de Miguel*”, por lo tanto entonces establecemos aseveraciones de la forma “*parte de*”, el hecho significativo es que una variedad de ordenamientos diferentes entre las instancias de los universos correspondientes pueden ser confusos y difíciles de entender. Por lo tanto, esto significa que algunas instancias de *A* son *parte de* algunas instancias de *B*. Para el diseño de ontologías se deben expresar relaciones universales tales como:

“**A parte_de B**”, lo cual afirma que: (1) si una instancia de A existe en un tiempo dado, entonces una instancia de B existe en este mismo tiempo, y (2) que el constructor es un nivel de instancia parte del segundo. “**A parte_de B**” proporciona información primeramente acerca de las A . Entonces se dice que las A_s no existen excepto como un nivel de instancia parte de las B_s . Por ejemplo: “*núcleo parte_de célula*”.

Para el caso de “**B tiene_parte_de A**”, afirma que: (1) si una instancia de B existe en un tiempo dado, entonces una instancia de A existe en este mismo tiempo, y (2) el segundo es un nivel de instancia parte del formador. “**B tiene_parte_de A**” entonces proporciona información primaria acerca de las B_s . A lo cual se dice que las B_s no existen excepto con las partes de nivel de instancia de las A_s . Por ejemplo: “*células tienen parte_de membranas*”.

De esta forma, es cómo se realiza una descripción robusta de las relaciones esenciales que componen a una ontología; desde el punto de vista del autor.

2.3.17 Steyvers, M. & Tenenbaum, J.B., 2005

En este trabajo se presentan una serie de análisis estadísticos de estructuras a gran escala basadas en tres tipos de redes semánticas, tales como asociaciones de palabras, WordNet y los Tesoros de Roget.

Además se presenta que este tipo de redes semánticas tienen una estructura de palabras pequeñas, caracterizadas por una conectividad dispersa, un promedio de longitud de rutas cortas entre palabras y un fuerte agrupamiento local. En adición las distribuciones del número de conexiones siguen un conjunto de reglas que indican un patrón de conectividad libre de escala, con los nodos que tienen la mayor cantidad relativa de conexiones unidos entre sí, a través de un número pequeño de cubos con muchas conexiones.

Este tipo de peculiaridades han sido encontradas en una cierta cantidad de redes naturales complejas, como es WWW (World Wide Web – por sus siglas en inglés); sin embargo, éstas no son consistentes con muchos modelos convencionales de organización semántica, basada en jerarquías de herencia, redes estructuradas arbitrariamente o en espacios vectoriales de alta dimensión.

Los autores aclaran que estas estructuras reflejen los mecanismos por los cuales crecen las redes semánticas. A su vez, describen un modelo simple para el crecimiento semántico, en donde cada palabra o concepto nuevo está conectado a una red existente por la diferencia de un patrón de conectividad de un nodo presente. Este modelo genera estadísticas apropiadas de “mundos pequeños”; así como distribuciones de conectividad. Se sugiere un mecanismo base para los efectos de variables históricas de aprendizaje o rendimiento del comportamiento en las tareas de procesamiento semántico.

En este trabajo los autores citan que las estructuras de red proporcionan representaciones intuitivas y útiles para modelar conocimiento semántico e inferencia. Asimismo se cita el trabajo de (Collins, A.M. & Quillian, M.R., 1969), en donde sugieren que los conceptos sean representados como nodos en una jerarquía de árbol estructurado con conexiones determinadas por relaciones de clases de inclusión (ver Figura 2.3).

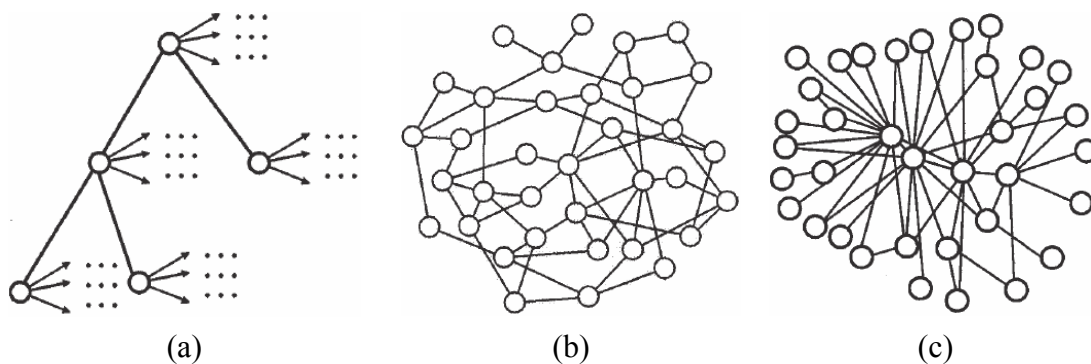


Figura 2.3. Estructuras de gran escala para redes semánticas: (a) una jerarquía de árbol estructurada, (b) un grafo arbitrario no estructurado, (c) un grafo pequeño de escala libre

Adicionalmente, los nodos para describir características atributivas o predicados están enlazados al nivel más general de la jerarquía a la cual estos nodos aplican. Una jerarquía de árbol estructurado proporciona un sistema económico particularmente para representar conocimiento acerca de las categorías, pero éste se coloca por medio de restricciones sobre la posible extensión de predicados, esencialmente sobre los tipos de conocimiento que son posibles.

Collins y Quillian proponen algoritmos para eficientar la búsqueda, por medio de jerarquías que heredan para recuperar o verificar hechos tales como “Robin¹¹ tiene alas”, y se muestra que el tiempo de reacción de los seres humanos es visto diferentemente para vincular predicciones cualitativas de este modelo. Sin embargo, la elegancia de esta pintura

¹¹ Robin es un tipo de pájaro.

tiene severas limitaciones como un modelo general de estructura semántica. Las jerarquías de herencia son claramente apropiadas solo para ciertos conceptos organizados taxonómicamente, tales como clases de animales u otros tipos de naturales.

En términos de patrones de conectividad a gran escala, estos modelos son esencialmente no estructurados, con cada palabra o concepto correspondiente a un nodo y enlaces entre cualquiera de los dos nodos que están directamente asociados en alguna forma.

Bajo la vista de las redes semánticas, el significado es inseparable de la estructura. El significado de un concepto es al menos en parte constituido por sus conexiones a otros conceptos. Además, sin ningún principio de estructura general, el paradigma de las redes semánticas ofrece perspicacias generales dentro de la naturaleza semántica.

En este artículo se argumenta que existen hechos para precisar principios generales que rigen la estructura de representaciones de red para la semántica en el lenguaje natural, y estos principios estructurales tienen potencialmente implicaciones significativas para los procesos de crecimiento semántico y búsqueda en memoria.

Los autores insisten en que las redes semánticas juegan un rol preponderante en cualquier cuenta madura del significado de una palabra. El objetivo es estudiar algunas de las propiedades estructurales generales de las redes semánticas que pueden formar parte del fundamento esencial para cualquier teoría semántica.

En el trabajo también se observa que las distribuciones de varias estadísticas calculadas por encima de los nodos, pares de nodos o tripletas de nodos en una red semántica; existe un número de conexiones por palabra, longitud de la ruta más corta entre dos palabras, y el porcentaje de los vecinos de un nodo que son por sí mismos vecinos. En este sentido, las redes poseen una estructura de *palabras pequeñas*, caracterizadas por la combinación de vecindades agrupadas y por la longitud de una ruta corta promedio.

En el modelo propuesto por los autores, una red adquiere conceptos nuevos por encima del tiempo y conecta cada concepto nuevo a un subconjunto de conceptos dentro de una vecindad existente, con la probabilidad de elegir un vecino particular proporcional a su tamaño. Este proceso de crecimiento puede ser visto como un tipo de *diferenciación*

semántica, en donde conceptos nuevos corresponden a variaciones más específicas sobre conceptos existentes y sobre conceptos altamente complejos.

Adicionalmente, este modelo realiza predicciones acerca del curso del tiempo de la adquisición semántica, porque el orden donde los significados son adquiridos es crucial en la determinación de su conectividad. Los conceptos que introducen la red son esperados para mostrar conectividad, se verifica esta relación experimentalmente con normas de edad de adquisición y explica cómo podría contar con algún efecto de comportamiento enredado por la edad de adquisición en decisiones léxicas y tareas de nombre, bajo aseveraciones aparentes con respecto a los mecanismos de búsqueda en memorias semánticas.

En resumen, el trabajo muestra el análisis sobre el aspecto abstracto del conocimiento semántico, el cual podría ser capturado en diversos modelos definidos en un nivel de mayor detalle. Se define una red semántica para ser una representación abstracta de un aspecto del conocimiento semántico entre las relaciones de pares de palabras. Estas estructuras pueden formar directamente la base para representar el conocimiento semántico como en un modelo de red clásico o puede ser una abstracción calculada de otras representaciones.

Tanto el análisis de redes semánticas como el modelo de crecimiento semántico, están pensados en capturar restricciones abstractas sobre la representación y el desarrollo semántico, mediante mecanismos más estables. Cabe señalar que no se intenta hacer conexiones más precisas entre los modelos propuestos y redes neuronales en el cerebro. No existe en este modelo un crecimiento que requiera necesariamente conceptos semánticos a ser representados en una distribución local. Sin embargo, teorías empíricas de estructuras a gran escala en redes semánticas posicionan algunas restricciones sobre cómo estas redes pueden ser implementadas en un sistema de hardware neuronal. Bajo un mapeo simple de nodos y conexiones en las redes semánticas sobre neuronas y sinapsis, las estructuras estadísticas que se describen en el nivel semántico no son compatibles con las características generales de la estructura neuroanatómica.

En este trabajo se ha asumido que el significado de un concepto es representado no por un nodo único en la red semántica, sino por el patrón de conectividad entre los nodos asociados con conceptos relacionados.

Por último, en este trabajo se reporta que se encontraron varias redes semánticas construidas por diferentes significados, aunque todas presentan características estructurales

de gran escala, como son: esparcidad alta, longitud de rutas promedio muy cortas, fuertes agrupamientos locales y alto poder de distribución para el número de vecindades semánticas; indicando una estructura ligeramente propicia para la organización del conocimiento. De acuerdo con el resultado de las estadísticas obtenidas de los tres tipos de redes analizadas, éstas han sido construidas por diferentes tipos de datos y representaciones abstractas, las cuales organizan en forma madura el conocimiento semántico; en donde las relaciones definidas proporcionan restricciones computacionales para recuperar datos o bien en los modelos cognitivos en este tipo de estructuras semánticas.

2.4 Comentarios finales y análisis crítico

Hoy en día, uno de los grandes retos dentro del área de ciencias de la información geográfica, está orientada a la integración e interoperabilidad de diversas bases de datos geográficas y por ende el compartir datos geoespaciales entre éstas.

Sin embargo, para alcanzar estas metas es necesario llevar a cabo un análisis exhaustivo de los métodos que se encuentran disponibles en el estado del arte, con el objeto de conocer las directrices esenciales para estos fines. De acuerdo con lo anterior, la integración e interoperabilidad de diversos datos espaciales, presenta frecuentemente problemas relacionados con la heterogeneidad semántica de las fuentes de información geoespacial; así como de la complejidad estructural de los datos geoespaciales y el cómo estos datos son conceptualizados.

En este sentido, el aspecto de integración es importante, puesto que los datos geoespaciales pueden ser utilizados para procesar información apropiada y actualizada en un GIS. No obstante de acuerdo con (Agouris, P., Gyftakis, S. & Stefanidis, A., 2000) la información preexistente puede mejorar la interpretación de estos datos; así como brindar un soporte y guiar a la extracción de estos objetos.

Discusiones tempranas al respecto sobre la integración de GIS, frecuentemente se refieren a trabajos de IGIS, propuestos por (Ehlers, M., Greenlee, D., Smith, T., *et al.*, 1991) y (Davis, F., Quattrochi, D., Ridd, M., *et al.*, 1991). Para (Hilton, J., 1996), el término IGIS tiene un significado de integración de diversas tecnologías GIS o refleja un punto de vista particular de una comunidad. Este término IGIS, es utilizado para la integración de información geográfica en cualquier formato de representación, incluyendo

objetos y campos dentro de una estructura que habilita al usuario a utilizar éstos su contexto completo.

(Davis, F., Quattrochi, D., Ridd, M., *et al.*, 1991) considera que el mayor impedimento para la integración es más conceptual que el técnico en naturaleza. (Abel, D., Kilby, P. & Davis, J., 1994) considera que la vista de integración como la fusión de diversas tecnologías es una de las directrices básicas para una generación nueva de GIS, lo cual conlleva a una interoperabilidad abierta. (Couclelis, H., 1992; Egenhofer, M. & Mark, D.M., 1995) citan que es necesario que los GIS superen las limitaciones de representaciones raster y vector; así como de la geometría Euclidiana. (Pissinou, N., Makki, K. & Park, E., 1993) propone direcciones para las generaciones nuevas de GIS, entre éstas el uso del paradigma orientado a objetos y la inteligencia artificial. (Worboys, M.F., 1995) describe que en el área de GIS, la computación juega un rol vital, puesto que es necesario incorporar nuevos métodos tales como visualización en varias dimensiones, bases de conocimiento y algunas otras representaciones de conocimiento a los GIS. (Egenhofer, M. & Mark, D.M., 1995) introdujeron el término de Geografía ingenua (*Naive Geography*), lo cual se considera como un cuerpo de conocimiento que captura la forma en que las personas razonan acerca del espacio y tiempo geográfico, en este sentido las futuras generaciones de GIS deben incorporar modelos formales de geografía ingenua.

Entre los requerimientos de una siguiente generación GIS¹² para el manejo de ontologías, se necesita contar con la habilidad para soportar representaciones de información incompleta, múltiples representaciones del espacio geográfico y diferentes niveles de detalle. En este sentido, las ontologías pueden mejorar el reuso de software, puesto que la arquitectura de los sistemas de información basados en ontologías se orientan a tópicos tales como localización, evaluación y adaptación de componentes de software (Borgo, S., Guarino, N., Masolo, C., *et al.*, 1997). Los sistemas de información manejados por ontologías evitan la separación de los datos basados solo en sus representaciones. (Nunes, J., 1991) indica que la técnica semántica, basada en los conceptos de las entidades geográficas habilita la integración de varios tipos de información, a través del uso de clases flexibles. Estas clases están compuestas por medio de la combinación de otras clases que pueden representar la riqueza del mundo geográfico. Por ejemplo, una de las estrategias comunes para interoperar, es la conversión de varios formatos dentro de una estructura común. Esta nueva estructura debe definirse previamente y está basada en los estándares de OpenGIS (OpenGIS 1996; Salgé, F., 1999).

¹² Como ejemplo de GIS de nueva generación se tienen Google Earth y Google Map.

La siguiente generación de sistemas de información debe estar habilitada para solucionar problemas de *heterogeneidad semántica* para hacer uso de una gran cantidad de información disponible en Internet y en sistemas distribuidos. Un sistema de información que apunta en solucionar interoperabilidad semántica debe entender el modelo de usuario del mundo real y sus significados; entender la semántica de las fuentes de información y el uso de mediadores para satisfacer la petición de información con respecto a las fuentes y los usuarios (Sheth, A. 1999). Las ontologías juegan un rol clave en habilitar la *interoperabilidad semántica*, lo cual es sugerido por (Sheth, A., 1999) en su investigación orientada a dominios específicos de ontologías.

Los sistemas de información conducidos por ontologías (Guarino, N., 1998) están basados en el uso explícito de ontologías en el tiempo de desarrollo o en tiempo de ejecución. El uso de ontologías en el desarrollo de GIS ha sido discutido por (Frank, A.U., 1997) y por (Smith, B. & Mark, D., 1998). Las ontologías juegan un papel vital en la especificación de software, lo cual fue sugerido por (Gruber, T., 1991b). (Nunes, J., 1991) puntualizó que el primer paso en la construcción de una nueva generación de GIS, estaría en la creación de una colección y especificación sistemática de entidades geográficas, de sus propiedades y sus relaciones. En este sentido las ontologías juegan un rol esencial en la construcción de GIS, puesto que éstas permiten el establecimiento de correspondencias e interrelaciones entre dominios diferentes de entidades espaciales y relaciones (Smith, B. & Mark, D., 1998).

(Frank, A.U., 1997) sugiere que el uso de ontologías contribuirá para mejorar los sistemas de información, evitando problemas como inconsistencias entre ontologías construidas en GIS, conflictos entre los conceptos ontológicos y la implementación, y conflictos entre una ontología de sentido común del usuario y de conceptos matemáticos en el software. (Bittner, T. & Winter, S., 1999) identifican el rol de las ontologías en el modelado de incertidumbre espacial, en el sentido de que éste se encuentra asociado con los procesos de extracción de objetos. (Kuhn, W., 1993) sugiere que las teorías de información espacial deben enfocarse hacia usuarios de GIS, en lugar de orientarse en tópicos de implementación. El uso de ontologías puede ayudar a los GIS a desplazarse más allá de la *metáfora del uso de mapas*, en el cual se visualiza el mundo geográfico como capas de información independiente que pueden ser sobrepuestas. Muchas imprecisiones de la metáfora del uso de los mapas son señaladas por (Kuhn, W., 1991).

Existe una diferencia en la definición de ontología en el sentido filosófico y en la forma de cómo se usa este término en Inteligencia Artificial (Guarino, N., 1998). En inteligencia artificial, una ontología es vista como un *artefacto* de ingeniería que describe una cierta realidad con un vocabulario específico, utilizando un conjunto de suposiciones con respecto al significado pensado del vocabulario de palabras. En contraparte, en el sentido filosófico, la ontología es caracterizada como un sistema particular de categorías que refleja una vista específica del mundo. (Smith, B., 1998) sugiere una distinción terminológica entre referencia u ontología basada en la realidad (Ontología-R) y una ontología epistemológica (Ontología-E). La *ontología-R* es una teoría acerca de cómo el universo entero está organizado y corresponde al punto de vista científico de los filósofos. Una *ontología-E* adecua los propósitos de ingenieros de software y científicos de la información y está definida como una teoría acerca de cómo un individuo, grupo, lenguaje o ciencia dada, conceptualiza un dominio específico.

El uso de una ontología, traducida en un componente de un sistema de información conduce a un (ODIS *Ontology Driven Information System* – por sus siglas en inglés) (Guarino, N. 1998) y en el caso específico de los GIS conduce a Sistemas de Información Geográfica manejados por Ontologías (ODGIS) (Fonseca, F. & Egenhofer, M., 1999). Un ODGIS es construido utilizando componentes de software derivados de varias ontologías. Estos componentes de software son clases que pueden utilizarse para desarrollar nuevas aplicaciones; siendo ontologías derivadas, estas clases embebidas en el conocimiento extraído de las ontologías.

En resumen, como se puede observar en el análisis de trabajos, no existen desarrollos enfocados a la representación de datos geoespaciales con base en las propiedades, relaciones y funciones intrínsecas que describan el comportamiento de objetos geográficos, lo cual conlleve a una conceptualización base de este dominio.

Por otra parte, varios trabajos se enfocan directamente a la integración y extracción de información geográfica por medio de la *semántica*, pero esto se realiza a través de operadores simbólicos que son manejados en algunos casos vía lenguaje natural y en otros utilizando propiedades descriptivas (atributos) de los datos geoespaciales, lo cual indica un enfoque muy particular dentro de un contexto semántico, puesto que solo se utilizan descripciones de los atributos de los datos geoespaciales.

De igual forma, estos trabajos están dirigidos a solucionar problemas relacionados con interoperabilidad espacial y heterogeneidad semántica entre bases de datos geográficas, pero en diversos dominios muy particulares. Por lo tanto, una definición de *semántica espacial* prácticamente no ha sido explorada considerando propiedades, relaciones y funciones esenciales que envuelven a los objetos geográficos.

Por ejemplo, trabajos como LOBSTER¹³ (Egenhofer, M. & Frank, A.U., 1997) han intentado generar nuevos lenguajes de consulta para datos espaciales, en donde relacionan las características de los objetos geográficos utilizando un lenguaje de presentación y consulta para datos espaciales, el cual consiste de las propiedades topológicas de los objetos, brindando un soporte adicional al SQL (Structured Query Language – por sus siglas en inglés) tradicional. A su vez, este trabajo presenta resultados enfocados a Geomorfología, el cual se orienta en solucionar problemas de interoperabilidad entre datos espaciales, pero solo considerando la topología de los objetos geográficos; es decir dentro del contexto de la topología de los datos espaciales.

Los primeros trabajos relacionados con ontologías partiendo de un punto filosófico al computacional, han sido desarrollados por (Guarino, N., 1998), el cual propone enlazar ontologías que se encuentran en la mente de los seres humanos a sistemas de información. Este trabajo hace una crítica a la definición de ontología propuesta por (Gruber, T., 1993), la cual dice: “una ontología es una especificación de una conceptualización”; para lo cual Guarino asevera que es necesario hacer una distinción entre especificaciones intensionales y extensionales. Además, indica que la conceptualización como Gruber refiere es *extensional*, lo que implica que es indispensable extender el significado de conceptualización para referir a posibles mundos de un dominio, en lugar de un cierto estado de negocio (instancia particular de la realidad). Ontología como una especificación de conceptualización es una definición aceptable si la noción de “conceptualización” se refiere a posibles mundos (puede tener uno o más estados de negocio) no para todos. A su vez, Guarino indica que las relaciones entre conceptos juegan un papel indispensable en la representación del conocimiento y que en algunas ocasiones no se puede saber con precisión cuál es el número exacto para satisfacer un concepto. El trabajo describe también el uso de un modelo conceptual que vive en la mente de los seres humanos, el cual debe ser una abstracción para mapearse a un sistema de información.

¹³ LOBSTER es un sistema experto, diseñado para realizar consultas dentro del contexto geomorfológico.

En esencia, (Bishr, Y. & Kuhn, W., 2000) proponen que la información espacial debe ser modelada a través de ontologías, ya que la percepción de la realidad permite obtener con mayor facilidad el comportamiento de los fenómenos geográficos. Para este modelado basado en ontologías, los autores aseguran que los conceptos pueden estar organizados en una primera etapa en jerarquías de acuerdo con el dominio de aplicación. Posteriormente, es necesario establecer las relaciones que corresponden a estos conceptos tal es el caso de relaciones $R: C_1 \times C_2 \times \dots \times C_{n-1} \times C_n$, en donde estos conceptos C_k pueden ser subclases de otros conceptos C_l y que están compuestos por un conjunto de funciones $F: C_1 \times C_2 \times \dots \times C_{n-1} \rightarrow C_n$, con lo cual se pueden generar instancias de elementos; así como axiomas que determinen la semántica e interacción entre los conceptos espaciales que componen a una ontología. Asimismo, Bishr ha formalizado matemáticamente el modelado ontológico para modelar datos espaciales, pero desafortunadamente no hay ningún resultado claro que pueda evaluar su propuesta.

En otros casos relacionados a interoperabilidad espacial, los trabajos han sido orientados para la integración de información por medio de ontologías propuestas por una comunidad en particular, tal es el caso de (Fonseca, F. & Egenhofer, M., 1999; Fonseca, F., Egenhofer, M., Agouris, P., *et al.*, 2002; Fonseca, F., Egenhofer, M., Davis, C.A., *et al.*, 2000), en donde se propone un componente manejador de ontologías, denominado ODGIS (Ontology-Driven Geographic Information Systems – por sus siglas en inglés). Este sistema trabaja con base en *roles* que son generados por instancias de objetos que pueden pertenecer a una jerarquía (ontología). Sin embargo, existen algunas deficiencias con respecto a qué propiedades pertenecientes a los objetos geográficos son utilizadas para realizar el mapeo y coincidencia entre conceptos geográficos de diferentes ontologías. Es una propuesta efectiva en el sentido de que se utiliza el paradigma orientado a objetos para especializar clases y realizar mapeos vinculados a objetos geográficos, basándose en algunas especificaciones que proporciona el (Open GIS Consortium, 2002).

De igual forma, en (Fonseca, F., Davis, C.A. & Câmara, G., 2003) se propone un enlace entre ontologías descriptivas o fenomenológicas a esquemas conceptuales, los cuales estén orientados a integrar información geográfica. Esta integración es realizada por medio de diferentes esquemas ontológicos, en donde se definen ontologías superiores e inferiores a través de un mecanismo de especialización de conceptos (orientado a objetos). En este mecanismo se definen tres niveles básicos, tales como de aplicación, dominio y formal. A su vez, se realiza una descripción *a priori* de los objetos geográficos de acuerdo con un ambiente de aplicación para intentar realizar el mapeo entre diversas ontologías

previamente generadas en forma manual. Este trabajo está orientado a extraer la información espacial que puede contener una ontología más rica y vincularla a otra para complementarla. Sin embargo, no se cuenta con datos precisos que demuestren la funcionalidad de esta técnica con el uso de tipos de datos abstractos.

En adición a esto, la propuesta de (Vacariu, L. Letia, I.A. & Fodor, G.A., 2000; Jones, C.B., Anani, H. & Tudhope, D., 2001) apuntan a crear un sistema multi-agente heterogéneo para hacer coincidir geo-ontologías cara a cara por medio de un mapeo a sus relaciones. Este mapeo es una técnica novedosa, ya que cada agente realiza una tarea independiente y representa a una relación de la ontología. Sin embargo, las ontologías manejadas son desarrolladas con base en la experiencia de un especialista en el área.

Dentro de la heterogeneidad semántica existen algunos trabajos publicados que están relacionados con el razonamiento espacial, tal es el caso de (Pais, J. & Pinto-Ferreira, C., 1998), el cual está dirigido a buscar estrategias para el razonamiento sobre ontologías espaciales. En este trabajo se intentan formalizar las interacciones provenientes entre un conjunto de ontologías espaciales para describir diversos fenómenos geográficos, utilizando para este fin técnicas de inteligencia artificial, las cuales se avocan a procesar datos cualitativos y cuantitativos de la geo-información. Las ontologías son desarrolladas en forma manual, y están representadas a través de jerarquías, en donde las relaciones entre conceptos son consideradas como propiedades básicas. Los resultados del razonamiento espacial son representados por medio de predicados en un lenguaje simbólico. Esta propuesta intenta formalizar las descripciones espaciales matemáticamente, con lo cual se pueden obtener descripciones alternativas para la geo-información.

En adición (Rugg, R., Egenhofer, M. & Kuhn, W., 1997) propusieron formalizar los tipos de elementos geográficos para determinar el comportamiento de estas entidades. En este trabajo se han considerado únicamente la topología que presentan los datos espaciales, proponiendo un modelo topológico de 8-intersecciones, en donde se determina que éstas son las únicas propiedades topológicas que pueden representarse digitalmente para objetos geográficos. Con este modelo se busca obtener la semántica de los sistemas de objetos; sin embargo, no es factible obtener una semántica espacial completa, ya que no son consideradas otras propiedades y funciones que describen el comportamiento de los datos espaciales. Cabe señalar, que este modelo topológico propuesto es el que actualmente opera en cualquier GIS.

(Corcho, O., Fernández-López, M. & Gómez-Pérez, A., 2003) realizaron una descripción exhaustiva de las metodologías, herramientas y lenguajes para la construcción de ontologías. Es importante señalar que los autores describen una serie de preguntas básicas para la construcción de ontologías. Sin embargo, no presentan ejemplos de implantaciones de las mismas. De igual forma, hacen un análisis de las metodologías de Lenat y Guha, con respecto al desarrollo CYC. Asimismo a los trabajos de Bernaras, el proyecto Spirit, KACTUS y Ontolingua. Los autores proponen una serie de equivalencias y comparaciones de varias metodologías, lenguajes y técnicas, las cuales pueden ser utilizadas para el desarrollo de ontologías. A continuación se presenta un resumen general del análisis y descripción de estos elementos.

Tabla 2.1. Comparación de metodologías para la construcción de ontologías

Elemento	Funciones	Cyc	Uschold & King	Grüninger & Fox	KACTUS	METHONTO LOGY	SENSUS	On-To-Knowledge
Procesos de manejo de proyectos	Inicialización de proyectos	X	X	X	X	X	X	√
	Monitoreo y control de proyectos	X	X	X	X	√	X	√
	Manejo de calidad de ontologías	X	X	X	X	X	X	√
Desarrollo de ontologías orientadas a procesos	Exploración de conceptos	X	X	X	X	X	X	√
	Distribución del sistema	X	X	X	X	X	X	X
	Requerimientos	X	√	√	√	O	√	√
	Diseño	X	X	O	O	O	X	√
	Implantación	√	√	O	√	O	O	√
	Instalación	X	X	X	X	X	X	X
	Operación	X	X	X	X	X	X	X
	Soporte	X	X	X	X	X	X	X
	Mantenimiento	X	X	X	X	√	X	√
Jubilación	X	X	X	X	X	X	X	
Procesos integrados	Adquisición de conocimiento	√	√	√	X	O	X	√
	Verificación y validación	X	√	√	X	O	X	√
	Manejo de configuración de ontologías	X	X	X	X	O	X	√
	Documentación	√	√	√	X	O	X	√
	Entrenamiento	X	X	X	X	X	X	X

No propuesto = X

Propuesto = √

Descrito en detalle = O

Tabla 2.2. Comparación de herramientas para el desarrollo de ontologías

Elemento	DUET	OILEd	Onto Edit Profesional	Ontolingua	OntoSaurus	Protégé 2000	WebODE	WebOnto
<i>Tópicos generales</i>								
Desarrolladores	AT&T	U. Manchester	Ontoprise	KSL (U. Stanford)	ISI (USC)	SMI (U. Stanford)	UPM	KMI (Open University)
Versiones actuales	0.3	3.4	3.0	1.0.649	1.9	1.8	2.0	2.3
Políticas de compra	Libre	Libre	Libre y Licencias	Libre y acceso Web	Código abierto y libre (versión de evaluación)	Código abierto y libre	Licencias de acceso libre en la Web	Acceso libre en la Web
<i>Arquitectura de software</i>								
Arquitectura Sw	Plugin	Standalone	Standalone y Cliente Servidor	Cliente Servidor	Cliente Servidor	Standalone	3 capas	Cliente Servidor
Extensibilidad	No	No	Plugins	Ninguna	Ninguna	Plugins	Plugins	No
Almacenamiento de Ontologías	No	Archivo	Archivo SMBD	Archivos	Archivos	Archivo SMBD (JDBC)	SMBD (JDBC)	Archivo
Manejo de respaldos	No	No	No	No	No	No	Sí	Sí
<i>Interoperabilidad y traductores de lenguajes (de / hacia)</i>								
Importar desde lenguajes	DAML + OIL	RDF(S), OIL, DAML + OIL	XML RDF(S) FLogic DAML + OIL	Ontolingua IDL KIF	LOOM IDL ONTO KIF C++	XML, RDF(S), XML Schema	XML, RDF(S), CARIN	OCML
Exportar a lenguajes	DAML + OIL	OIL RDF(S) DAML +OIL SHIQ Dotty HTML	XML RDF(S) Flogic DAML + OIL SQL-3	KIF-3.0 CLIPS CML ATP CML rule engine EpiKit IDL KSL rule engine LOOM OKBC syntax	LOOM IDL ONTO KIF C++	XML, RDF(S), XML Schema, Flogic, CLIPS, Java HTML	XML, RDF(S) OIL DAML + OIL CARIN Flogic Prolog Jess Java	OCML Ontolingua GXL RDF(S) OIL
<i>Representación del Conocimiento y soporte metodológico</i>								
KR Paradigma del Modelo de Conocimiento	Clases orientadas a objetos	DL (DAML + OIL)	Frames + FOL	Frames + FOL	DL (LOOM)	Frames + FOL + Metaclases	Frames + FOL	Frames + FOL
Lenguaje de axiomas	No	Sí (DAML + OIL)	Sí (Flogic)	Sí (KIF)	Sí (LOOM)	Sí (PAL)	Sí (WAB)	Sí (OCML)
Soporte metodológico	Sí (Rational Rose)	No	Sí (Flogic)	No	No	No	Sí (METHO NTOLOGY)	No
<i>Servicios de inferencia</i>								
Construcción del Motor de inferencia	No	Sí (FaCT)	Sí (Onto Broker)	No	Sí	Sí (PAL)	Sí (Prolog)	Sí
Otros motores de inferencia	No	No	No	ATP	Sí	JessFaCT Flogic	Jess	No
Restricciones/Chaqueo de Consistencias	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí
Clasificaciones automáticas	No	Sí	No	No	Sí	No	No	No
Manejo de excepciones	No	No	No	No	No	No	No	No
<i>Uso</i>								

Taxonomía gráfica	Sí	No	No	Sí	No	Sí	Sí	Sí
Poda gráfica (vista)	Sí	No	No	No	No	Sí	Sí	Sí
Zooms	No	No	No	No	No	Sí	No	No
Trabajo colaborativo	No	No	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí
Biblioteca de ontologías	No	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	Sí

Tabla 2.3. Comparación de lenguajes de ontología

Elementos	Ontolingua	OCML	LOOM	FLogic	XOL	SHOE	RDF(S)	OIL	DAML
<i>Tópicos generales de conceptos</i>									
Metaclases	+	+	+	+	+	-	+	-	-
Particiones	+	±	+	±	-	-	-	+	+
Documentación	+	+	+	±	+	+	+	+	+
<i>Atributos</i>									
Templates (instancias de atributos)	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Propiedad (atributos clase)	+	+	+	+	+	-	-	+	+
Alcance local	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Alcance global	±	±	+	-	+	-	+	+	+
<i>Facetas</i>									
Valor ranura	-	+	+	+	+	-	-	-	-
Tipo de restricción	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Cardinalidad de restricciones	+	+	+	±	+	-	-	+	+
Documentación	+	+	+	-	+	+	+	+	+
<i>Taxonomías</i>									
Subclases	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Partición exhaustiva de subclases	+	±	+	±	-	-	-	+	+
Descomposiciones disjuntas	+	±	+	±	-	-	-	+	+
No subclases	±	-	±	-	-	-	-	+	+
<i>Relaciones y funciones</i>									
Relaciones n-arias / funciones	+	+	+	±	±	+	±	±	±
Tipos de restricciones	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Integridad de restricciones	+	+	+	+	-	-	-	-	-
Definiciones operacionales	-	+	+	+	-	-	-	-	-
<i>Axiomas</i>									
Lógica de primer orden	+	+	+	+	-	±	-	±	±
Lógica de segundo orden	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Nombre de axiomas	+	+	-	-	-	-	-	-	-
Axiomas embebidos	+	+	+	-	-	-	-	-	-
<i>Instancias</i>									
Instancias de conceptos	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Hechos	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Afirmaciones	-	-	-	-	-	+	±	±	±

Para concluir, es importante señalar que el reto de integrar datos geoespaciales, en donde frecuentemente las fuentes de información son múltiples y necesitan ser combinadas (integradas) para utilizarse en una forma estructurada, implica que pueden existir *diferencias semánticas* entre las estructuras de estos conjuntos de datos, por lo cual éstos deben ser adaptados para tareas específicas. Actualmente el costo de estas actividades de integración y adaptación son una barrera para la adopción y explotación eficiente de conjuntos de datos complejos. Un aspecto importante de este proceso de integración es el reconocimiento de las diferencias semánticas entre los conjuntos de datos. Frecuentemente, estas diferencias se deben a documentación incompleta, pero más importante, se producen errores al desentendimiento de las suposiciones hechas en el nivel de dominio. Estos errores pueden ser costosos en el sentido semántico, puesto que pueden resultar en datos que no sean integrados y que afecten el proceso de toma de decisiones.

En este caso, las ontologías pueden facilitar la captura del dominio de conocimiento, en tal forma que se detecten errores en la integración de datos, o debido a la naturaleza explícita de la semántica para prevenir este tipo de ocurrencias. En algunas ocasiones los procesos y servicios manuales pueden ser automatizados, sin embargo en aspectos de integración semántica algunas entradas deben realizarse en forma manual.

En este sentido, la creación de una ontología es usualmente visualizada como una tarea de adquisición de conocimiento, en donde involucra la verdad, el análisis y la interpretación del conocimiento del humano experto; así como la transferencia de este conocimiento en una representación legible para la máquina. Por tal motivo, esta tesis se encuentra enfocada a proporcionar las directrices necesarias para lograr una conceptualización del dominio geográfico, considerando las propiedades y relaciones esenciales del mundo geográfico y las entidades que lo involucran.

Para esto iniciamos con esquemas conceptuales que permitan describir en forma lógica la conceptualización del dominio; es decir que permita transmitir a la máquina la forma abstracta de las entidades del mundo geográfico en conceptos o términos lógicos, los cuales puedan ser procesados para generar descripciones basadas en la conceptualización.

En esta sección se ha realizado una serie de comentarios generales con respecto a diversos trabajos dentro del estado del arte; esto con el objetivo principal de centralizar el trabajo de esta investigación de tesis.

Capítulo 3. Marco Teórico

3.1 Introducción

En este capítulo se describe el marco teórico del trabajo de investigación de la tesis, el cual se concentra en proporcionar las definiciones y teorías apropiadas que se utilizan como herramientas para el desarrollo de la tesis, tales como ontología, instancia, concepto, conceptualización, relación, clase, restricción, entre otras.

De igual forma, se describen un conjunto de definiciones y conceptos nuevos que han sido generados, como parte del marco conceptual del trabajo de tesis para la creación de ontologías de dominio. Asimismo, se puntualiza en un modelo formal para el desarrollo de estas ontologías; así como la definición del término esquemas conceptuales, con lo cual se sientan las bases necesarias para utilizar todas estas herramientas en la parte metodológica.

3.2 Percepciones intuitivas sobre ontologías

En este apartado, se presentan algunos aspectos básicos acerca de algunas percepciones intuitivas sobre ontologías; en donde se intenta mostrar las diferencias principales de esta estructura con otras, tales como jerarquías y taxonomías. Cabe señalar que en esta sección no se presenta ningún tipo de definición formal de estos elementos, puesto que en secciones posteriores éstos serán descritos. El objetivo primordial de la sección es introducir al lector al capítulo con definiciones generales e ideas intuitivas.

El término de **ontología** puede ser interpretado de diversas maneras y sentidos. Por ejemplo en un sentido *filosófico*, una ontología¹ se refiere al estudio del ser, a la ciencia del ente en cuanto a tal; es decir, es el estudio de las cosas tales como: qué es, cómo es y cómo es posible (Aristotle's, *Methaphysics*, IV, 1, 2003).

¹ Ontología, del griego ὄν, genitivo ὄντος; de ser (parte de εἶναι: ser) y (λογία: ciencia, estudio, teoría).

Asimismo una ontología se ocupa de la definición del ser y de establecer las categorías² fundamentales o modos generales de ser de las cosas a partir del estudio de sus propiedades.

De igual forma, la **ontología** trata de describir o proponer las categorías y relaciones básicas del ser o la *existencia*³ para definir las entidades y de qué tipo son. Las entidades comprenden los objetos, las personas, los conceptos, las ideas, las cosas, y todo aquello de lo que se puede cuestionar su existencia. En cierto modo reflexiona sobre las concepciones de la realidad, sobre cómo son definidas las entidades de la realidad por el estudio.

Por otra parte, en un sentido computacional, y en particular orientado a sistemas de información (SI), (Zuñiga, G.L., 2001), cita que no es un secreto que la esfera multidisciplinaria de los sistemas de información haya tomado el término de “ontología” de la filosofía y éste sea reinterpretado en una forma más adecuada a SI. Sin embargo, existen algunos desacuerdos acerca de lo que esta reinterpretación debe ser. Zuñiga examina dos vistas prominentes y distintas sobre que es la ontología en sistemas de información e intenta avanzar hacia una definición unificada que pueda ser entendida interdisciplinariamente.

De esta forma, una **ontología** en SI, hace referencia al intento de formular un exhaustivo y riguroso esquema conceptual dentro de un dominio dado, con la finalidad de facilitar la comunicación y compartir información entre diferentes sistemas. Aunque toma su nombre por analogía, ésta es la diferencia principal con el significado filosófico de este término.

Un uso común tecnológico actual del concepto de ontología, se encuentra en inteligencia artificial y principalmente en el área de representación de conocimiento. En algunas aplicaciones, se combinan varios esquemas en una estructura *de facto* completa de datos, la cual contiene todas las entidades relevantes y sus relaciones dentro del dominio.

Por ende, los sistemas de cómputo pueden utilizar así la ontología para una variedad de propósitos, incluyendo el razonamiento inductivo, la clasificación, integración, interoperabilidad y compartir información.

² Concepto bajo el cual se ubican diversos elementos pertenecientes a ésta. Mediante las categorías, se pretende una ubicación jerárquica de elementos. Elementos muy parecidos y con características comunes formarán un grupo (categoría), y a su vez varias categorías con características afines formarán una categoría superior.

³ El término “*existencia*” designa el hecho de ser, por ejemplo el hecho de ser de una manera absoluta, el hecho de ser dado para la percepción, o incluso para la conciencia.

Típicamente, las ontologías en las computadoras se relacionan estrechamente con vocabularios fijos -una *ontología fundamental*- con cuyos términos deben ser descritos. Debido a que esto puede ocasionar representaciones pobres para ciertos dominios de problemas, se deben crear esquemas más especializados para convertir en útiles los datos a la hora de tomar decisiones en el mundo real.

A continuación se presenta en la Figura 3.1 diversas percepciones de las estructuras de datos para representar objetos, cosas o palabras.

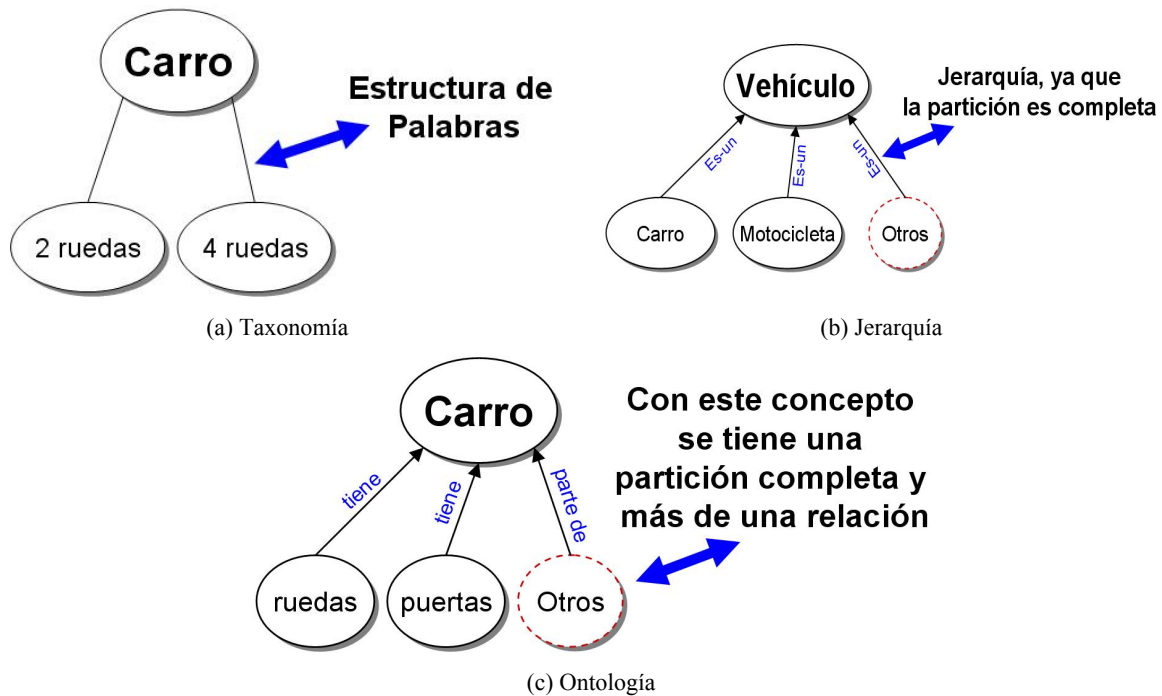


Figura 3.1. Aquí se muestran diversas estructuras de datos para poder representar el vocabulario de algún lenguaje, en donde este vocabulario describe objetos o cosas. En (a) se presenta una taxonomía para clasificar palabras del vocabulario de un lenguaje. En (b) se muestra una jerarquía que contiene solo una relación y su partición es completa. En (c) se despliega una ontología con una partición completa y un conjunto de relaciones

Como se aprecia en la Figura 3.1 en (a) existe una **taxonomía**⁴ con la palabra “carro”, la cual puede describirse como un objeto que puede tener dos o cuatro ruedas; asimismo en (b) se presenta una **jerarquía**⁵ la cual cuenta con un nodo raíz denominado “vehículo”, en donde solo se presenta una sola relación “*es-un*” (“*is-a*”), por lo cual se forma una

⁴ Una taxonomía se define como una estructura que permite clasificar diversas entidades u objetos en una forma arbórea, en la cual las particiones no son completas, no se cuenta con un orden dentro de las particiones y las relaciones permiten la clasificación de las entidades.

⁵ Una jerarquía es una estructura que permite organizar el vocabulario de un lenguaje a través de conceptos, en donde la estructura típicamente se representa en forma de árbol. Ésta es más rica que una taxonomía, puesto que implica un orden, además de utilizar restricciones y una relación base para clasificar a las entidades. En adición, utiliza particiones completas; así como el concepto de cadena. Una ventaja de esta estructura es que los términos o conceptos agrupados en particiones pueden ser elementos mutuamente excluyentes pero completos.

partición completa, en donde ésta es requerida para formar una jerarquía. Por último en (c) se presenta una estructura que está compuesta por la palabra “carro”, la cual ya se considera como un concepto. Este nodo es descrito por diversos conceptos que se encuentran enlazados por varias relaciones, las cuales pueden ser: “*parte de*” (“*part of*”) y “*tiene*” (“*has*”). Para formar una partición completa, es necesario en este caso agregar el concepto “otros”, lo cual puede dar origen a decir intuitivamente que esta estructura de representación de objetos o entidades se le puede llamar **ontología**⁶.

Adicionalmente, cabe mencionar algunos aspectos intuitivos con respecto a lo anterior:

- El vocabulario de un lenguaje origina conceptos, con lo cual las ambigüedades son eliminadas.
- Las aristas o arcos presentados en la Figura 3.1 representan relaciones entre los términos.
- Cuando términos de un vocabulario representan un concepto único se forma una ontología, posteriormente se definen relaciones como parte de la estructura y que caracterizan a estos conceptos.
- Es importante conservar en forma explícita las relaciones de una partición en una jerarquía y en una ontología.
- Una taxonomía es una jerarquía incompleta, ya que no cuenta con una partición completa.
- Una jerarquía es un caso particular de una ontología; puesto que presenta solo una relación y particiones completas.
- La definición de relaciones está en función del dominio de aplicación, en el caso de las ontologías estas relaciones son siempre conceptos.

⁶ Una ontología según (Gruber, T.R., 1995) es una especificación explícita de una conceptualización.

3.3 Análisis diferencial del término ontología en un sentido filosófico y en sistemas de información

De acuerdo con la interpretación del término “ontología” en filosofía y en sistemas de información, (Gruber, T.R., 1995) señala que en filosofía el término de “ontología” significa una cuenta sistemática de la existencia; es decir, si esto significa una clasificación de entidades, entonces esta caracterización tosca de la ontología filosófica es aceptable; aunque para una audiencia interdisciplinaria ésta requiera una mayor clarificación.

En otro sentido, (Gruber, T.R., 1995) cita que una ontología es “una especificación explícita de una conceptualización”. Otra forma de entender esto sería como “una teoría axiomática que especifica una conceptualización explícita”. En otras palabras, la ontología de SI *es una teoría axiomática expresada en algún lenguaje formal que sirve como el medio de transporte para expresar una conceptualización*. Aquí el sujeto es una ontología de SI particular. Sin embargo, para entender esta definición (ontología de SI) se debe primero descifrar las suposiciones fundamentales que conciernen a la ontología en sí, desde aquellas que conciernen al desarrollo de estos mecanismos, por lo cual la distinción entre ontología formal y material es esencial para entender este término.

Una *ontología formal* consiste de una investigación y descripción general de las propiedades de los objetos en el mundo y las relaciones que existen entre diferentes órdenes de objetos (Husserl, E., 1970; Mangan, F. & Reyes, G.E., 1994; Poli, R., 1995).

Una *ontología material* en contraste, es ocupada con solo un dominio particular de objetos y este dominio consiste en la descripción de la estructura del dominio y las relaciones de los objetos adentro de éste.

Aristóteles definió *Ontología*⁷ como la ciencia del ser tal que a diferencia de las ciencias especiales, cada una de las cuales investiga una clase de seres y sus determinaciones. La Ontología considera “todas las especies del ser y los atributos que pertenecen a éste” (Aristotle’s, *Methaphysics*, IV, 1). En este sentido, la Ontología intenta contestar a preguntas como: ¿qué es el ser?, ¿cuáles son todos los elementos comunes a todos los seres?

⁷ Ontología con la letra “O” en mayúscula, hace referencia a la filosofía.

Existe otra distinción que se debe considerar ahora: entre el significado general del mundo “formal”, el sentido de un sistema deductivo de este mundo y su simbolismo. Esto indica que el significado más frecuente en la comunidad de sistemas de información, el formador que proporciona los medios para dar el significado del mundo “formal” es quién aplica directamente a la ontología formal. Por ejemplo, la siguiente descripción formal de diferentes órdenes de objetos en el mundo. Existen entidades naturales, independientemente de su existencia, físicas tales como: El Cañón del Sumidero, tigres y tulipanes. Adicionalmente, existen entidades subjetivas, como: dolores, cuyo modo de existencia depende del sentir. Además existen artefactos físicos como son las mesas y sillas, cuya existencia como muebles es dependiente de formadores. Por otro lado, se encuentran los objetos sociales en el mundo, tal como el dinero. A su vez, existen las entidades abstractas como el color rojo y el número cinco, cuyo ser es abstraído de partículas del mundo. Esta descripción general es una ontología formal de entidades existenciales. A lo cual se pueden aplicar propiedades “subjetivas”, “dependientes” y “artefectos” en la descripción de una ontología material, como por ejemplo: la esfera de los objetos sociales, o la esfera de los objetos económicos (Zuñiga, G.L., 1999).

A su vez, Gruber indica el amplio alcance de las entidades que constituyen la realidad en una ontología filosófica, con lo que parece ser una noción más restrictiva de las entidades existentes aplicables a una ontología de SI. En este sentido Gruber dice “lo que existe es lo que puede ser representado”. Esta representación se realiza por medio de un lenguaje formal diseñado para acomodar un vocabulario o protocolo específico. Además se sugiere que las entidades que pertenecen al dominio de los sistemas de información solo son aquellas entidades cuyas descripciones se prestan así mismas para una representación vía un simbolismo.

Asumiendo que si esto es verdad, entonces las técnicas de formalización determinarán que será representado como existente en el dominio. El problema es que algunos objetos existentes serían difíciles de representar por medio de un *lenguaje formal*. Un ejemplo sería al intentar representar el dominio de los objetos psicológicos tales como amor, ansiedad, angustia, pérdida de la dignidad. ¿Cómo podrían estos estados psicológicos representarse a través de un lenguaje formal? ¿Cómo pueden todos estos estados ser descritos en una ontología psicológica, además de representarse en una ontología de SI?

De acuerdo con estas preguntas, el objetivo de una ontología filosófica es avanzar a una descripción fiel, en otras palabras buscar la verdad. La técnica usual para

investigaciones en materia ontológica es empaquetar el mundo de acuerdo con los dominios de objetos; es decir, el criterio de empaquetamiento no es perspectivo ni arbitrario, en el sentido de asumir el punto de vista de algunos individuos y sus actitudes acerca del mundo. En este sentido, el empaquetamiento del mundo intenta descubrir uniones naturales, separando esferas distintas de la realidad o dominios de objetos.

Para Gruber una *conceptualización* está constituida por “*los objetos, conceptos y otras entidades que son asumidas para existir en algún área de interés y las relaciones que sostienen entre estos elementos*”. La interpretación de esto es el hecho que una ontología de SI debe dar cuentas del significado pensado de un vocabulario o protocolo formal para un conjunto de agentes, cuyo conocimiento es representado por tal vocabulario o protocolo. En este sentido, se puede decir entonces que una *conceptualización* es “una vista abstracta y simplificada del mundo”, la cual se desea representar para algún propósito (Gruber, T.R., 1995).

Si la ontología de SI ofrece una cuenta fiel del contenido pensado del vocabulario o protocolo formal relevante, entonces se puede decir que la ontología se adhiere a su compromiso ontológico. De acuerdo con (Gruber, T.R., 1993), un *compromiso ontológico* es un acuerdo para utilizar un vocabulario en una forma que es consistente con respecto a la teoría especificada por una ontología.

Para Guarino, una *ontología de SI* es un artefacto de ingeniería, constituido por un vocabulario específico, utilizado para describir una cierta realidad, como plus cuenta con hipótesis explícitas con respecto al significado pensado del vocabulario de palabras (Guarino, N., 1998). Otra definición mejor aceptada por él es la siguiente: una *ontología* es una teoría lógica que da cuenta del *significado pensado* de un vocabulario formal. Esta definición refina a la propuesta por Gruber para hacer clara la diferencia entre una ontología y una conceptualización.

De acuerdo con los argumentos y definiciones anteriores, esto conlleva a la discusión del entendimiento de la ontología como una rama de la filosofía, y por otra la interpretación del término dentro de la comunidad de sistemas de información. Por lo tanto, se presentan algunos comentarios esenciales para entender estas diferencias y la transformación del término, dentro de estas dos disciplinas.

Cuando Guarino habla del sentido filosófico de una ontología, cita que es un sistema particular de categorías que dan cuenta de una cierta visión del mundo (Guarino, N., 1998). Como tal, agrega: “este sistema no depende de un lenguaje particular”, se puede aceptar esta caracterización si acordamos que la expresión “visión del mundo” es una mera *forma de hablar*⁸. En otras palabras, el significado de esta expresión no es literal; con mayor razón ésta no obtiene la noción de relatividad dentro de la definición, tal que presuposiciones de la visión del mundo son siempre relativas a los agentes.

Después de considerar las definiciones de Guarino y Gruber, con respecto a ontología en SI y en filosofía, entonces dos cosas son claras. Primero, el significado del término “ontología” en sistemas de información es distinto de su origen en filosofía. Segundo, la primera observación generalmente es conocida en el círculo de SI. Una solución propuesta por Guarino es que su definición de ontología filosófica es un sistema particular de categorías que dan cuenta para un significado pensado de un vocabulario formal. Además, Guarino reconoce que estos dos sentidos son diferentes; sin embargo, él cree que están relacionados el uno con el otro. Para solucionar esta terminología cita: “se necesita elegir uno de estos términos, inventar un nuevo nombre para el otro”, específicamente su solución es que el término “ontología” permanece como el nombre para una ontología tipo SI y el término “conceptualización” se utiliza para referirse a una ontología filosófica.

Gruber explica que en teoría, una conceptualización está compuesta por los objetos en algún área de interés y las relaciones entre éstos. Una investigación ontológica de este término apunta a describir la estructura del dominio de los objetos, siendo examinados, e incluyendo éstos y sus relaciones entre sí mismos. Gruber además explica que en un sentido práctico una conceptualización es una vista abstracta y simplificada del mundo, a lo cual ya hemos observado que una conceptualización es al menos un nivel de explicación removido del nivel descriptivo de explicación, donde la ontología filosófica reside. En otras palabras, la definición de conceptualización de Gruber no puede construirse haciendo referencias a una ontología filosófica.

Con respecto a la definición de conceptualización de Guarino, la cual dice: “la conceptualización es un conjunto de relaciones conceptuales definidas sobre un espacio de dominio”. Lo fundamental de esta definición es que Guarino presenta una forma de direccionar una consideración fundamental en las investigaciones de una ontología filosófica. Suponer por ejemplo, que el experto en construcción de ontologías está atareado

⁸ Traducción del francés *façon de parler*.

con el dominio de los objetos económicos, él presentará los objetos de este dominio, tales como bienes, precio, dinero y otros. Pero además avanzará en definiciones para cada categoría de objetos que especifican las condiciones del conjunto de miembros necesarias y suficientes para cada categoría. El significado juega un rol importante en esta investigación; puesto que la misma cosa puede tener dos diferentes extensiones, dependiendo del significado. Si tenemos un billete de dólar puede tener dos extensiones diferentes: una aplica a la categoría “dinero” (como un significado de intercambio) y la otra aplica a la categoría de “bien” (como una unidad de moneda en el mercado cambiario). En este sentido, el significado contextual es relevante.

El punto esencial es que la investigación no se refiere a la forma en cómo las personas conocen cosas en un ámbito particular, ni acerca de cómo la gente experimenta estas cosas, o qué lenguaje utilizan para referirse a éstos. En este sentido, esto concierne a la epistemología⁹ interpretada ampliamente para el conocimiento y la semántica. Lo importante de la ontología filosófica es descubrir qué existe en algún dominio de objetos para fomentar una definición para cada categoría de objetos basada en las relaciones existentes entre los mismos. Por ejemplo, “dinero” es el intercambio medio utilizado entre agentes y empleado para obtener la consumación de “bienes”. La relación entre “dinero” y “bienes” es capturada por la noción de intercambio que identifica a “intercambio” como otra categoría de objetos económicos.

Por lo tanto, es claro que dar cuenta de significados, sirve para clarificar las relaciones intensionales entre objetos en un espacio de dominio. Esto indica la razón fundamental de una conceptualización, en donde Guarino puntualiza que es importante negociar no solo con los objetos y las relaciones que sostienen entre sí éstos, sino además es importante considerar el vocabulario y los conceptos. Esta noción de conceptualización es rica y clara para las ontologías de SI; sin embargo, no existe un paralelismo con una ontología filosófica. Tal vez la más importante consideración que la ontología filosófica puede ofrecer, es el descubrimiento de ciertas verdades acerca del dominio de investigación, su naturaleza, su alcance, sus límites y la distinción con respecto de otros dominios relacionados.

⁹ Epistemología es el estudio de la producción y validación del conocimiento científico. Se ocupa de problemas tales como las circunstancias históricas, psicológicas y sociológicas que llevan a su obtención, y los criterios por los cuales se justifica o invalida. Este término se denomina también gnoseología o “teoría del conocimiento”, rama de la filosofía que se ocupa del conocimiento en general: el ordinario, el filosófico, el científico, etc. De hecho, la palabra inglesa "epistemology" se traduce al español como "gnoseología". Pero aquí consideraremos que la epistemología se restringe al conocimiento científico (www.wikipedia.org).

Por lo tanto, (Zuñiga, G.L., 2001) propone dos definiciones para una ontología en sistemas de información y de una conceptualización.

Una *ontología de sistemas de información* es una teoría axiomática realizada en forma explícita, por medio de un lenguaje formal específico. Esta ontología está diseñada para al menos una aplicación práctica y específica. Consecuentemente, ésta muestra la estructura de un dominio de objetos en particular y da cuenta de los significados pensados de un vocabulario y protocolos formales, los cuales son empleados por los agentes del dominio de investigación.

Una *conceptualización* es el universo de discurso en cada estado posible de negocios para un dominio particular de objetos (o espacio de dominio), en donde este dominio es el objetivo principal hacia una ontología de SI.

De igual forma, una *Ontología* (con “O” mayúscula) contrasta usualmente con la Epistemología, la cual negocia con la naturaleza de las fuentes de nuestro conocimiento¹⁰.

3.4 Ontología

Existen muchas definiciones de ontologías, las cuales han sido propuestas en diversos sentidos, tales como filosóficos, cognitivos y computacionales. De igual forma, este tipo de estructura de representación de conocimiento puede ser utilizada para soportar la transferencia, integración, reuso y compartir conocimiento representado formalmente entre sistemas de información. Por lo tanto, para cumplir estas tareas, es necesario definir un *vocabulario común*, en donde el conocimiento compartido pueda ser presentado mediante una especificación de un vocabulario representativo para un dominio de discurso compartido.

Existen muchos aspectos del problema de compartir conocimiento que no son considerados por ontologías, preguntas no consideradas incluyen cómo grupos de gente pueden influenciar consensos sobre conceptualizaciones comunes, y cómo los términos pueden estar bien definidos fuera de su contexto de uso. La utilidad de ontologías comunes como un mecanismo para “compartir” es una hipótesis y un área de interés para estudios colaborativos, tal como lo citan (Neches, R., Fikes, R.E., Finin, T., *et al.*, 1991; Patil, R.S.,

¹⁰ Esta definición de “epistemología” es tomada de (Nutter, J.T., 1987). En este sentido la comunidad filosófica prefiere utilizar el término “teoría del conocimiento”, lo que aquí se le denomina “epistemología”.

(Fikes, R.E., Patel-Schneider, P.F., *et al.*, 1992) en sus trabajos. De igual forma, Neches define a una *ontología* como un vocabulario acerca de un dominio, el cual involucra términos, relaciones y reglas de combinación para extender el vocabulario.

En este sentido, un cuerpo de conocimiento representado formalmente, está basado en una conceptualización: los objetos, conceptos y otras entidades que son supuestas a existir en algún área de interés y las relaciones que sostienen éstas (Genesereth, M.R. & Nilsson, N.J., 1987). Una conceptualización es una vista simplificada, abstracta del mundo que se desea representar para algún propósito. Cada base de conocimiento, sistema basado en conocimiento o agente de nivel de conocimiento es comprometido a una conceptualización explícita o implícita.

(Neches, R., Fikes, R.E., Finin, T., *et al.*, 1991) define a una ontología como “los términos básicos y relaciones que envuelven un vocabulario de un tópico de algún área, así como las reglas para combinar términos y relaciones que definen extensiones al vocabulario”. Por lo tanto, en (Corcho, O., Fernández-López, M. & Gómez-Pérez, A., 2003) se concluye que la definición de Neches identifica términos básicos y relaciones entre términos, describe reglas para combinar términos y proporciona las definiciones de tales términos y relaciones. Asimismo, para Corcho, *et al.*, en la definición de Neches, una ontología incluye no solo los términos que son definidos explícitamente, sino además el conocimiento que puede ser inferido de ésta.

De acuerdo con (Gruber, T.R., 1993), una ontología *es una especificación explícita de una conceptualización*. Este término es tomado de la filosofía, donde una ontología es una cuenta sistemática del ser o la existencia. Para sistemas inteligentes, qué “existe”; es decir lo que realmente puede ser representado. Cuando el conocimiento de un dominio está representado en un formalismo declarativo, el conjunto de objetos que pueden ser representados es llamado *dominio de discurso*. Este conjunto de objetos y las relaciones describibles entre sí, están representadas en el vocabulario, con el cual un programa basado en conocimiento define simplemente conocimiento. Además, se puede describir la ontología de un programa definiendo un conjunto de términos representativos. En una ontología, las definiciones asocian los nombres de las entidades en el universo de discurso (i.e. clases, relaciones, funciones u otros objetos) con texto humano legible, describiendo el significado de los nombres a través de su etiqueta, y axiomas formales que restringen la interpretación y el uso de términos bien formados. Formalmente, una ontología sería la

declaración de una teoría lógica¹¹ (Gruber, T.R., 1995). Adicionalmente, según Gruber una ontología debe incluir un vocabulario de términos y especificación de su significado¹², el cual impone una estructura del dominio y restringe las posibles interpretaciones.

En (Gruber, T.R., 1991a), se propone una definición orientada al vocabulario de ciertos términos (nombres de relaciones, funciones, objetos) definidos en una forma que puedan ser legibles para el humano como para las máquinas, por medio de Ontolingua¹³. En este caso, una ontología en conjunto con un núcleo sintáctico y con la semántica, proporciona el lenguaje con el cual sistemas basados en conocimiento pueden interoperar en un nivel de conocimiento: intercambio de aseveraciones, consultas y respuestas. Asimismo, una ontología permite a un grupo de programadores de sistemas basados en conocimiento, acordar sobre el significado de algunos términos, de los cuales un número infinito de aseveraciones y consultas pueden ser formuladas. Aunque se debe tener en cuenta que el uso de ontologías no es suficiente para garantizar el compartir conocimiento, pero al menos éste es un mecanismo de habilitación.

De acuerdo con (Gruber, T.R., 1995), una ontología debe estar compuesta por los siguientes elementos:

- **Conceptos.** Son las ideas básicas reflejadas en términos que se intentan formalizar. Los conceptos pueden ser clases de objetos, métodos, planes, estrategias, procesos de razonamiento, etc.
- **Relaciones.** Éstas representan la interacción y enlace entre los conceptos de un dominio. Suelen formar la taxonomía del dominio. Por ejemplo: *subclase-de*, *parte-de*, *parte-exhaustiva-de*, *conectado-a*, etc.
- **Funciones.** Son un tipo concreto de relación donde se identifica un elemento mediante el cálculo de una función que considera varios elementos de la ontología. Por ejemplo, pueden aparecer funciones como: *asignar-fecha*, *categorizar-clase*, etc.

¹¹ Las ontologías son frecuentemente comparadas como jerarquías taxonómicas de clases, pero las definiciones de clases y las relaciones presentes, en una ontología no deben estar limitadas a estas formas. En adición, las ontologías no están limitadas a *definiciones conservadoras*; es decir, las definiciones en lógica tradicional solo introducen una terminología y no necesitan agregar ningún tipo de conocimiento acerca del mundo (Enderton, H.B., 1972). En este caso, para especificar una conceptualización se necesitan plantear axiomas que realicen restricciones de posibles interpretaciones para los términos definidos.

¹² El significado se refiere a las definiciones e interrelaciones entre los conceptos.

¹³ Ontolingua es un software realizado por el Knowledge Software Laboratory (KSL) de la Universidad de Stanford. Esta herramienta provee diversos tipos de servicios a través de Internet, los cuales sirven para crear, modificar y utilizar ontologías.

- **Instancias.** Se utilizan para representar objetos determinados de un concepto.
- **Reglas de restricción o axiomas.** Son teoremas que se declaran sobre relaciones que deben cumplir los elementos de la ontología. Por ejemplo: “Si *A* y *B* son de la clase *C*, entonces *A* no es subclase de *B*”, “Para toda *A* que cumpla la condición *B*, *A* es *C*”, etc. Los axiomas junto con la herencia de conceptos, permiten *inferir conocimiento* que no esté indicado explícitamente en la taxonomía de conceptos.

La definición de Gruber, sirvió de base para otros trabajos, tal es el caso de (Borst, W.N., 1997) quien define a una ontología como “una especificación formal de una conceptualización compartida”, agregando a la definición de Gruber el término de “compartida”. Sin embargo, (Studer, R., Benjamins, V.R. & Fensel, D., 1998) han tratado de describir estas definiciones de la siguiente forma: el término *conceptualización* se refiere a un modelo abstracto de algún fenómeno en el mundo, teniendo identificados los conceptos relevantes de ese fenómeno. *Explícita* significa que el tipo de conceptos utilizados y las restricciones (*constraints*) sobre su uso son definidos en forma precisa. *Formal* se refiere al factor de que una ontología debe poder ser leída por una máquina, por medio de un lenguaje que describa un vocabulario. El término de *compartida* refleja la noción de que una ontología captura el conocimiento consensuado de un grupo de personas.

El término “*ontology-driven information systems*”¹⁴ (ODGIS) fue creado por (Guarino, N., 1998), en donde utiliza el término genérico de “*sistema de información*” en un sentido muy amplio para referirse a diversos campos y aplicaciones que pueden utilizar ontologías, principalmente en las áreas de Inteligencia Artificial, Lingüística Computacional y Teoría de Bases de Datos.

(Guarino, N. & Giaretta, P., 1995) propone un conjunto de definiciones de ontologías con el objeto de hacer un análisis de la definición de Gruber; así como un intento de clarificar el término.

- I. Ontología como una disciplina filosófica.
- II. Ontología como un sistema conceptual informal.
- III. Ontología como una cuenta semántica formal.
- IV. Ontología como una especificación de una “conceptualización”.

¹⁴ Por sus siglas en inglés: Ontology-driven information systems (ODGIS).

- V. Ontología como una representación de un sistema conceptual vía una teoría lógica.
 - a. Caracterizada por propiedades formales específicas.
 - b. Caracterizada solo por sus propósitos específicos.
- VI. Ontología como el vocabulario utilizado por una teoría lógica.
- VII. Ontología como una especificación (meta-nivel) de una teoría lógica.

Con respecto a la interpretación (I), ésta es radicalmente diferente de las otras. De igual forma, las interpretaciones (II) y (III) conciben a una ontología como una entidad conceptual “semántica”, formal e informal. Interpretaciones de la (V) a la (VII) consideran a una ontología como un objeto “sintáctico” específico. La interpretación (IV) ha sido propuesta como una definición de ontología para la comunidad de IA (Gruber, T.R., 1993; Gruber, T.R., 1995). Esta definición puede ser clasificada como “sintáctica”, pero su significado preciso depende del entendimiento de los términos de “especificación” y “conceptualización”. De acuerdo con la interpretación (II), una ontología es un sistema conceptual (no especificado) que se fundamenta por medio de una base de conocimiento. Bajo la interpretación (III) la ontología es el fundamento de una base de conocimiento, la cual es expresada en términos de estructuras formales adaptables en el nivel semántico, tal como se describe en (Guarino, N., Carrara, M. & Giaretta, P., 1994; Van der Vet, P.E., Speel, P.H. & Mars, N.J.I., 1995).

En la interpretación (V), una ontología es una teoría lógica o axiomática. En este sentido una teoría necesita tener propiedades formales particulares para conformar una ontología. De acuerdo con la interpretación (VI), una ontología no es vista como una teoría lógica, sino solo como el vocabulario utilizado por una teoría lógica. Tal interpretación colapsa con la noción (V.a), si una ontología es pensada como una especificación de un vocabulario, ésta consiste de un conjunto de definiciones lógicas. Entonces, se puede anticipar que la interpretación (IV) colapsa con la (V.a) también, cuando una conceptualización es pensada como un vocabulario.

Finalmente, en la interpretación (VII), una ontología es vista como una especificación (meta-nivel) de una teoría lógica, en el sentido que ésta especifica los *componentes arquitecturales* (o *primitivas*) utilizados dentro de una teoría de dominio particular.

3.4.1 Diversas definiciones de ontología

Existen diversas definiciones del término ontología en el estado del arte, las cuales se describen a continuación. Adicionalmente, se lleva a cabo un análisis de contenido semántico de cada una de ellas.

De acuerdo con (Wielinga, B.J. & Schreiber, A.T., 1993), una *ontología* en inteligencia artificial es una teoría de las entidades que pueden existir en la mente de un agente bien informado.

Esta definición relaciona el compromiso ontológico con una teoría de entidades, sin embargo la definición es algo débil, puesto que si se quiere no solo dar cuenta de lo que existe, sino además dar cuenta de la *estructura* de qué existe realmente, es imposible deducirlo. Esta estructura se denota por el lenguaje utilizado.

(Alberts, L.K., 1993) define una *ontología* para un cuerpo de conocimiento concerniente a una tarea o dominio particular que describe una taxonomía de conceptos para que la tarea o dominio defina la interpretación semántica del conocimiento.

Esta definición es más problemática, aunque el autor observa en forma apropiada la interpretación semántica de los términos de un dominio que componen a una ontología. La distinción entre conocimiento de dominio y ontología de dominio no captura realmente el contexto de una ontología, ya que ésta es mucho más que una taxonomía de conceptos; puesto que debe involucrar restricciones particulares e interrelaciones entre los conceptos.

Unificando las definiciones anteriores, (Van Heijst, G., Schreiber, A.T. & Wielinga, B.J., 1996) proponen que una *ontología* es una especificación de nivel de conocimiento de una conceptualización, la cual puede ser afectada por el dominio y tarea particular en donde fue pensada.

En esta definición, se clarifica ligeramente la definición de Gruber (bajo la aseveración de la correcta interpretación de “conceptualización”), recalando que las ontologías pertenecen al nivel de conocimiento y que éstas pueden depender de puntos de vista particulares. Sin embargo, el grado de tal dependencia puede determinar la reusabilidad y por lo tanto el valor de una ontología.

Otra definición propuesta por (Gruber, T.R., 1995) en un mensaje a la lista SRKB (Shared Reusable Knowledge Bases – por sus siglas en inglés) y reportada en el trabajo de (Uschold, M. & Gruninger, M., 1996), la cual dice lo siguiente: una *ontología* es un acuerdo acerca de conceptualizaciones *compartidas*. Las conceptualizaciones compartidas incluyen estructuras conceptuales para modelar el conocimiento de dominio, protocolos de contenido específico para la comunicación entre agentes interoperando y acuerdos acerca de la representación de teorías de dominio particulares. En el contexto de compartir conocimiento, las ontologías son especificadas en la forma de definiciones o vocabulario de representación. Un caso muy simple sería una jerarquía tipo, especificando clases y sus relaciones. Un esquema de base de datos abastece a las ontologías especificando las relaciones que pueden existir en alguna base de datos compartida; así como las reglas de integridad que deben mantener entre éstos.

En esta definición Gruber, ya cita que las ontologías y las conceptualizaciones deben ser cosas distintas. En este caso, una ontología no es una *especificación* de una conceptualización, pero un acuerdo (posiblemente incompleto) *acerca* de ésta. Por lo tanto, se pueden tener diferentes grados de detalle en este acuerdo, dependiendo del propósito de la ontología.

(Guarino, N. & Giaretta, P., 1995) citan que una *ontología* es una forma explícita de dar cuenta de una conceptualización. Esta definición depende sin embargo de la noción de conceptualización en una descripción formal. No obstante, para clarificar esta definición se propone que una *ontología* es una teoría lógica que restringe los modelos pensados de un lenguaje lógico.

Estas últimas definiciones se refieren al conjunto de símbolos (predicados y funciones) de un lenguaje lógico (lo que usualmente se denomina *firma* del lenguaje) utilizado como “primitivas” para el propósito de una representación particular. Un ejemplo de firma es el conjunto de símbolos utilizado por Genesereth y Nilsson para denotar lo que ellos llaman conceptualización {*on, above, clear, table*}. Una ontología en este caso proporcionaría axiomas que restringen el significado de estos predicados, tales como $\neg_{on}(X, X)$.

Finalmente, la definición propuesta por (Schreiber, G., Wielinga, B. & Jansweijer, W., 1995) dice que una *ontología* es una especificación parcial, explícita de una conceptualización que es expresable como el punto de vista de un meta nivel sobre un

conjunto de posibles teorías de dominio para el propósito del diseño modular rediseño y reuso del componente de sistema de conocimiento intensivo.

Esta definición es compatible con la de Gruber, y se considera como una descripción a un meta nivel de una representación de conocimiento. Sin embargo, introduce una fuente de confusión, debido al hecho de que la “vista de meta nivel” es considerada por los autores como *intrínseca* a su noción de ontología. En este caso, las ontologías pueden ser meta niveles o no, dependiendo de la naturaleza de sus dominios. Los dominios propuestos estarían constituidos por tipos de expresiones permitidas en un formalismo de representación de conocimiento. Además esta teoría de meta nivel puede ser concebida también como una teoría lógica.

3.4.2 Análisis crítico de la definición de Gruber

Con respecto a la interpretación (IV) adoptada por Gruber, el problema principal con esta definición es que está basada en la noción de conceptualización introducida por (Genesereth, M.R., Michael, R. & Nilsson, N.J., 1987), la cual no se adapta con lo que propone (Guarino, N., Carrara, M. & Giaretta, P., 1994). De acuerdo con Genesereth, una conceptualización es un conjunto de *relaciones extensionales* que describen un *estado de negocio* particular.

(Cocchiarella, N.B., 1991) definió el término “Ontología Formal” como *el desarrollo sistemático, formal y axiomático de la lógica de todas las formas y modelos del ser*. En la práctica la Ontología Formal puede estar pensada como la teoría de las distinciones, las cuales se aplican independientemente del estado del mundo. Por ejemplo:

- Entre las entidades del mundo (objetos físicos, eventos, regiones, cantidades de cosas, etc.).
- Entre categorías de meta-nivel utilizadas para modelar el mundo (concepto, propiedad, calidad, estado, rol, parte, etc.).

En este sentido, la Ontología Formal, como una disciplina puede ser relevante en la representación y adquisición de conocimiento (Guarino, N., 1997).

Guarino utiliza el término *conceptualización* para denotar una *estructura semántica*, la cual refleje un sistema conceptual en particular; esto de acuerdo con la interpretación (III) y una *teoría ontológica* para denotar una teoría lógica pensada para expresar conocimiento ontológico (interpretación (V)). La intuición fundamental es que las *teorías ontológicas* son diseñadas por artefactos, bases de conocimiento de un tipo especial, con lo cual pueden ser leídas o compartidas físicamente. Las *conceptualizaciones* son contrapartes de las teorías ontológicas. La misma teoría ontológica puede encargarse de diferentes conceptualizaciones; así como la misma conceptualización puede ser la razón fundamental para diferentes teorías ontológicas.

De esta forma, el uso del término ontología, relacionado a una teoría ontológica, es compatible con: (1) ingeniería ontológica es una rama de la ingeniería del conocimiento, la cual utiliza Ontología para construir ontologías; (2) Las ontologías son tipos especiales de bases de conocimiento; (3) Cualquier ontología tiene su conceptualización fundamental; (4) La misma conceptualización puede dar razón a diferentes ontologías, y (5) Dos bases de conocimiento diferentes pueden encargarse de comprometer o contener la misma ontología.

El problema con la definición de Gruber, es que ésta depende de una noción extensional de “conceptualización”, la cual mientras es compatible con la caracterización preliminar dada anteriormente, no encaja con los propósitos de la interpretación (VII).

Considerando el ejemplo dado por Genesereth, en éste se toma en cuenta una situación, donde 2 pilas de bloques se encuentran reposando sobre una mesa (ver Figura 3.2).

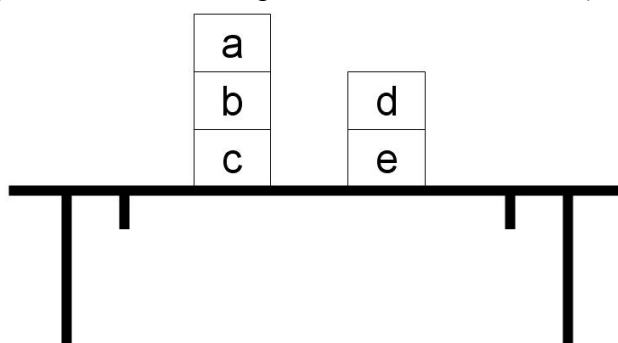


Figura 3.2. Bloque sobre una mesa

De acuerdo con (Genesereth, M.R., Michael, R. & Nilsson, N.J., 1987), una posible conceptualización de esta escena está dada por la siguiente estructura:

$$\langle \{a, b, c, d, e\}, \{on, above, clear, table\} \rangle \quad (1)$$

Donde $\{a, b, c, d, e\}$ es un conjunto llamado universo de discurso, que consiste de cinco bloques; y $\{on, above, clear, table\}$ es el conjunto de relaciones relevantes entre estos bloques, de los cuales las primeras, “*on*” y “*above*” son binarias y las otras dos, “*clear*” y “*table*” son unarias. Genesereth indica que los objetos y las relaciones son *entidades extensionales*. Por ejemplo, la relación “*table*”, la cual se entiende a medida que sostiene un bloque, sí y solo sí ese bloque está reposando sobre la mesa, tal es el caso del conjunto $\{c, e\}$. Esto exactamente es así una interpretación extensional, lo cual origina problemas.

En este caso Genesereth utilizó términos del lenguaje natural (tales como *on* y *above*) en el metalenguaje elegido para describir una conceptualización. En términos lingüísticos transmitir información esencial para entender los criterios utilizados que consideren algunos conjuntos de tuplas como relaciones *relevantes*. Tal que información extra no puede ser incluida por la conceptualización en sí misma. Refiriéndose al ejemplo dado, si se considera un arreglo diferente de los bloques donde *c* está en la cima de *d*, mientras *a* y *b* juntos forman una pila separada colocada sobre la mesa (ver Figura 3.3).

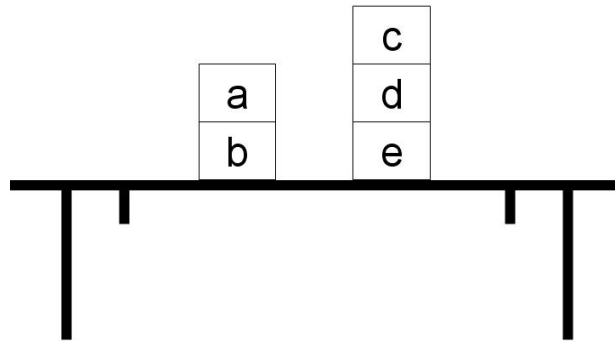


Figura 3.3. Un arreglo de bloques diferente. ¿Es ésta una conceptualización diferente?

La estructura correspondiente sería diferente de la previa, generando por lo tanto una conceptualización diferente. Los significados de los términos utilizados para denotar relaciones relevantes son ya los mismos; puesto que éstos son *invariantes* con respecto a las configuraciones posibles de los bloques. De hecho, en el metalenguaje adoptado en sus bloques, Genesereth usaría los mismos términos (*on*, *above*, *clear*, *table*). En este caso, Guarino prefiere decir que los *estados de eventos* son diferentes, pero la conceptualización es la misma. La estructura de Genesereth parece ser más apta para representar un *estado de eventos* en lugar de una conceptualización.

Para capturar tales intuiciones, la estructura formal utilizada para una conceptualización debe ser algo que de cuenta de su *significado*. Como en la literatura lógico-filosófica, cita que un significado no puede coincidir con una relación extensional. Si se utiliza una estructura teórica de conjuntos, una forma estándar para aproximar tal significado es concebir éste como una *intención (relación intensional)*, tomando como inspiración la *semántica de Montague*¹⁵. Esto significa que una relación extensional única es siempre relativa a un mundo¹⁶ posible. Como análisis de la definición de Gruber, se pueden definir tres sentidos esenciales:

a) Una “ontología” es un sinónimo de “teoría ontológica”. En este caso las definiciones (I) – (IV), con respecto al uso del término ontología, relacionado a una teoría ontológica, tienen una interpretación única; mientras que la definición (V) significa que las dos bases de conocimiento pueden tener una subteoría común, con lo cual es una teoría ontológica. Esta elección es consistente con la definición (V). En este caso, una teoría ontológica difiere de una teoría lógica arbitraria (o base de conocimiento) por su semántica; puesto que sus axiomas deben ser verdaderos en cada mundo posible de la conceptualización fundamental. Esto significa que mientras una teoría lógica arbitraria (contiene por ejemplo una sentencia como $manzana(a) \vee pera(a)$, expresan incertidumbre con respecto al objeto a) puede representar un estado particular y una teoría ontológica puede ser solo utilizada para representar conocimiento común independiente de estados únicos. Debido a esto, las diferencias formales entre una teoría ontológica y una teoría lógica arbitraria se ven reflejadas en la interpretación de la definición (V.b) y ésta es descartada a favor de la (V.a).

b) Una “ontología” es un sinónimo de “una especificación de un compromiso ontológico”. Ésta es ya consistente con la definición (V.a). En este caso, las definiciones (I) – (IV) ya obtienen un significado único, mientras que la definición (V) no tiene sentido y debe sustituirse por: “el compromiso ontológico de dos bases de conocimiento diferentes puede especificarse por la misma teoría”.

c) Una “ontología” es sinónimo de “conceptualización”. Esto es consistente con la definición (III). En este caso, las definiciones (I) – (IV) no tienen sentido, mientras la ocurrencia de “ontología” es la definición (V); en donde se obtiene una interpretación

¹⁵ Es una técnica de lenguaje natural, la cual está basada en una lógica formal, especialmente por el cálculo lambda y la teoría de conjuntos. Además hace uso de las nociones de lógica intensional y de teoría tipo. Richard Montague fue el pionero en trabajar con estos términos.

¹⁶ Se puede pensar como mundos posibles a diversos estados de eventos.

semántica. En este caso la definición (V) es equivalente a “dos bases de conocimiento diferentes pueden tener la misma conceptualización”.

De acuerdo con la definición de ontología de Gruber, el sentido c) es incompatible con tal definición. De igual forma, a) y b) no pueden considerarse como una especificación de una conceptualización, por lo tanto la definición de Gruber no aplica. Si se quiere mantener la intuición original, debemos entonces aminorar la definición de Gruber, afirmando que una ontología es solo una “*cuenta parcial de una conceptualización*”. Esto deja espacio para los sentidos a) y b) y se puede decir que el *grado de especificación* de la conceptualización que da razón a que el lenguaje utilizado por una base de conocimiento varíe en dependencia de los propósitos: una ontología del tipo b) obtiene específicamente una conceptualización pensada más cerrada (y puede utilizarse para establecer consensos acerca de la utilidad de compartir una base de conocimiento particular), pero ésta paga el precio de un lenguaje más rico. Una ontología del tipo a) es desarrollada con inferencias particulares, diseñada para ser compartida entre usuarios que ya acordaron la conceptualización fundamental.

3.4.3 Aplicaciones y características de las ontologías

Las posibles aplicaciones y usos de ontologías pueden ser las siguientes:

- Repositorios para la organización del conocimiento.
- Herramientas para la adquisición de información.
- Herramientas de referencia en la construcción de sistemas de bases de conocimiento que aporten consistencia, fiabilidad y falta de ambigüedad a la hora de recuperar información.
- Normalización de los atributos de los metadatos aplicables a los documentos.
- Generación de una red de relaciones que aporte especificación y fiabilidad para compartir conocimiento.
- Posibilitar el trabajo cooperativo al funcionar como soporte común de conocimiento entre organizaciones, comunidades científicas, etc.
- Integración de diferentes perspectivas de usuarios, de fuentes de datos y de bases de datos heterogéneas.
- Tratamiento ponderado del conocimiento para recuperar información de forma automatizada.
- Construcción automatizada de mapas conceptuales y mapas temáticos.

- Reutilización del conocimiento existente en nuevos sistemas.
- Interoperabilidad entre diversos sistemas.
- Modelos normativos que permitan la creación de la semántica de un sistema y un modelo para poder extenderlo y transformarlo entre diferentes contextos.
- Preceder las bases para la construcción de lenguajes de representación del conocimiento.
- Solucionar problemas de heterogeneidad semántica.

Algunas características de las ontologías pueden resumirse a continuación:

- *Pueden existir ontologías múltiples:* si el propósito de una ontología es hacer explícito algún punto de vista. En algunos casos, necesitamos combinar dos o más ontologías. Cada ontología introduce conceptualizaciones específicas.
- *Pueden identificar distintos niveles de abstracción, estableciendo una topología¹⁷ de ontologías:* se puede caracterizar una red de ontologías usando multiplicidad y abstracción. Al no poder realizar una descripción completa del mundo, se puede pensar en una estrategia de construcción gradual que vaya de abajo hacia arriba.
- *Multiplicidad de la representación:* un concepto puede ser representado de muchas formas, por lo que pueden coexistir múltiples representaciones del mismo concepto.
- *Mapeo de ontologías:* se pueden establecer las relaciones entre los elementos de una o más ontologías para establecer generalizaciones, especializaciones, conexiones, etc.

El término ontología en ciencias de la computación hace referencia al intento de formular un exhaustivo y riguroso *esquema conceptual* dentro de un dominio dado, con la finalidad de facilitar la comunicación y compartir la información entre diferentes sistemas.

Las ontologías se están empleando en todo tipo de aplicaciones computacionales en las que sea necesario definir concretamente el conjunto de *entidades relevantes* en el campo de aplicación o dominio determinado, así como las interacciones entre las mismas.

¹⁷ El término topología se refiere al arreglo de ontologías, físicamente cómo se encuentran contruidos sus arreglos con conceptos y cómo se describen sus relaciones.

3.5 Formalización del término conceptualización

En un sentido filosófico, podemos referirnos a una ontología como un sistema particular de categorías que dan cuenta para una visión específica del mundo. Como tal, este sistema no depende de un *lenguaje* particular. Por otro lado, en inteligencia artificial una ontología se refiere a un *artefacto de ingeniería*, constituido por un *vocabulario* específico que se utiliza para describir una determinada realidad, además de contar con un conjunto de suposiciones explícitas con respecto al *significado pensado* del vocabulario de palabras. Este conjunto de suposiciones tienen usualmente la forma de una teoría¹⁸ lógica de primer orden, donde el vocabulario de palabras aparece como nombres de predicados unarios o binarios, respectivamente llamados *conceptos* y *relaciones*. En el caso más simple, una ontología describe una jerarquía de conceptos enlazados por relaciones inclusivas; en casos más sofisticados los axiomas apropiados son agregados para expresar otras relaciones entre conceptos y restringir su interpretación pensada.

El término de *conceptualización* requiere de una formalización más adecuada, puesto que ésta puede generar algunas confusiones. Este término es definido como una estructura $\langle D, R \rangle$, donde D es un dominio y R es un conjunto de *relaciones relevantes* sobre D . Esta definición ha sido utilizada por Gruber en su definición de ontología. En (Guarino, N. & Giarretta, P., 1995) se argumenta que para que ésta tenga algún sentido, una cuenta *intensional* diferente tiene que ser introducida.

El problema de la noción de conceptualización de (Genesereth, M.R. & Nilsson, N.J., 1987) es que ésta se refiere a relaciones matemáticas ordinarias sobre D , i.e., relaciones *extensionales*. Estas relaciones reflejan un *estado particular de eventos*. Por ejemplo, en el mundo de los bloques, éstos pueden reflejar un arreglo particular de bloques sobre la mesa. Se necesita, en lugar de enfocarse en el *significado* de estas relaciones, independientemente de un estado de eventos. Por ejemplo: el significado de la relación “arriba” se sitúa en la forma que éste se refiere a determinados pares de bloques, de acuerdo con su arreglo espacial. Por lo tanto, es necesario definir relaciones *intensionales*, las cuales pueden llamarse *relaciones conceptuales*, reservando el término simple de “relación” a relaciones matemáticas ordinarias.

¹⁸ En este caso, una ontología algunas veces es llamada una ontología formal; aunque se debe utilizar la expresión “ontología formal” solo para referirse a un campo de investigación filosófico.

Una forma estándar para representar intensiones (por lo tanto relaciones conceptuales), es ver a éstas como funciones de posibles mundos dentro de conjuntos. Mientras las relaciones ordinarias son ordenadas sobre un cierto dominio, las relaciones conceptuales están definidas en un *espacio de dominio*. En este sentido, es necesario definir un espacio de dominio como una estructura $\langle D, W \rangle$, donde D es un dominio y W es un conjunto de estados máximos de eventos de tal dominio (además llamado *mundos posibles*).

Por ejemplo, D puede ser un conjunto de bloques sobre una mesa y W puede ser el conjunto de todos los posibles arreglos que pueden tener estos bloques. Dado un espacio de dominio $\langle D, W \rangle$, se debe definir una relación conceptual ρ^n de aridad n sobre $\langle D, W \rangle$ como una función total $\rho^n : W \rightarrow 2^{D^n}$ desde W , dentro del conjunto de todas las relaciones n -arias (ordinarias) sobre D . Para una relación conceptual genérica ρ , el conjunto $E\rho = \{\rho(w) \mid w \in W\}$ contendrá las *extensiones admitibles* de ρ . Una conceptualización para D puede ser ahora definida como una tripleta ordenada de la siguiente forma: $C = \langle D, W, \mathfrak{R} \rangle$, en donde \mathfrak{R} es un conjunto de relaciones conceptuales sobre el espacio de dominio $\langle D, W \rangle$. Por lo tanto, se puede decir que una conceptualización es un *conjunto de relaciones conceptuales definidas sobre un espacio de dominio* (Guarino, N., 1998).

Si ahora se considera la estructura $\langle D, R \rangle$ introducida por (Genesereth, M.R. & Nilsson, N.J., 1987). Ésta se refiere a un mundo particular (o estado de eventos), a lo que se le denomina *estructura del mundo*. Por lo tanto, es sencillo observar que una conceptualización contiene muchas estructuras de mundos, una de estructura para cada mundo. A esto se le denomina *estructuras de mundos pensados*, de acuerdo con tal conceptualización.

Sea $C = \langle D, W, \mathfrak{R} \rangle$ una conceptualización. Para cada mundo posible $w \in W$, la estructura pensada de w , de acuerdo con C es la estructura $S_{wC} = \langle D, R_{wC} \rangle$, en donde $R_{wC} = \{\rho(w) \mid \rho \in \mathfrak{R}\}$ es el conjunto de extensiones (relativo a w) de los elementos de \mathfrak{R} . Por lo tanto, se debe denotar con S_c el conjunto $\{S_{wC} \mid w \in W\}$ en todas las estructuras de mundos pensados de C .

Considerando además un lenguaje lógico L , con un vocabulario V . Entonces, es posible definir un *modelo* para L como una estructura $\langle S, I \rangle$, donde $S = \langle D, R \rangle$ es una estructura de mundo e $I : V \rightarrow D \cup R$ es una función de interpretación que asigna elementos

de D a símbolos constantes de V , y elementos de \mathbf{R} símbolos de predicado de V . Por lo tanto, un modelo repara una interpretación *extensional* del lenguaje. Análogamente, se puede arreglar una interpretación *intensional* por medio de una estructura $\langle \mathbf{C}, \mathfrak{I} \rangle$, donde $\mathbf{C} = \langle D, W, \mathfrak{R} \rangle$ es una conceptualización y $\mathfrak{I}: V \rightarrow D \cup \mathfrak{R}$ es una función que asigna elementos de D símbolos constantes de V , y elementos de \mathfrak{R} a símbolos de predicados de V , a este tipo de interpretación intensional se le denomina *compromiso ontológico* para L . Si $\mathbf{K} = \langle \mathbf{C}, \mathfrak{I} \rangle$ es un compromiso ontológico para L , se dice que L compromete a \mathbf{C} por medio de \mathbf{K} , mientras \mathbf{C} es la conceptualización fundamental de \mathbf{K} ¹⁹.

Dado un lenguaje L con un vocabulario V , y además un compromiso ontológico $\mathbf{K} = \langle \mathbf{C}, \mathfrak{I} \rangle$ para L , un modelo $\langle \mathbf{S}, I \rangle$ será *compatible* con \mathbf{K} si:

- A. $\mathbf{S} \in \mathbf{S}_c$
- B. Para cada constante c , $I(c) = \mathfrak{I}(c)$
- C. Existe un mundo w tal que para cada símbolo de predicado p , I mapea tal predicado dentro de una extensión admisible de $\mathfrak{I}(p)$, por ejemplo existe una relación conceptual ρ tal que $\mathfrak{I}(p) = \rho \wedge \rho(w) = I(p)$. El conjunto \mathbf{I}_K de todos los modelos de L que son compatibles con \mathbf{K} serán llamados el conjunto de *modelos pensados* de L de acuerdo con \mathbf{K} (Guarino, N., 1998).

Para (Quine, W.V., 1953), el estudio de los *compromisos ontológicos* debe ser lo más importante y fundamental al momento de generar ontologías; es decir, para determinar cuales son los compromisos ontológicos de una teoría científica es necesario determinar los valores de variables cuantificadas utilizadas en las formalizaciones canónicas de las teorías.

En general, no hay forma de reconstruir el compromiso ontológico de un lenguaje, a partir de un conjunto de modelos pensados; puesto que un modelo no refleja necesariamente un mundo particular. De hecho, tales relaciones relevantes que se consideran no pueden ser suficientes para caracterizar completamente un estado de eventos, un modelo actualmente puede describir una situación común para muchos estados de eventos.

¹⁹ La expresión “compromiso ontológico” algunas veces ha sido utilizada para denotar el resultado del compromiso por sí mismo. i.e., en esta terminología, la conceptualización fundamental.

Esto significa que es posible reconstruir la correspondencia entre mundos y relaciones extensionales establecidas por la conceptualización fundamental. Un conjunto de modelos pensados, son por lo tanto, una caracterización *débil* de una conceptualización. Ésta solo excluye algunas interpretaciones absurdas, sin describir realmente el “significado” del vocabulario.

3.6 Formalización del término ontología

De acuerdo con la definición formal de *conceptualización*, entonces ahora es posible clarificar el rol de una *ontología*, la cual es considerada como un conjunto de axiomas lógicos diseñados para dar cuenta del significado pensado de un vocabulario.

Dado un lenguaje L con un compromiso ontológico K , una ontología para L es un conjunto de axiomas diseñados en tal forma que, el conjunto de sus modelos aproxima lo mejor posible el conjunto de modelos pensados de L , de acuerdo con K (ver Figura 3.4).

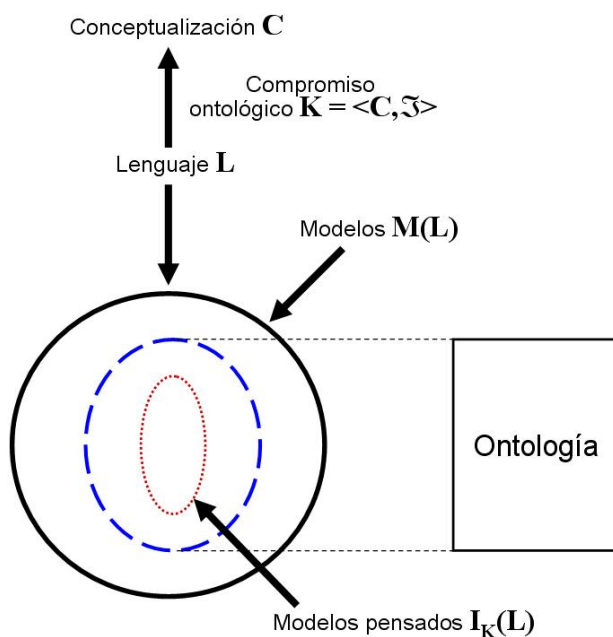


Figura 3.4. Los modelos pensados de un lenguaje reflejan su compromiso a una conceptualización. Una ontología refleja indirectamente este compromiso (y la conceptualización fundamental) aproximando este conjunto de modelos pensados (Guarino, N., 1998)

En general, no es fácil (ni siempre conveniente) encontrar el conjunto de axiomas correctos, para que una ontología pueda “especificar” una conceptualización; solo en una forma muy indirecta, puesto que:

- Éste puede solo aproximarse a un conjunto de modelos pensados.
- Un conjunto de modelos pensados es solo una caracterización débil de una conceptualización.

Entonces, se puede decir que una ontología **O** para un lenguaje **L** aproxima una conceptualización **C**, si existe un compromiso ontológico $\mathbf{K} = \langle \mathbf{C}, \mathfrak{S} \rangle$, tal que los modelos pensados de **L** de acuerdo con **K** están incluidos en los modelos de **O**. Una ontología compromete a **C**, si:

- (1) Ésta ha sido diseñada con el propósito de caracterizar **C**, y
- (2) Ésta aproxima **C**.

Un lenguaje **L** compromete a una ontología **O** si éste compromete para alguna conceptualización **C** tal que **O** está de acuerdo con **C**. Con estas aclaraciones, es posible refinar la definición de Gruber, haciendo clara la diferencia entre una ontología y una conceptualización.

Una *ontología* por lo tanto, es una teoría lógica que da cuenta de los significados pensados de un vocabulario²⁰ formal. Por ejemplo, su *compromiso ontológico* a una *conceptualización* particular del mundo. Los modelos pensados de un lenguaje lógico que utilizan un vocabulario son restringidos por su compromiso ontológico. Una ontología refleja indirectamente este compromiso (y la conceptualización fundamental) aproximando estos modelos pensados (Guarino, N., 1998).

Las relaciones entre el vocabulario, la conceptualización, el compromiso ontológico y la ontología se muestran en la Figura 3.4. Es importante recalcar que una ontología es un *lenguaje dependiente*, mientras una conceptualización es un *lenguaje independiente*. En resumen, se pueden concretar las siguientes definiciones:

Conceptualización.- Una estructura semántica intensional que codifica las reglas implícitas, restringiendo la estructura de una pieza de la realidad.

Ontología Formal.- Es el desarrollo sistemático, formal y axiomático de la lógica de todas las formas y modos del ser.

²⁰ No necesariamente este vocabulario formal es parte de un lenguaje lógico. Por ejemplo, éste puede ser un protocolo de comunicación entre agentes.

Compromiso ontológico.- Una cuenta semántica parcial de la conceptualización pensada de una teoría lógica.

Ingeniería ontológica.- Es la rama de la ingeniería del conocimiento que explota los principios de Ontología formal para construir ontologías.

Teoría ontológica.- Es un conjunto de fórmulas pensadas para ser siempre verdaderas, de acuerdo con una determinada conceptualización.

Ontología.- (Con “O” mayúscula) Es la rama de la filosofía que negocia con la naturaleza y la organización de la realidad.

Ontología.- (Con “o” minúscula) es una teoría lógica que da una cuenta explícita y parcial de una conceptualización.

3.7 Tipos de ontologías

De acuerdo con las definiciones anteriores, una ontología solo da cuenta indirectamente para una conceptualización. Por lo tanto, las ontologías se pueden clasificar de acuerdo con su *precisión* en la caracterización de la conceptualización a la que ellos comprometen. Existen dos formas para que una ontología pueda obtener la mayor cercanía a una conceptualización:

- (1) Desarrollando una axiomatización muy rica.
- (2) Adoptando un dominio muy rico o un conjunto de relaciones conceptuales relevantes.

En el primer caso, la distancia entre el conjunto de modelos de ontología y el conjunto de modelos pensados es reducida. En el segundo, es posible – al menos en principio – incluir en el conjunto de relaciones conceptuales relevantes (algunas de) estas relaciones que caracterizan un estado del mundo, extendiendo al mismo tiempo el dominio para incluir las entidades involucradas por tales relaciones.

Por ejemplo, en el caso del mundo de los bloques, se puede considerar la localización espacial de los bloques como una relación conceptual relevante, incluyendo por lo tanto localizaciones en el dominio y considerando una relación como $on(x, y)$ completamente derivable de las localizaciones de x y y . Cuando cada modelo lleva la información concerniente al estado del mundo, ésta se refiere a la conceptualización fundamental, la cual puede ser reconstruida a partir del conjunto de sus modelos pensados. En este caso, si una ontología es axiomatizada, en tal forma que tiene exactamente los mismos modelos, entonces ésta debería ser una ontología “completa”.

Otra posibilidad es incrementar la precisión de una ontología, lo cual consiste en adoptar una lógica modal que permita expresar restricciones a través de los mundos; o solo refinando mundos como objetos ordinarios del dominio. Posteriormente, es necesario obtener la máxima cercanía para especificar el significado pensado de un vocabulario²¹, sin embargo éste puede ser duro de desarrollar y razonar; porque ambos son adoptados con respecto al número de axiomas y la expresividad del lenguaje.

Por otra parte, una ontología burda puede consistir de un conjunto de axiomas mínimo, escritos en un lenguaje de expresividad mínima, con el objeto de soportar solo un conjunto limitado de servicios específicos, los cuales han sido pensados para ser compartidos entre los usuarios que ya *acordaron* sobre la conceptualización fundamental.

De acuerdo con lo anterior, (Guarino, N., 1998) cita que es más conveniente acordar sobre una **ontología única de nivel superior** (*top-level ontology*) mejor que depender de acuerdos basados en la intersección de ontologías diferentes. Por lo tanto, se pueden desarrollar diferentes tipos de ontologías, de acuerdo con su nivel de generalidad (ver Figura 3.5).

²¹ El significado pensado de un vocabulario puede ser utilizado para establecer un consenso acerca de ese vocabulario utilizado, o una base de conocimiento, la cual utiliza ese vocabulario.

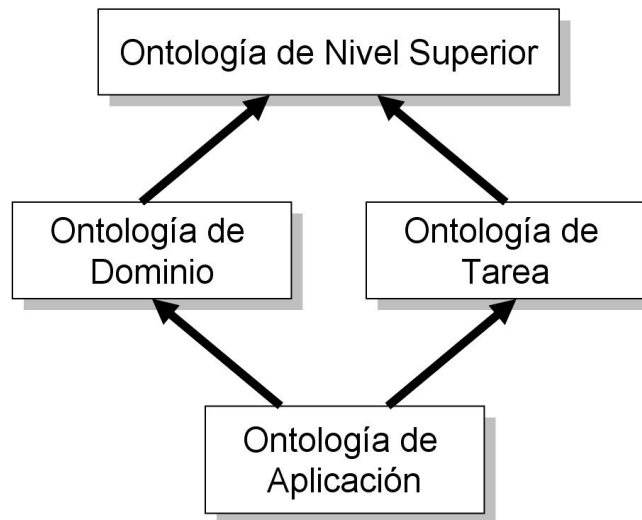


Figura 3.5. Tipos de ontologías de acuerdo con sus niveles de dependencia sobre una tarea particular o punto de vista. Las flechas representan relaciones de especialización entre los tipos de ontologías

Ontologías de Nivel Superior. Éstas describen conceptos muy generales, tales como espacio, tiempo, objeto, cosa, evento, acción, etc., las cuales son independientes de un problema o dominio particular. Estas ontologías parecen por lo tanto razonables, al menos en teoría para tener ontologías de nivel superior unificadas para grandes comunidades de usuarios.

Ontologías de Dominio. Éstas describen el vocabulario relacionado con un dominio genérico, tal como medicina, geografía, etc., y pueden utilizar una ontología de nivel superior para especializar conceptos.

Ontologías de Tarea. Son aquellas que describen una actividad o un conjunto de procedimientos que componen una tarea específica. Por ejemplo: Contaminación de la Ciudad de México, Deslaves o Inundaciones en Chiapas, Turismo en Acapulco.

Ontologías de Aplicación. Éstas se encargan de describir conceptos dependiendo de un dominio particular y de tarea, los cuales frecuentemente son especializaciones de las ontologías relacionadas (dominio y tarea). Estos conceptos corresponden a diversos roles jugados por las entidades del dominio, mientras realizan una cierta actividad, como: actualización de una base de datos, búsqueda de objetos geoespaciales de una temática en particular, etc.

Por otra parte, es importante hacer notar la diferencia entre una ontología de aplicación y una base de conocimiento. La distinción está relacionada con el propósito de la ontología, la cual es una base de conocimiento *particular* que describe hechos asumidos siempre como verdaderos por una comunidad de usuarios, en virtud de un significado acordado y representado por un vocabulario. Una base de conocimiento genérica puede describir hechos y aseveraciones relacionadas con un estado de eventos particular. Dentro de una base de conocimiento genérica, se pueden distinguir dos componentes: la ontología (conteniendo información de estado independiente) y el la base de conocimiento “principal” (que tiene información de estado dependiente) (Guarino, N., 1997).

3.8 Definición de redes semánticas

Existen algunos trabajos que dieron origen a la recuperación de información por medios semánticos. Tal es el caso del trabajo desarrollado por (Quillian, M.R., 1966), en el cual la idea básica de esta investigación es que los contenidos de la memoria humana sean organizados y accedados en términos de relaciones de significado. En este sentido, cualquier tipo de relación de significado puede enlazar dos o más entradas en el sistema y los enlaces tienen etiquetas que son cambiadas significativamente en el sistema. Esto se considera legal para una secuencia de enlaces recursivos. Simultáneamente, “esferas de activación” conducen desde diferentes entradas que pueden intersectar y unificar actividades previas para crear patrones complejos de activación que pueden representar por ejemplo, cadenas de lógica, estructuras físicas, entre otros.

Este modelo puede considerarse como conexionista con localización automática de entradas nuevas. Sin embargo, este modelo debería representar la encarnación en términos de contigüidad física de nodos localizados en una red. De igual forma, el término “*Semantic Memory*”²² es utilizado para describir un cierto tipo de memoria con un cierto tipo o grado de conciencia.

Por lo tanto, algunas preguntas que originaron esta investigación son las siguientes: ¿Qué constituye una vista razonable de cómo la información semántica es organizada en la memoria de las personas? En otras palabras, ¿Qué orden de formato de representación puede permitir el significado de las palabras? Para dar respuesta a estas preguntas se propone un modelo de la estructura de la memoria. La prueba de este modelo es la

²² “*Semantic Memory*” traducción al español “*Memoria Semántica*”.

habilidad para desprenderse ligeramente de diversos tipos de comportamiento dependientes de una memoria semántica.

El “*Modelo de Memoria*” de Quillian consiste básicamente de una masa de nodos interconectados por diferentes tipos de enlaces asociativos. Cada nodo puede ser pensado como el nombre de una palabra en algún idioma, pero la característica más importante de este modelo es que un nodo puede estar relacionado al significado (concepto) del nombre de la palabra en una de dos formas.

La primera se relaciona directamente, i.e., sus enlaces asociativos pueden conducir directamente en una configuración de otros nodos que representan el significado del nombre de la palabra, a lo que se le conoce como nodo *tipo*. En contraste, el segundo tipo de nodo en la memoria se refiere indirectamente al concepto de la palabra, teniendo un tipo especial de enlace asociativo que apunta al nodo del tipo de concepto. Este nodo es llamado *nodo simbólico*. Para cualquier significado de una palabra debe haber exactamente sí y solo sí un tipo en la memoria, pero existirán muchos nodos simbólicos esparcidos a través de la memoria, cada uno con un apuntador al mismo nodo tipo único para el concepto.

En el “*Modelo de Memoria*”, los componentes utilizados para construir un concepto son representados por los nodos simbólicos que llaman a otros conceptos; mientras que el significado de la configuración del concepto es representado por la estructura particular de inter-enlaces de conexiones de nodos simbólicos a cada uno. Esto se realiza para pensar en la configuración de los nodos simbólicos inter-enlazados que representan un concepto único como incluir un *plano* en la memoria. Cada nodo simbólico en la memoria entera se ubica en algún plano, tal que tiene un apuntador a su enlace asociativo especial “fuera del plano” a su nodo tipo y otros apuntadores de enlaces asociativos dentro del plano a otros nodos simbólicos que incluyen la configuración.

Por otra parte, en la Figura 3.6 se muestran los planos de tres conceptos de palabras correspondientes a tres significados de “*planta*”. Las palabras “*planta vegetal*”, “*planta industrial*” y “*planta (verbo)*” posicionadas en la parte superior de los tres planos representan los nodos tipo. Cada otra palabra localizada en algunos de los planos de la Figura 3.6 representa un nodo simbólico. Las flechas que no terminan desde los *tokens* indican que cada uno tiene apuntador especial que lo conduce a su plano y a su tipo de definición. Por ejemplo, para un nodo tipo situado en la parte superior de su propio plano, existe un lugar en alguna parte de la memoria. Cada uno de estos planos, es por sí mismo completo.

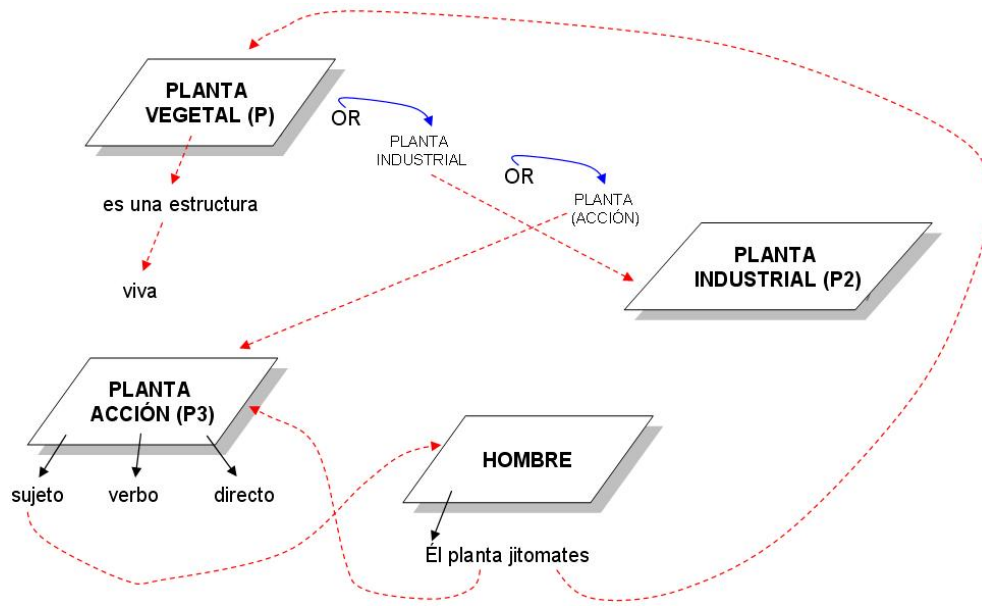


Figura 3.6. Representación de tres planos del significado de “Planta”

La estructura general del modelo de memoria consiste en planos, cada uno elaborado a partir de un nodo tipo y un número de nodos simbólicos. Es necesario determinar el formato de los nodos por sí mismos y las variabilidades específicas de enlaces asociativos entre los nodos a ser utilizados dentro del plano.

La restricción más importante determina el crecimiento de aseveraciones necesarias para continuar considerando las propiedades de la memoria semántica de los seres humanos. En este caso, el modelo debe estar disponible para enlazar nodos junto con las configuraciones que al menos han variado y enriquecido las ideas expresadas en lenguaje natural. Este modelo debe representar toda la información en una forma lo suficientemente estandarizada para permitir procesar reglas que puedan ser especificadas explícitamente, sino éste no será manejable como una teoría de memoria para un lenguaje por sí misma.

Para concluir se puede decir entonces que un concepto de un mundo completo se define en el modelo de memoria para ser de todos los nodos que puedan ser enriquecidos por un proceso de mapeo exhaustivo, originando en su nodo inicial y en su nodo tipo patriarcal, junto con la suma total de relaciones entre estos nodos especificados dentro de un plano, enlaces de nodos simbólicos a nodos simbólicos. En este sentido, la organización de una memoria será útil para auxiliar en las tareas de rendimiento semántico y constituir además, una descripción razonable de la organización en general de la memoria humana para un material semántico.

Por lo tanto, con este tipo de modelo, Quillian propone una forma para estructurar el conocimiento y almacenarlo a largo plazo, en donde se propone que los conceptos sean vistos como planos.

De acuerdo con (Collins, A.M. & Quillian, M.R., 1969), es posible realizar una inferencia basada en una estructura mental a través de reacciones en el tiempo. En este caso, la técnica de procesamiento de redes semánticas puntualiza los significados de las palabras que están embebidas en las redes de otros significados. El conocimiento es validado y adquiere significado a través de la correlación con otro conocimiento; en donde el tiempo puede jugar un rol importante. Los enlaces entre la información en una red semántica son propósitos cualitativos, por lo tanto estos enlaces adquieren un valor semántico.

En el modelo de Collins y Quillian los conceptos son representados por nodos que están interconectados dentro de la red. Los nodos son accedidos cuando se escuchan y entonces se activan en la memoria, causando información que está correlacionada al concepto a ser seleccionado. El enlace “*is-a*” es el más común en el modelo de red semántica. Los nodos dentro de la red que están conectados por este enlace tienen un tipo específico de relación; es decir, una jerarquía en su forma natural. Por lo tanto, el concepto en el nodo de nivel más bajo es una forma/tipo del concepto en el nodo de nivel superior. Este tipo de interconexiones evidencia un enlace del tipo “*has-a*”.

De acuerdo con (Shapiro, S.C., 1992), una *red semántica* es una notación gráfica que se utiliza para representar conocimiento mediante patrones de nodos interconectados por arcos. Éstas son consideradas representaciones gráficas declarativas que pueden ser orientadas para representar conocimiento o para sistemas de soporte automático enfocados al razonamiento acerca del conocimiento. Algunas versiones de estas representaciones son algo informales; sin embargo, otras están definidas en sistemas de lógica. Para Shapiro existen seis tipos de redes semánticas:

- A. **Redes de definición.** Son aquellas que enfatizan la relación *subtipo* o *es-un* entre un tipo de concepto y un subtipo definido nuevamente. La red resultante es llamada *jerarquía de generalización*, la cual soporta las reglas de *herencia* para copiar propiedades definidas para un supertipo a todos sus subtipos.

- B. **Redes de aseveración.** Son diseñadas para declarar proposiciones. A diferencia de las redes de definición, en esta red la información es asumida para ser contingentemente verdadera, a menos que explícitamente se marque con un operador modal. Estas redes se proponen para estructuras conceptuales fundamentalmente en lenguaje natural.
- C. **Redes de implicación.** Utilizan la implicación como la primera relación para conectar nodos. Éstas pueden ser utilizadas para representar patrones de opinión, causalidad o inferencias.
- D. **Redes de ejecución.** Éstas incluyen algunos mecanismos tales como procedimientos adjuntos o pases de marcas, con lo cual se realizan inferencias, mensajes o búsqueda de patrones y asociaciones.
- E. **Redes de aprendizaje.** Construyen o extienden sus representaciones adquiriendo conocimiento desde ejemplos. El conocimiento nuevo puede cambiar la red vieja, agregando y eliminando nodos y arcos o modificando valores numéricos, a los que se les denomina *pesos*, y están asociados con los nodos y arcos.
- F. **Redes híbridas.** Combinan dos o más técnicas de las redes citadas, en una red única o en una red separada, pero interactúan cercanamente entre sí estas redes.

Por otra parte, una *red semántica* o *esquema de representación en red* es una forma de representación de conocimiento en que las interrelaciones entre diversos conceptos o elementos semánticos le dan la forma de un grafo. Estas redes pueden ser visualizadas como grafos, aunque algunas veces pueden ser también árboles. Las redes semánticas pueden ser mapas *conceptuales*²³ y *mentales*²⁴.

En un grafo o red semántica, los elementos semánticos se representan por **nodos**. Dos elementos semánticos, entre los que se admite se da una relación semántica que representa la red, estarán unidos mediante una línea, flecha o enlace o **arista**. Cierta tipo de relaciones no simétricas requieren *grafos dirigidos* que usan flechas en lugar de líneas.

²³ Un *mapa conceptual* es una técnica utilizada para la representación gráfica del conocimiento. Se considera una red de conceptos; en donde los nodos representan conceptos y los enlaces las relaciones entre éstos en forma de flechas etiquetadas.

²⁴ Un *mapa mental* es una representación abstracta de algo, en donde el sistema cognitivo del ser humano realiza una generalización y esquematiza los elementos o conceptos esenciales de ese entorno.

En este sentido, dado un conjunto de conceptos, elementos semánticos o términos relacionados semánticamente mediante alguna relación semántica, una red semántica representa estas relaciones en forma de grafo. Explícitamente, dado un conjunto de términos $\{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ y cierta relación semántica simétrica entre ellos se construye un grafo $G(V, A)$, cumpliendo las siguientes condiciones:

- i. El conjunto V es el conjunto de vértices o nodos del grafo. Este conjunto estará formado por n elementos (tantos vértices como términos relacionables). Cada uno de los vértices del grafo representará uno de los términos, por lo tanto los vértices del grafo se llamarán t_1, t_2, \dots, t_n .
- ii. El conjunto A es el conjunto de aristas o líneas del grafo. Dados dos vértices (términos) del grafo t_i y t_j existirá una línea a_{ij} que une los vértices t_i y t_j si y solo si los términos t_i y t_j están relacionados.

Si la relación no es simétrica, entonces se usan grafos dirigidos para representar la relación. Por otro lado, las redes semánticas se consideran un importante tipo de diccionario legible para las computadoras. En la Figura 3.7 se muestra un ejemplo de una red semántica.

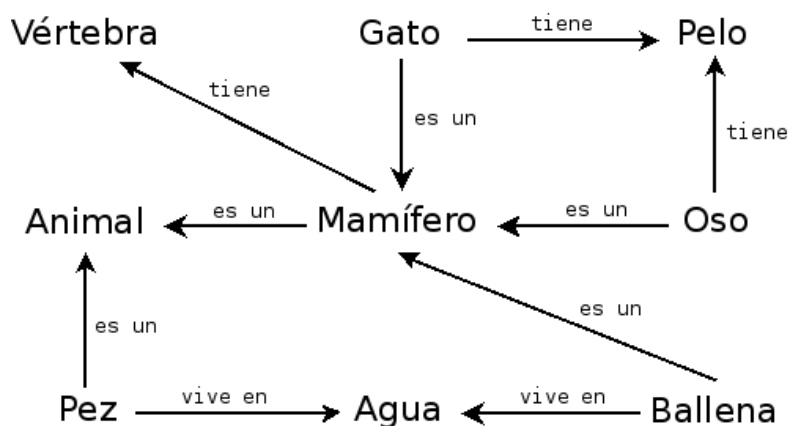


Figura 3.7. Un ejemplo de red semántica

Las redes semánticas han sido muy utilizadas en Inteligencia Artificial para representar el conocimiento y por lo tanto ha existido una gran diversificación de técnicas. Los elementos básicos que se encuentran en todos los esquemas de redes son:

- Estructuras de datos en nodos que representan conceptos, unidos por arcos que representan las relaciones entre los conceptos.
- Un conjunto de procedimientos de inferencia que operan sobre las estructuras de datos.

De igual forma, de acuerdo con el área de la Inteligencia Artificial, se pueden distinguir básicamente tres categorías de redes semánticas:

- **Redes IS-A.** En las que los enlaces entre nodos están etiquetados. Cada nodo constituye parte del significado del nodo subsecuente, a medida que se avanza de nodo a nodo se aumenta el nivel de caracterización o *granularidad*.
- **Grafos conceptuales.** En los que existen dos tipos de nodos: de *conceptos* y de *relaciones*.
- **Redes de marcos.** En los que los puntos de unión de los enlaces son parte de la etiqueta del nodo.

Las relaciones semánticas más importantes que se pueden encontrar en este tipo de estructuras son las siguientes:

- **Meronimia** (A es parte de B, i.e. B tiene A como parte de él mismo)
- **Holonimia** (B es parte de A, i.e. A tiene a B como parte de ella misma)
- **Hiponimia** (o troponimia) (A es un subordinado de B; A es del tipo de B)
- **Hipernimia** (A es superordinado de B)
- **Sinonimia** (A denota lo mismo que B)
- **Antonimia** (A denota lo opuesto de B)

Como se mencionó anteriormente, los nodos de una red semántica están unidos por arcos, los cuales indican la relación que existe entre ellos. De igual forma, diversos tipos de relaciones entre arcos pueden combinarse dentro de una misma red semántica, tal como se muestra en la Figura 3.7, en donde las relaciones “*es-un*” y “*tiene-un*” se encuentran definidas explícitamente en la red semántica. Por lo tanto, se puede concluir que existen ciertos tipos de arcos, entre los cuales están:

- i. **Es-un.** Este tipo de arco se utiliza para identificar que un cierto nodo pertenece a una clase mayor de objeto (ver Figura 3.8).

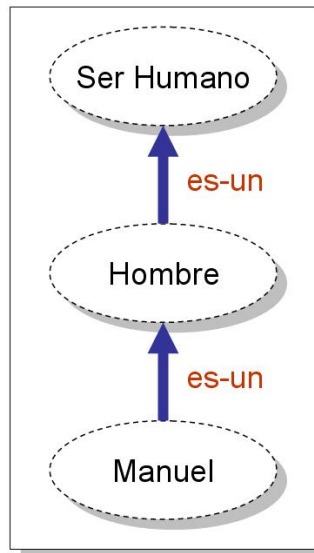


Figura 3.8. Tipo de relación *es-un*

- ii. **Tiene-un.** Este tipo de arco se utiliza para identificar que un cierto nodo tiene o pasa una cierta característica, atributo o propiedad (ver Figura 3.9).

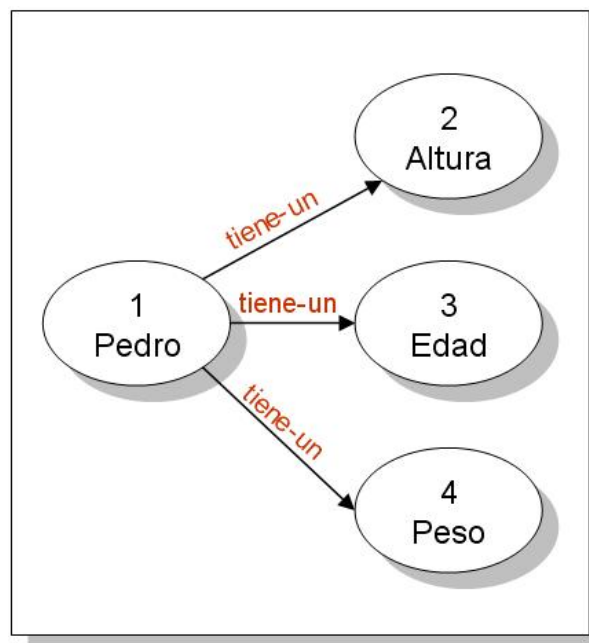


Figura 3.9. Tipo de relación *tiene-un*

En este sentido, se puede concluir que a través de la propiedad de *herencia*, las redes semánticas tienen la capacidad de *inferir* conocimiento.

De acuerdo con la descripción realizada anteriormente, es posible representar descripciones lógicas usando redes semánticas tal como los grafos conceptuales propuestos por (Sowa, J., 2000). Este tipo de estructuras tienen un alto poder de expresividad igual o mayor que la lógica de predicados de primer orden, de acuerdo con el análisis realizado por Sowa.

3.9 Definición de esquemas conceptuales

De acuerdo con el contexto de esta tesis, un *esquema conceptual* o un modelo de datos conceptual es un *mapa*²⁵ de *conceptos* y las relaciones que posee. Éste se encarga de describir la semántica de un conjunto²⁶ de objetos geográficos, el cual representa una serie de aseveraciones acerca de su naturaleza.

Los esquemas conceptuales específicamente describen las cosas significativas a este conjunto, a lo cual se les puede denominar como *clases de entidades*, acerca de qué elementos se inclinan para almacenar información; así como sus características (*atributos*) y asociaciones entre pares de estos elementos significativos (*relaciones*).

Cabe señalar que los esquemas conceptuales representan la semántica del conjunto en estudio y no son un diseño propiamente de base de datos; puesto que pueden existir diversos niveles de abstracción. En otras palabras, los esquemas conceptuales se apegan más a la forma en cómo las personas perciben el mundo real y cómo este universo puede ser capturado a través de estas estructuras.

De acuerdo con (Fonseca F., Davis C. & Câmara G., 2003), la consolidación de conceptos y conocimiento representado por un esquema conceptual puede ser utilizado en los pasos iniciales de la construcción de una ontología.

²⁵ Un mapa de conceptos es una partición de elementos que describe los conceptos principales de un dominio en particular y que solo estos elementos son necesarios para entender e interpretar ese dominio.

²⁶ El término de conjunto se refiere estrictamente al contexto y dominio geográfico para los propósitos de esta tesis.

De igual forma, la conexión automática entre conceptos en una ontología y las primitivas en un esquema conceptual, permiten al usuario acceder a la información almacenada en bases de datos, utilizando conceptos de alto nivel, tal como lo citan (Moulton, A., Madnick, S.E. & Siegel, M.D., 2001a) y (Moulton, A., Madnick, S.E. & Siegel, M.D., 2001b).

(Fikes, R. & Farquhar, A., 1999) consideran que las ontologías pueden ser utilizadas como bloques de construcción de esquemas conceptuales. (Fonseca F., Davis C. & Câmara G., 2003) están de acuerdo con (Cui, Z., Jones, D. & O'Brien, P., 2002) en que existe una diferencia principal entre una ontología y un esquema conceptual; puesto que ambos son construidos para propósitos diferentes. En este caso, una ontología describe un dominio específico y un esquema conceptual se crea para describir el contenido de una base de datos.

(Bishr, Y. & Kuhn, W., 2000) consideran que una ontología es externa a los sistemas de información y ésta es una especificación de posibles mundos, mientras que un esquema conceptual es interno a los sistemas de información y se elige como la especificación de un posible mundo.

Las ontologías pueden considerarse como esquemas conceptuales en sistemas de bases de datos. Un esquema conceptual proporciona una descripción lógica de datos compartidos, permitiendo que programas de aplicación y bases de datos interoperen sin tener que compartir estructuras de datos.

Además, un esquema conceptual define relaciones sobre los datos. Una ontología define términos con los cuales se representa conocimiento. Para este propósito, se puede pensar que los datos se expresan en hechos atómicos fundamentales y el conocimiento se expresa en sentencias lógicas con variables cuantificadas existencialmente y universalmente, y éstas son utilizadas para describir restricciones de recursos en un problema.

A partir de un vocabulario finito y bien definido, se pueden componer un gran número de sentencias coherentes; es decir, ésta es una de las razones del por qué el vocabulario es mejor que en su forma, por lo cual éste es el enfoque u objetivo principal de utilizar especificaciones de acuerdos ontológicos.

Las ontologías son semánticamente más ricas que los esquemas conceptuales y además, son más cercanos al modelo cognitivo del ser humano. Los esquemas conceptuales son construidos para organizar que se va almacenar o describir de una base de datos. Una ontología representa conceptos en el mundo real.

Por ejemplo, una mina puede ser representada de diversas formas en una base de datos, pero el concepto es siempre el mismo, al menos desde el punto de vista de una comunidad. Este punto de vista se expresa en la ontología que esta comunidad ha especificado.

En el sentido del dominio geográfico, un esquema conceptual captura todas las peculiaridades de los datos geográficos que pueden especificarse en diferentes formas de representación o propósitos.

La comunidad de base de datos establece una clara distinción entre un modelo de datos conceptual y un esquema conceptual. El formador se refiere a la técnica que es utilizada para modelar cualquier base de datos, incluyendo su notación, ejemplos de modelos de datos conceptuales se tienen: entidad – relación (ER), técnica de modelado de objetos (OMT) y lenguaje de modelado unificado (UML).

Por otra parte, los esquemas conceptuales se refieren al resultado del modelado y normalmente este resultado se refleja por medio de un conjunto de diagramas que utilizan un modelo de datos dado como un lenguaje para expresar las estructuras de datos específicas para una aplicación que puede ser desarrollada.

En la práctica, los esquemas conceptuales están limitados por las representaciones disponibles de la tecnología. Adicionalmente, un esquema conceptual para aplicaciones espaciales depende de suposiciones implícitas de sus componentes que son medibles. Por lo tanto, los esquemas conceptuales asignan para cada uno de sus componentes, una o más representaciones computacionales adecuadas. En esta vista, un esquema conceptual requiere un compromiso a un conjunto de representaciones computacionales; mientras que una ontología no requiere tal compromiso.

No obstante, los esquemas conceptuales corresponden ciertamente a un nivel de formalización del conocimiento; a pesar de omitir del esquema un número de conceptos e ideas del modelador de datos y de los usuarios que previamente han sido acordados y que constituyen el fondo del conocimiento de un entorno.

En el modelado conceptual convencional, las ontologías son pasadas por alto o carecen de una especificación formal (Frank, A.U., 1997), pero la información sobre las estructuras de datos, clases y dominios que componen el esquema conceptual pueden adaptarse para llenar las clases de las ontologías.

El desarrollo de ontologías del dominio geográfico permite compartir datos geográficos entre diferentes comunidades de usuarios. No obstante, antes de compartir estos datos, es necesario coleccionarlos y organizarlos. Por lo tanto, los esquemas conceptuales son construidos para abstraer partes específicas del mundo real y representar esquemáticamente qué datos deben coleccionarse y cómo deben ser organizados.

Un punto a considerar en los esquemas conceptuales para el dominio geográfico, son las relaciones espaciales, las cuales son abstracciones que ayudan a entender cómo en el mundo real los objetos se relacionan con otros (Frank, A.U. & Mark, D.M., 1991). Muchas relaciones espaciales necesitan ser representadas explícitamente en los esquemas de aplicación para hacerlas más entendibles. Las relaciones topológicas son fundamentalmente importantes para la definición de las reglas de integridad espacial, las cuales determinan el comportamiento geométrico de los objetos (Borges, K., Davis, C. & Laender, A., 2001).

Existen características particulares de los datos geográficos que hacen que su modelado sea más complejo que con otro tipo de información. El modelado de los aspectos espaciales es fundamentalmente importante en la creación de una base de datos geográfica, principalmente porque éste negocia con una abstracción de la realidad geográfica, en donde la vista del usuario del mundo real varía dependiendo de qué se necesita representar y qué se espera obtener de esta representación. Puede percibirse que el modelado de datos geográficos requiere modelos más específicos y capaces de capturar la *semántica* de los datos geográficos, obteniendo el más alto mecanismo de abstracción e implementación independiente. Dentro del contexto geográfico, conceptos tales como geometría y topología son importantes en la determinación de las relaciones espaciales entre objetos, los cuales son decisivos en los procesamientos subsecuentes de análisis y recuperación.

Por otra parte, de acuerdo con (Fonseca F., Davis C. & Câmara G., 2003), las inconsistencias en la captura de los conceptos requeridos acerca del mundo real deben ser reducidos para mejorar el proceso.

Esto ocurre básicamente porque no existe un consenso real entre el especialista y el modelador, por lo tanto el esquema conceptual que se obtiene no representa realmente la abstracción del mundo real.

En la Figura 3.10, se ilustra esta situación, mostrando con líneas punteadas los mayores problemas para la adquisición de conocimiento en el proceso de modelado conceptual.

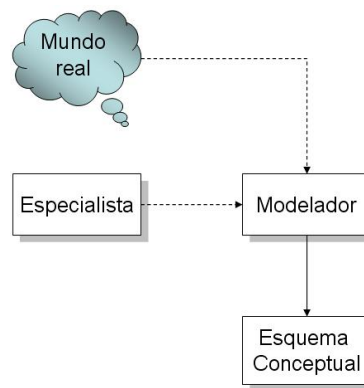


Figura 3.10. Proceso de modelado tradicional

Por otra parte, (Fonseca F., Davis C. & Câmara G., 2003) argumentan que el grado de formalización proporcionado por las ontologías puede mejorar grandemente la precisión de los esquemas que son diseñados por el modelador; utilizando técnicas de modelado conceptual en el proceso de desarrollo de aplicaciones.

Puesto que las ontologías proporcionan una vista de alto nivel del problema, el modelador puede necesitar información adicional del especialista para especificar algunos detalles finos del esquema conceptual, tal como la cardinalidad y el dominio de atributos permisibles. La técnica de manejo de ontologías para el modelado conceptual se muestra en la Figura 3.11.

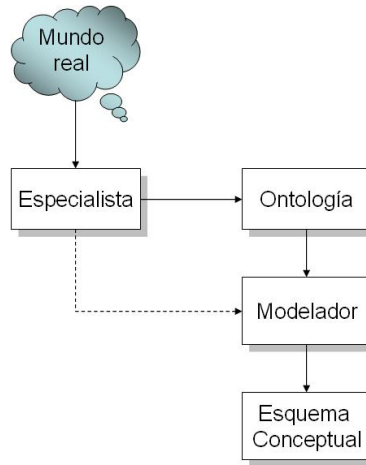


Figura 3.11. Proceso de modelado manejado por ontologías

Asimismo, (Fonseca F., Davis C. & Câmara G., 2003) citan que existen esquemas conceptuales que pueden ser utilizados para construir ontologías; puesto que éstos son documentos formales que han sido diseñados para capturar la vista del especialista de algunos aspectos del mundo real. Además, existen otros esquemas conceptuales que pueden utilizarse para crear ontologías robustas; mientras que existen ontologías que pueden usarse para generar²⁷ esquemas conceptuales, con o sin la ayuda de un modelador experto (ver Figura 3.12).

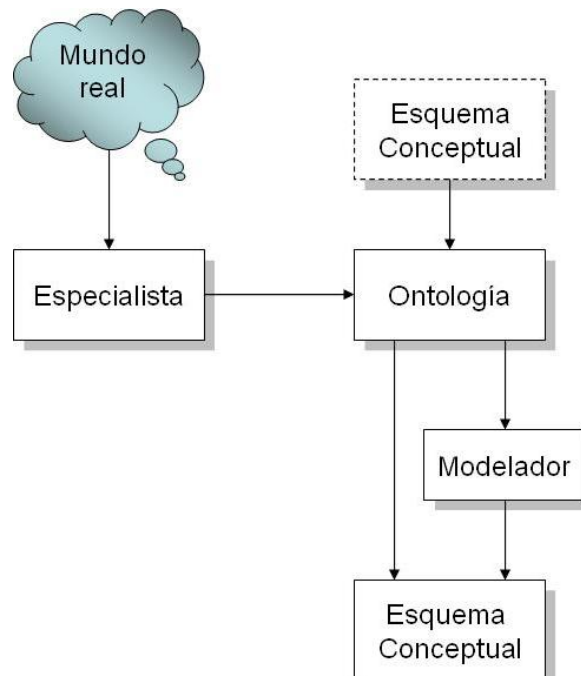


Figura 3.12. Proceso de modelado basado en ontologías

²⁷ Para esta tesis, el argumento descrito por los autores autores aplica; puesto que la ontología del dominio geográfico se utiliza para generar descriptores semánticos, los cuales se basan en esquemas conceptuales.

Mientras que las ontologías apuntan en describir un conjunto de conceptos en un dominio de aplicación para lograr una conceptualización compartida; los esquemas conceptuales son sometidos a modelos formales, los cuales se encuentran limitados por la tecnología disponible. En esta vista, un esquema conceptual requiere un compromiso a un dominio de conocimiento.

Por ejemplo, si se consideran dos conceptos espaciales de una posible ontología espacial: un *lago* y una *parcela*. Como muestra (Smith, B. & Mark, D.M., 1998), el primer objeto es un objeto del tipo *bona fide*; puesto que su límite está definido por un compromiso en términos de la escala de presentación deseada. El segundo es un ejemplo de objeto *fiat*, el cual se define como un producto de convenciones sociales establecidas, cuya existencia depende de un contrato legal.

En términos de un esquema conceptual, ambos conceptos serían asignados al mismo tipo de representación geométrica (un polígono o un conjunto de polígonos). Esta situación es causada por el hecho de que la mayoría de los modelos conceptuales de los GIS no soportan el concepto de límites difusos, los cuales requieren distinguir entre objetos con límites exactos tales como una *parcela* de objetos con límites inexactos como un *lago* (Burrough, P. & Frank, A.U., 1996).

Por lo tanto, un esquema conceptual contiene un número de conceptos de niveles previos embebidos por sí mismos, por medio de un lenguaje gráfico. En el proceso de modelado actual, el usuario es invitado a leer y entender este esquema conceptual, además si se quiere extraer automáticamente una ontología de un esquema conceptual, se necesita formalizar la traducción de la notación del modelo a través de conceptos ontológicos, y entonces utilizar estos conceptos como un fundamento para la recuperación de definiciones y notaciones de aplicaciones específicas. En este sentido, esto es equivalente a enseñar a un programa de computadora cómo debe leer y entender los esquemas conceptuales, proporcionando un marco de referencia genérico en la forma de un conjunto de conceptos ontológicos a partir niveles de dominio y formales.

De acuerdo con las estructuras analizadas en este capítulo: ontologías, redes semánticas y esquemas conceptuales, se puede concluir que el uso de una *ontología* se justifica con base en la formalización de cada uno de los términos que componen a la estructura. En este sentido, el uso de axiomas y relaciones *n*-arias, permiten controlar la definición explícita de conceptos; auxiliándose en el establecimiento de restricciones que

permiten discernir el vínculo que puede tener un concepto con otro. Con base en estos tres componentes esenciales se puede tener un control total con respecto a la semántica que proporcionan los conceptos, considerando primordialmente las relaciones que describen el comportamiento entre los conceptos geográficos.

Por otro lado, las *redes semánticas* son estructuras que se utilizan para representar el conocimiento, considerando los principios básicos de una relación “*is-a*” o bien, “*tiene-un*” para coleccionar y organizar conceptos a través de jerarquías. Sin embargo, su uso puede limitarse con respecto al número de relaciones que pueden definirse para vincular conceptos geográficos dentro de una partición jerárquica. Asimismo, con el uso de la ontología, es posible minimizar el número de relaciones axiomáticas, con el objeto de que las relaciones que describen conceptos geográficos se definan también como conceptos por sí mismos.

Por otra parte, el uso de un *esquema conceptual* en este trabajo se justifica con el hecho de brindar una simplificación o abstracción lógica y funcional de la ontología. Para que con esto, únicamente objetos geográficos de alguna región en particular puedan ser conceptualizados y a su vez, se pueda tener un acceso a las propiedades y relaciones de estos conceptos y que sean representados por instancias. Con esta estructura se ofrece un mecanismo que permite almacenar y coleccionar características implícitas de los conceptos y que puedan representar un conjunto de atributos que caracterizan a las instancias de los conceptos de la ontología en forma tabular.

3.10 Metodologías para la construcción de ontologías

Puesto que las ontologías son la base de la técnica presentada en esta tesis, esta sección introduce brevemente las mayores contribuciones en este dominio. La construcción propia de una ontología, es un requisito importante para integrar y compartir información geoespacial. A continuación se muestran algunas de las técnicas más importantes para este propósito:

(Visser, P.R., Jones, D.M., Beer, M., *et al.*, 1999) ilustran una técnica de tres fases, la cual se utiliza para extraer y construir ontologías desde un dominio de aplicación en el

proyecto KRAFT²⁸. Éste proporciona una metodología para construir ontologías; así como diversas técnicas de integración.

(Jones, D., 1998) presenta una técnica basada en el análisis de textos técnicos disponibles en el dominio para construir ontologías; sin embargo su propuesta se basa en el hecho de conocer todos los requerimientos de un dominio en particular; es decir, los expertos del dominio son las personas que deben construir la ontología. Sin embargo, la técnica propuesta es muy cerrada para los usuarios o modeladores de ontologías.

El objetivo del proyecto TOVE (Toronto Virtual Enterprise) es crear un modelo empresarial genérico y reusable, con el objeto de proporcionar una terminología compartida para cada agente que lo utilice. TOVE define el significado (o semántica) de cada término en una forma precisa y sin ambigüedad. TOVE considera la semántica en un conjunto de axiomas que habilitan un mecanismo de deducción proporcionando una respuesta para muchos *sentidos comunes*. TOVE además proporciona una simbología para mostrar un término o el concepto construido en un contexto gráfico (Grüninger, M. & Fox, M.S., 1995).

METHONTOLOGY es una metodología para construir ontologías, la cual inicia desde la fase de planeación hasta llegar a una formalización de la misma. Esta técnica considera el mantenimiento y ciclo de vida de las ontologías. La metodología promueve la creación de árboles de conceptos y subgrupos de clases similares que indican una dependencia de las estructuras de lenguajes formales y motivan a los modeladores de ontologías a agrupar clases bajo *encabezados* familiares, que en algunos casos no representan la lógica verdadera de las relaciones fundamentales.

Esto es particularmente cierto para relaciones de subordinación, por ejemplo: en una ontología topográfica los conceptos pueden no necesariamente dividirse bajo las ramas “*natural*” y “*artificial*” en una jerarquía. Por lo tanto, una ontología debe ser más que una taxonomía, puesto que éstas minimizan el potencial para inferir y reutilizar la dependencia de conceptos. Bajo este argumento, es posible que no todos los dominios tengan una estructura de clasificación natural o clara y en algunas ocasiones no pueden ser divididos en módulos más pequeños.

²⁸ KRAFT es un proyecto que significa Knowledge Reuse and Fusion Transformation, cuyo objetivo es desarrollar una combinación de tecnologías de bases de datos y de inteligencia artificial para permitir a ingenieros y científicos encontrar y explotar el conocimiento disponible en Internet.

En este mismo sentido se puede decir, que la representación del conocimiento es procedural la gente encuentra dificultades para describir exactamente cómo los seres humanos llevan a cabo estos procedimientos o tareas (Fernández-López, M., Gómez-Pérez, A. & Jurista, N., 1997).

El Enterprise Ontology Project contribuyó con una metodología para construir ontologías, como una consecuencia al trabajo de (Uschold, M. & King, M., 1995). La metodología propuesta por Uschold, se basa en los siguientes puntos:

1. **Identificar el propósito y alcance de la ontología.** Es importante clarificar el por qué la ontología va a ser construida y para qué se va a utilizar. También es necesario identificar el propósito de una ontología y su alcance; así como las características y el rango pensado por los usuarios de la misma.
2. **Construir la ontología.** La identificación del propósito y alcance de la ontología, al menos en términos generales sirve para proporcionar una fuente razonablemente bien definida de conocimiento para construir la ontología. Tres aspectos deben considerarse en este punto: la *captura*, *codificación* y la *integración* de ontologías existentes.
 - **Captura.** Esto significa: a) identificación de los conceptos clave y las relaciones en el dominio de interés; b) producción de definiciones de texto sin ambigüedad para conceptos y relaciones; c) identificación de términos para referir a conceptos y relaciones que acuerden con todo lo anterior.
 - **Codificación.** Significa una representación explícita de la conceptualización capturada en la etapa previa, mediante algún lenguaje formal, lo cual involucra:
 - i. Acuerdos de los términos básicos que serán utilizados para especificar la ontología (por ejemplo: clase, entidad, relación). Esto es frecuentemente llamado *meta-ontología*, porque es en esencia la ontología fundamental de términos que expresan la ontología principal.

- ii. Elección de un lenguaje de representación, el cual sea capaz de soportar la *meta-ontología*.
 - iii. Escritura del código.
 - **Integración de ontologías existentes.** Durante los procesos de captura y codificación, existe la pregunta de cómo utilizar todo o parte de la ontología que ya existe. En general esto es un problema muy difícil; puesto que existen diversos sinónimos que pueden generar ambigüedades en los conceptos, o bien diversas relaciones que pueden asumirse que no puedan mapear con algunos conceptos.
3. **Evaluación.** En el contexto de la tecnología para compartir conocimiento la evaluación puede definirse como “el hacer un juicio técnico de las ontologías, sus ambientes de software asociados y la documentación con respecto a un marco de referencia; en donde estos marcos de referencia pueden ser requerimientos de especificaciones, preguntas de competencia del mundo real”.
 4. **Documentación.** Es muy deseable establecer las normas y directrices para documentar las ontologías, posiblemente éstas difieren de acuerdo con el tipo y propósito de la tecnología. Una de las principales barreras para compartir conocimiento es una documentación inadecuada de las bases de conocimiento y ontologías existentes. Para direccionar estos problemas, todas las aseveraciones importantes deben ser documentadas, con respecto a los conceptos principales definidos en la ontología; así como las primitivas utilizadas para expresar las definiciones en la misma (i.e. meta-ontología).
 5. **Guías para el diseño de fases.** Una metodología para construir ontologías debe incluir un conjunto de métodos para cada una de las cuatro fases mencionadas anteriormente; así como también indicar qué relaciones existen entre las etapas; por lo cual se debe considerar lo siguiente:
 - **Claridad.** Una ontología debe comunicar efectivamente las distinciones pensadas por humanos quienes diseñan los agentes. Esto significa que la ambigüedad debe minimizarse, las distinciones deben motivarse y los ejemplos deben ser dados para ayudar al lector a entender las definiciones

que carecen de condiciones necesarias y suficientes. Cuando una definición puede especificarse en axiomas formales, debe llevarse a cabo. En todos los casos, las definiciones deben ser documentadas con lenguaje natural y con ejemplos que ayuden a clarificar su interpretación.

- **Coherencia.** Una ontología debe ser internamente consistente. Al menos la definición de axiomas debe ser lógicamente consistente. La coherencia debe aplicar a las partes de las definiciones que no son axiomáticas, tales como la documentación en lenguaje natural y ejemplos.
- **Extensibilidad.** Una ontología debe estar diseñada para anticipar los usos del vocabulario compartido. Ésta debe ofrecer un fundamento conceptual para un rango de tareas anticipadas, y la representación debe ser empleada para que pueda extender y especializar monotónicamente a la ontología. Debe contar con la capacidad para definir nuevos términos para usos especiales basados en el vocabulario existente, en una forma que no requiere la revisión de las definiciones existentes. Los siguientes dos criterios ayudan a alcanzar la *extensibilidad*.
- **Compromiso ontológico mínimo.** Una ontología debe requerir el compromiso ontológico mínimo para soportar el conocimiento de actividades compartidas pensadas. Una ontología sirve para un propósito diferente para una base de conocimiento y por lo tanto, una noción de representación adecuada o completa aplica. Una ontología compartida necesita solo describir un vocabulario para hablar acerca del dominio, mientras que una base de conocimiento puede incluir el conocimiento necesario para solucionar un problema o contestar preguntas arbitrarias acerca del dominio. Una ontología debe realizar pretensiones como sea posible acerca del modelado del mundo real, permitiendo una ontología libre para especializar en instanciar lo necesario de la misma. El compromiso ontológico debe realizarse con respecto a los aspectos *intrínsecos* a un dominio.
- **Codificación mínima de bias.** La conceptualización debe especificarse en el nivel de conocimiento sin depender de una codificación de nivel de símbolo en particular. La codificación de una axiomatización es la

selección de representaciones que se realizan por conveniencia, las cuales deben minimizarse. El objetivo es habilitar el compartir conocimiento a través de agentes que pueden ser implementados en diferentes sistemas y estilos de representación.

3.10.1 Sistema OntoClean

Un grupo de investigación sobre fundamentos ontológicos de la ingeniería del conocimiento y el modelado conceptual se encuentra explorando el rol de las ontologías en diferentes campos.

Los trabajos de (Welty, C. & Guarino, N., 2001) y (Guarino, N. & Welty, C., 2002) proveen la principal contribución para construir y evaluar ontologías. Estos trabajos definen las nociones tales como *identidad*, *unidad*, *individualidad* y *rigidez*; en donde estos términos juegan un rol esencial en la calificación de jerarquías de taxonomía. Aplicando tales definiciones, se puede evaluar una ontología en términos de su explicación (i.e. cómo una ontología descubre aseveraciones implícitas) y en concordancia con la conceptualización de una comunidad.

OntoClean es una metodología utilizada para validar la adecuación ontológica de relaciones taxonómicas. Esta técnica se basa en nociones ontológicas altamente generales, las cuales provienen de la filosofía. Los términos de *esencia*, *identidad* y *unidad* son utilizados para caracterizar aspectos relevantes del significado pensado de las propiedades, clases y relaciones; las cuales componen una ontología.

Estos aspectos son representados por *meta-propiedades* formales, las cuales imponen varias restricciones sobre la estructura taxonómica de una ontología. El análisis de estas restricciones ayuda en la evaluación y validación de las elecciones realizadas.

3.10.2 Sistema Ontolingua

De acuerdo con (Farquhar, A., Fikes, R. & Rice, J., 1997), Ontolingua presenta un lenguaje para formalizar ontologías. Este lenguaje está basado originalmente en KIF²⁹ y proporciona

²⁹ KIF significa Knowledge Interchange Format.

el marco de la ontología, la cual se basa en un objeto centralizado para la representación de conocimiento.

Ontolingua es altamente expresivo; sin embargo, un lenguaje de este tipo ha resultado en el hecho de que no es un sistema de razonamiento. El servidor de Ontolingua proporciona a los usuarios herramientas para definir sus propias ontologías. Los usuarios pueden traducir sus ontologías en diversos lenguajes tales como KIF, Loom o Prolog, para ser utilizados con sistemas basados en conocimiento existentes. La biblioteca de ontologías proporcionada por Ontolingua es una referencia útil para encontrar y adaptar ontologías existentes como ontologías de alto nivel.

Ontolingua maneja el concepto de clase, la cual genera subclases con tres relaciones básicas, como son *instance_of*, *subclass_of* y *type_of*. Este sistema maneja el concepto de *función*, la cual se utiliza para representar una relación entre más de dos términos.

3.10.3 Sistema (KA)²

(Benjamins, V.R. & Fensel, D., 1998) proponen la iniciativa (KA)² para construir ontologías en la comunidad de adquisición de conocimiento.

El objetivo del proyecto es desarrollar una ontología para los participantes. La ontología construida por esta iniciativa es principalmente utilizada en On2Broker³⁰ para buscar en la Web. La ontología de (KA)² está desarrollada bajo las herramientas de Ontolingua.

Los usuarios de (KA)² necesitan declarar manualmente sus páginas Web basadas en una anotación especificada, la cual facilite el proceso de búsqueda por medio del On2Broker. Las anotaciones relacionan información de las páginas Web a la ontología de (KA)². Las características principales de (KA)² son las siguientes:

- *is-a* es una jerarquía de herencia para los términos; similar a la jerarquía de las definiciones de conceptos.
- La definición de atributos es similar a la definición de roles o de una relación con solo un tipo de restricción.

³⁰ On2Broker es un sistema que utiliza ontologías representadas en un lenguaje basado en marcos lógicos, utiliza su propia extensión de *tags* de HTML, los cuales deben ser siempre agregados al documento del autor. Este sistema mantiene una jerarquía taxonómica, por medio de la relación *is-a* y representa atributos en sus definiciones. Además, utiliza un formalismo similar a la lógica basada en marcos para razonar y consultar. Para definir relaciones entre conceptos en On2Broker se definen reglas.

- Las reglas no pueden solo jugar un rol de restricciones, sino además pueden utilizarse para establecer relaciones.

3.10.4 Sistema Affordance

(Kuhn, W., 2001; Frank, A.U. & Kuhn, W., 1998) presentaron una técnica nueva orientada a definir la semántica. A diferencia de las técnicas convencionales para definir ontologías basadas principalmente en frases lógicas, los autores definen la *semántica* basada en *actividades*.

Esto indica que la definición de categorías de objetos basadas en acciones puede proveer una conceptualización más aproximada a la realidad. Una ventaja inmediata de definir categorías de objetos, de acuerdo con las actividades para reducir la magnitud del problema, es detectar similitudes entre las categorías; es decir, debido al hecho de que el número de actividades posibles que son mucho menos que el número de categorías en un dominio.

Esta idea está siendo utilizada en diversas metodologías para la definición lógica de conceptos. Esta metodología utiliza un lenguaje funcional para formalizar las actividades, en lugar de utilizar formalismos lógicos. Tal formalismo presenta la ventaja que uno puede ejecutar la semántica formalizada sobre un objeto.

3.10.5 Sistema Protégé

El sistema Protégé es un editor de ontologías, diseñado bajo licencia de software libre. Este sistema ofrece una estructura de base de conocimiento.

A su vez, soporta dos formas principales de modelado de ontologías, a través de marcos o por medio del lenguaje OWL (Ontology Web Language – por sus siglas en inglés). Este sistema permite exportar ontologías a diversos lenguajes, tales como RDF (Resource Description Framework – por sus siglas en inglés) y XML (Extensible Markup Language).

El sistema está basado en la plataforma de desarrollo de Java, lo cual permite un acceso transparente, vía código nativo o mediante una interfaz programable de aplicación. Además de ser un sistema multiplataforma y flexible en cuanto a su implementación. Protégé trabaja bajo la teoría de marcos, en donde cada concepto se define como una clase

que puede ser especializada en subclases. Las relaciones entre las clases son binarias y no existe una posibilidad abierta, en la cual puedan implantarse restricciones *n-arias* en una forma simple.

Otra de las ventajas de utilizar este sistema es que cuenta con el manejo de instancias sobre las clases; así como restricciones para generar éstas. En conjunto, los módulos o extensiones de la herramienta están abiertos para ser programados por cualquier usuario que se interese en el modelado e ingeniería de ontologías. Las características generales de Protégé se mencionan a continuación:

- Cuenta con una arquitectura de tres capas.
- La extensibilidad de la herramienta se basa en extensiones o *plug-ins*.
- Permite el almacenamiento de ontologías por medio de archivos OWL.
- Permite importar a lenguajes como RDF y XML.
- Permite exportar a lenguajes como XML, RDF, Flogic y CLIPS.
- La representación del conocimiento se basa en marcos, FOL y metaclases.
- Proporciona un lenguaje de axiomas basado en PAL (Programmable Array Logic – por sus siglas en inglés).
- Cuenta con un motor de inferencia nativo; así como el uso del motor REASONER.
- Soporte para el manejo de restricciones y revisión de inconsistencias.
- Mantiene la representación gráfica basada en una taxonomía.
- Cuenta con un mecanismo de poda gráfica, basado en restricciones y relaciones.
- Presenta un soporte para la generación de bibliotecas de ontologías.

Como conclusión, a lo largo de este capítulo se han definido y descrito las herramientas y conceptos a utilizar dentro de la metodología de la tesis; enfatizando primordialmente en el concepto de ontología y de esquemas conceptuales, los cuales son elementos esenciales para el desarrollo de una metodología que permita proponer una teoría para conceptualizar el dominio geográfico.

De igual forma, se hizo una recopilación de sistemas editores de ontologías, con el objeto de analizar cada una de estas herramientas y revisar cuál de éstas cumple con los requerimientos mínimos para la implementación de los resultados, basándose en el desarrollo de la metodología que se propone en el Capítulo 4.

Capítulo 4. Metodología Propuesta

4.1 Introducción

En este capítulo se describe la metodología propuesta para llevar a cabo la integración y recuperación de datos geoespaciales. Para este fin se propone la técnica **GEONTO – MET**, la cual consiste esencialmente de una estructura de trabajo base para generar una ontología del dominio geográfico.

Esta estructura está compuesta básicamente por un conjunto de clases abstractas que permiten clasificar en forma taxonómica a los objetos geográficos, estableciendo sus relaciones correspondientes entre diversas clases abstractas y definiendo las restricciones y axiomas que restringen el contexto de los objetos geográficos.

En la metodología propuesta se han considerado como fuentes de información para el desarrollo de la ontología del dominio geográfico, las especificaciones del INEGI; así como la especificación ISO/FDIS 19115 orientada a metadatos e información geográfica. De esta forma, las diversas temáticas proporcionadas por el INEGI se consideran contextos del dominio geográfico, los cuales al unirse, a través de la técnica **GEONTO – MET** forman conceptos que pueden ser del tipo clase, estándar o relación; dando origen a *Kaab-Ontology*.

Aunado a lo anterior, se ha diseñado un esquema conceptual que permite describir una vista lógica y funcional de la ontología del dominio geográfico. Con este esquema es posible describir instancias de conceptos de la ontología por medio de atributos, en donde estos últimos se refieren a propiedades de los conceptos. Este esquema conceptual ha sido desarrollado para generar una descripción simbólica de una región espacial, con el objeto de obtener una descripción semántica; así como una plantilla en XML.

Cabe señalar que las descripciones semánticas generadas, representan a una región espacial y permiten describir el comportamiento o la relación que presentan los objetos geográficos de una región o contexto en particular.

Asimismo, la plantilla XML generada, permite a diversos usuarios *compartir* información geoespacial, con el objetivo de hacer más *flexible* esta tarea; así como *compactar* los datos geoespaciales por medio de este mecanismo de descripción, considerando a éste como un medio alternativo de representación de información geográfica.

Por otra parte, este capítulo presenta el marco de trabajo de **GEONTO – MET**; así como un conjunto de definiciones que utiliza esta técnica. Aunado a lo anterior, se describen formalmente cada uno de los bloques que integran el método propuesto; haciendo un énfasis principal en la metodología para la construcción de ontologías del dominio geográfico.

4.2 Descripción general de GEONTO – MET

GEONTO – MET es una metodología cuyo enfoque principal, se basa en proporcionar una técnica que permita conceptualizar el dominio geográfico, por medio de una ontología de este dominio.

Con esta técnica se busca proporcionar un mecanismo alternativo para la *integración y recuperación* de datos geoespaciales, los cuales puedan representarse a través de una descripción semántica basada en un *diagrama de descripción simbólica*, el cual se obtiene a partir de un *esquema conceptual*.

Por lo tanto, la descripción semántica está compuesta por relaciones y conceptos que envuelven diversos contextos geográficos de este dominio y se utiliza para describir explícitamente las propiedades mediante relaciones de los objetos geográficos; en donde estas relaciones son del tipo topológico y geométrico.

A continuación, en la Figura 4.1 se muestra la *estructura conceptual* del método **GEONTO-MET**, el cual está compuesto de cuatro etapas fundamentales para llevar a cabo la integración y recuperación de objetos geoespaciales.

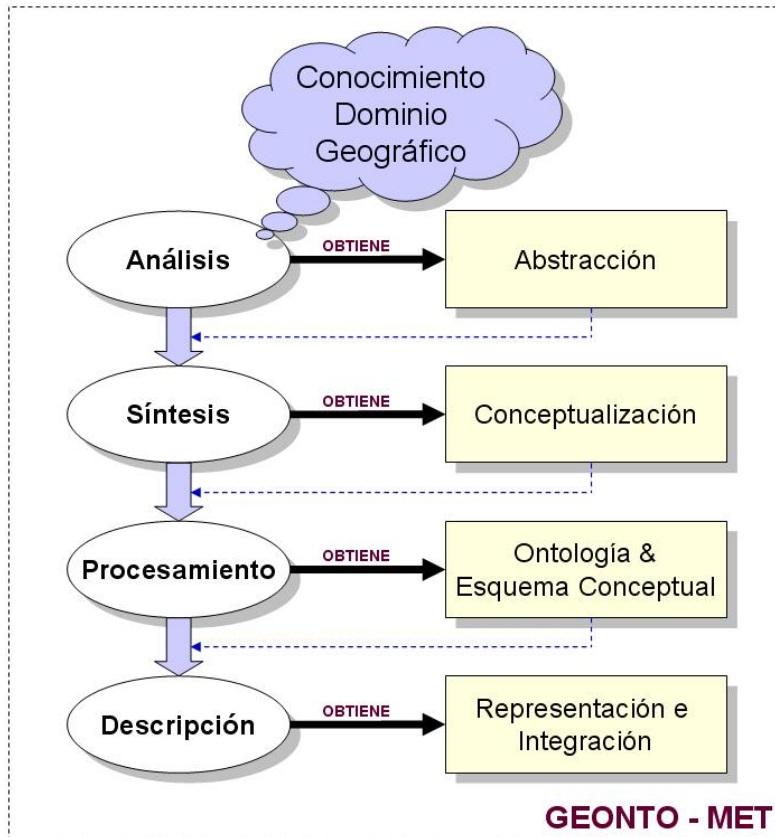


Figura 4.1. Estructura conceptual de GEONTO - MET

De acuerdo con la Figura 4.1, la estructura conceptual propuesta para la técnica **GEONTO – MET** considera inicialmente el *conocimiento del dominio geográfico*. Este conocimiento está basado en diversas fuentes de información¹, las cuales han sido generadas por diversos expertos de este dominio para llevar a cabo el análisis del entorno geográfico.

Posteriormente, es necesario definir una etapa de “*análisis*”. En esta etapa, se realiza una investigación exhaustiva sobre los objetos geográficos que se encuentran involucrados en el dominio geográfico, con el objeto de poder llevar a cabo un proceso de abstracción; de acuerdo con la forma en que los expertos del dominio perciben estas entidades geográficas, por medio de su sentido cognitivo. Como resultado de esta etapa, se obtiene una abstracción completa del dominio geográfico, identificando todos aquellos objetos involucrados en este dominio.

¹ Las fuentes de información consideradas para esta tesis, son los datos recopilados por el INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática), tales como diccionarios de datos geoespaciales, metadatos de datos geoespaciales, mapas, entre otros.

Una vez obtenida la abstracción del dominio geográfico en un sentido general, es necesario pasar a otra etapa de la metodología, la cual ha sido denominada “*síntesis*”. En esta etapa se realiza un análisis de los objetos geográficos involucrados en el dominio para obtener como resultado una clasificación esencial de estos objetos, definiendo un conjunto de *clases de entidades abstractas*. Estas clases permiten describir en términos generales y basándose en las características implícitas de los objetos geográficos a estas entidades; con lo cual se puede obtener una clasificación de los objetos geográficos. De igual forma, se cuenta con las propiedades o relaciones inmersas entre estos objetos; así como una jerarquía a partir de estas clases de entidades abstractas, en donde se puede observar que el nivel más superior de una entidad geográfica es el término “*cosa*”².

Por otra parte, es necesario restringir el dominio que puede tener una ontología del universo geográfico; por tal motivo, en esta etapa se realiza un análisis de los diversos *contextos* que pueden presentar los objetos geográficos, de acuerdo con las fuentes de información analizadas para acotar el dominio³. El contexto de un objeto geográfico juega un rol preponderante, puesto que éste presenta una *dependencia directa* para asignar un significado a los objetos geográficos. Estos significados pueden variar ligeramente, pero en esencia el vocabulario utilizado para describirlos es el mismo. Por lo tanto, la etapa de *síntesis* se encarga también, de generar un método para definir esquemas conceptuales, basándose en las características principales que describen a los objetos geográficos cuando éstos son representados en un modelo lógico. Como resultado de esta etapa, se obtiene una *conceptualización* del dominio geográfico.

Con respecto a la etapa de “*procesamiento*”, es necesario realizar una interacción directa y dependiente entre sí de las clases de entidades abstractas de la ontología con el esquema conceptual. La interacción consiste en verificar que conceptos (objetos geográficos) de la ontología de dominio se encuentran conceptualizados y pueden ser mapeados como instancias de conceptos al esquema conceptual; es decir, qué objetos geográficos se encuentran presentes en diversos contextos y que tipo de significado toman estos conceptos de acuerdo al contexto en el que se encuentran dirigidos.

² El término *cosa* puede referirse semánticamente a algo que puede ser un objeto, un pensamiento, acción o existencia referente a una entidad; es decir, la realidad que es la razón fundamental de las percepciones.

³ La expresión “*acotar el dominio*” significa restringir los objetos geográficos que envuelven al universo de discurso geográfico, por medio de particiones basadas en diversos *contextos*, en donde el significado de los objetos geográficos involucrados puede variar, de acuerdo con el dominio de aplicación en que se encuentran situados o donde actúan estos objetos geográficos.

Por ejemplo, en el **contexto biológico**, un “cuerpo de agua” puede ser visto como un “*lago*”, el cual se define como el hábitat natural para especies específicas y por lo tanto, éste tiene una definición o nombre especial para referirse a este objeto geográfico dentro del contexto biológico. Sin embargo, para un **cartógrafo** un “cuerpo de agua” puede ser de dos tipos: “*natural*” y “*artificial*”, en donde esta partición puede a su vez dividirse en *presas* y *lagos*, por lo tanto, la definición de estos conceptos es más *abstracta*; es decir, en este contexto un “*lago*” es definido como un cuerpo de agua u otros líquidos de tamaño considerable, el cual se encuentra contenido sobre un cuerpo de tierra.

Por lo tanto, se puede observar, que dentro de la conceptualización del dominio geográfico, existe el concepto *lago*, relacionado directamente con una partición de *cuerpos de agua*. Sin embargo, de acuerdo con el contexto en que se describe este objeto geográfico, su significado es diferente; puesto que el dominio de aplicación presenta otros enfoques u objetivos.

En este sentido la etapa de **procesamiento** se encarga de discernir con respecto a los conceptos que se encuentran en la conceptualización del dominio geográfico y la interpretación de éstos en una región espacial específica. Por lo tanto, el objetivo de la etapa es obtener los diversos significados que puede tener un concepto en diversos contextos hasta converger en la definición más abstracta del mismo. Como resultado de esta etapa se obtiene una ontología del dominio geográfico; así como una ontología de aplicación con su correspondiente esquema conceptual.

Por último, con base en las ontologías de dominio y aplicación; así como las relaciones y contextos que son percibidos en este universo geográfico, la etapa de **descripción** se encarga de generar una descripción de los objetos involucrados en un contexto particular.

El objetivo de esta descripción es solucionar en forma parcial problemas de *integración* y *recuperación* de datos geoespaciales en diversas bases de datos geográficas. La forma de llevar a cabo esta descripción está basada principalmente en consultas específicas, con un contexto determinado y dirigida hacia los objetos geográficos envueltos en este contexto.

De igual forma, se considera la definición implícita en las ontologías que pueden tener estos conceptos para recuperar *instancias* de los mismos con sus propios valores y atributos de estas instancias.

Esta descripción proporciona como resultado la definición del concepto al que pertenece el objeto geográfico, junto con todas y cada una de las instancias que pertenecen a ese objeto geográfico; siempre y cuando existan instancias de esos objetos geográficos en la base de datos.

En la sección 4.3 y posteriores se describe el funcionamiento de la metodología para posteriormente, realizar una descripción formal de cada uno de los componentes que intervienen en la arquitectura del método **GEONTO – MET**.

4.3 Descripción funcional de GEONTO – MET

En la sección anterior se describió en términos generales las cuatro etapas principales que componen a la arquitectura del método **GEONTO – MET**, en esta sección se muestra el funcionamiento de cada uno de los componentes que integran estas etapas.

Como se puede observar de la Figura 4.2, el conocimiento del dominio geográfico es la base para poder llevar a cabo una conceptualización. No obstante, diversos trabajos como (Smith, B. & Mark, D.M., 2001), (Smith, B. & Mark, D., 1998) y (Bitters, B., 2005) han propuesto ontologías de dominio geográfico; sin embargo, es importante señalar que las propuestas citadas manejan y consideran a los objetos geográficos como categorías del dominio; así como tipos de objetos del dominio.

En **GEONTO – MET**, primeramente se consideran particiones completas de clases de entidades abstractas, las cuales son clases generales que sirven como base para iniciar con una clasificación jerárquica de los objetos geográficos de este dominio. Además, en esta técnica se consideran un conjunto de propiedades esenciales que describen el comportamiento de los objetos geográficos; así como otras relaciones que presentan entre sí, tales como relaciones de existencia, pertenencia y de operación.

En la Figura 4.2 se muestra el diagrama funcional con los componentes que integran a la metodología propuesta.

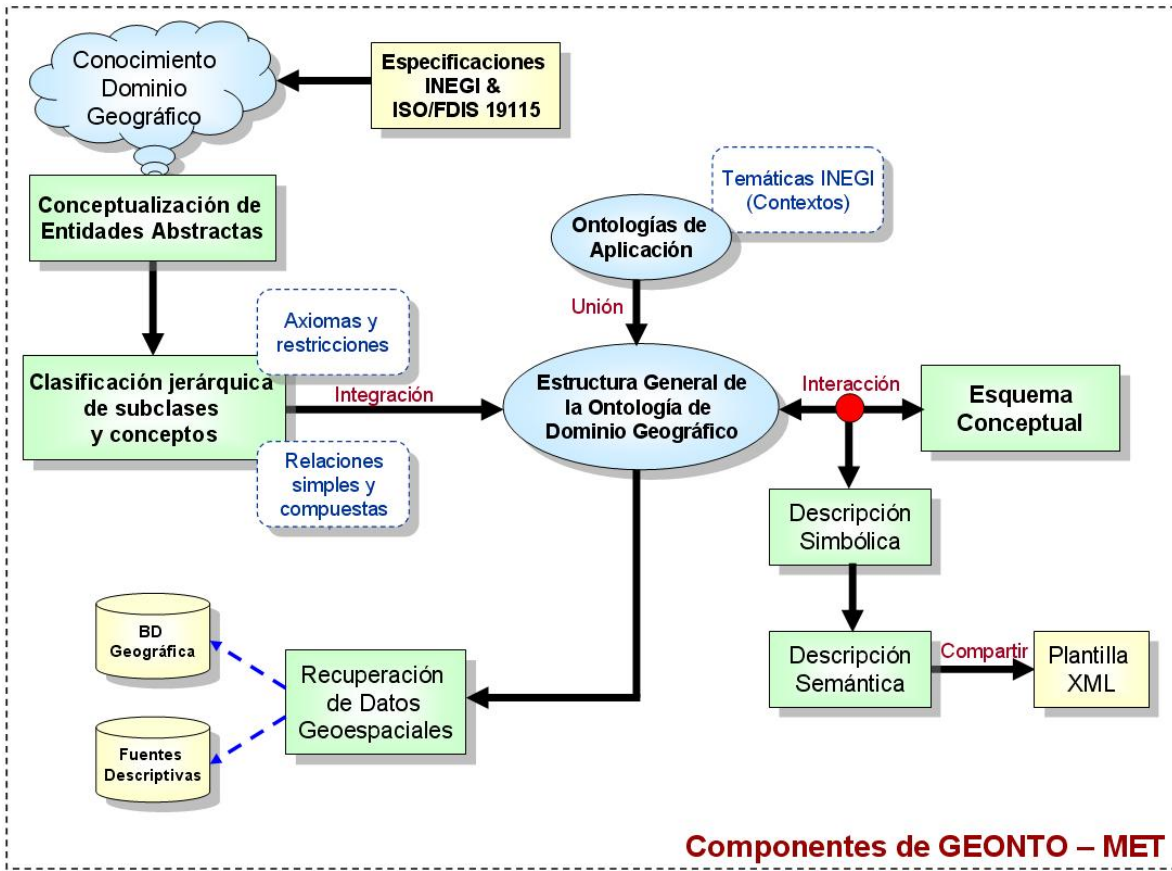


Figura 4.2. Diagrama funcional de elementos que integran GEONTO - MET

De igual forma, se puede apreciar en la Figura 4.2 que la descripción funcional de **GEONTO – MET** inicia con la recopilación de información geográfica o metadatos basados en especificaciones del INEGI y de la ISO 19115. En este caso, las fuentes de datos proporcionan el conocimiento del dominio geográfico y cómo los expertos perciben la abstracción del mundo real para que ésta refleje una vista simplificada del entorno geográfico.

Posteriormente, con base en los conceptos geográficos comparados por los expertos de dominio y las especificaciones, se ha hecho una conceptualización de un conjunto de entidades abstractas, las cuales permiten simplificar la forma en cómo pueden ser organizados, clasificados y almacenados jerárquicamente estos conceptos, lo cual se realiza por medio de clases, las cuales reflejan la naturaleza o característica implícita que posee cada concepto geográfico.

Para realizar el proceso de clasificación y almacenamiento jerárquico de los conceptos dentro de las clases, se han definido dos conjuntos de axiomas esenciales que

permiten evitar inconsistencias en la representación del concepto; así como una serie de relaciones simples y complejas que permiten asociar a los conceptos geográficos con otras clases de entidades abstractas, o bien con otros conceptos de cualquier tipo y que cumplan con las restricciones definidas en la estructura de la ontología.

Con los elementos citados anteriormente, se forma la estructura general de la ontología del dominio geográfico (*Kaab-Ontology*). Cabe señalar que esta ontología incrementa su granularidad semántica de acuerdo con la unión de diversas ontologías de aplicación, las cuales se obtienen a partir de las temáticas que produce el INEGI; en donde éstas son consideradas contextos independientes.

Por otra parte, se ha propuesto un mecanismo de interacción basado en la ontología del dominio geográfico y un esquema conceptual. Este esquema se define como una vista lógica, funcional y simplificada de la ontología y consiste en dos tipos de conceptos esenciales (*terminales y no-terminales*), los cuales cuentan con atributos que describen propiedades de los conceptos geográficos.

Por lo tanto, mediante un algoritmo de mapeo entre estas estructuras, se obtienen las instancias de los conceptos de la ontología, con lo cual se pobla el esquema conceptual para obtener una descripción simbólica. Esta descripción refleja las relaciones entre conceptos de una región espacial en particular, con el objeto de mostrar el comportamiento que presentan los objetos geográficos (conceptos geográficos) de esa región.

Con base en la descripción simbólica se obtiene la descripción semántica, la cual por medio de operadores similares al lenguaje natural intenta dar una interpretación del cómo los humanos perciben las relaciones que reflejan los objetos geográficos. Esta descripción semántica da origen a una plantilla en formato XML, la cual puede ser utilizada para compartir información geoespacial entre diversas comunidades de usuarios.

Por último, se ha diseñado un mecanismo para la recuperación de los objetos geográficos, por medio de conceptos. La técnica para obtener estos objetos geográficos, consiste en asociar un concepto de la ontología con alguna fuente de información geográfica, que en este caso puede ser el nombre de un atributo para obtener las instancias de ese objeto geográfico en forma espacial y descriptiva y siempre considerando valores cualitativos que reflejen la semántica del concepto.

4.4 Hipótesis para conceptualizar el dominio geográfico

De acuerdo con la definición ampliamente aceptada de ontología en Inteligencia Artificial, propuesta por Gruber: “*una especificación formal y explícita de una conceptualización compartida*”. Se puede argumentar lo siguiente.

Esta definición puede ser traducida al dominio geográfico, y ésta se puede interpretar de la siguiente manera: la “*conceptualización*” de un dominio geográfico se refiere a un *modelo abstracto* de algún fenómeno del mundo real, en el cual se identifican las entidades⁴ geográficas relevantes que posteriormente agruparán en forma jerárquica a un conjunto de subclases; en donde estas subclases permiten la agrupación de los conceptos esenciales involucrados en el dominio geográfico; el término “*explícita*” hace referencia a la necesidad de especificar de forma consciente los distintos conceptos que conforman una ontología; “*formal*” indica que este tipo de especificación debe representarse por medio de un vocabulario de un lenguaje de representación formalizado y “*compartida*” refleja que una ontología debe dar cuenta del conocimiento aceptado por al menos de un grupo de personas que utilizarán la especificación.

Es importante señalar que actualmente, los modelos de datos geográficos generalmente son representados explícitamente por un conjunto de objetos básicos y de sus propiedades tales como la geometría y la topología entre otras. En gran parte del mundo geográfico, la *semántica* aparece en las relaciones que poseen los grupos de objetos geoespaciales, tal como lo citan (Worboys, M.F., 1996), (Papadias, D. & Theodoris, Y., 1997), (Ruas, A., 1999) y (Mark, D.M., 1999). No obstante, estas relaciones no representan apropiadamente la *semántica* de los objetos geográficos; puesto que existen otros componentes que deben ser considerados para lograr capturar de mejor forma la semántica de los objetos geográficos, tal es el caso de la geometría.

Para la conceptualización del dominio geográfico, se propone la construcción de *Kaab-Ontology*⁵, la cual es una ontología del dominio geográfico que intenta definir las clases de entidades esenciales que pueden describir este entorno.

⁴ En la metodología de esta tesis, las entidades geográficas se convierten directamente a clases de entidades abstractas, las cuales generan subclases esenciales del dominio geográfico, en donde diversos conceptos geográficos son instanciados.

⁵ *Kaab* es un término proveniente del lenguaje maya, el cual significa Tierra. En este caso la ontología de dominio geográfico que se construye ha sido denominada *Kaab-Ontology*.

A diferencia de (Smith, B. & Mark, D.M., 2001), quienes proponen realizar una división del dominio geográfico en *categorías* o *subdominios*. Esta metodología divide al dominio geográfico en *contextos*, en donde la unión de todos y cada uno de ellos conforman *Kaab-Ontology*. En este caso, surge la pregunta ¿Cuál es la relación que existe entre una ontología del dominio geográfico y un conjunto de ontologías que corresponden a cada contexto?

Para dar una respuesta a esta pregunta, se formula la “**Hipótesis 1**”, la cual dice que un dominio geográfico se puede partir en un conjunto de contextos, lo cual se muestra en la Figura 4.3.

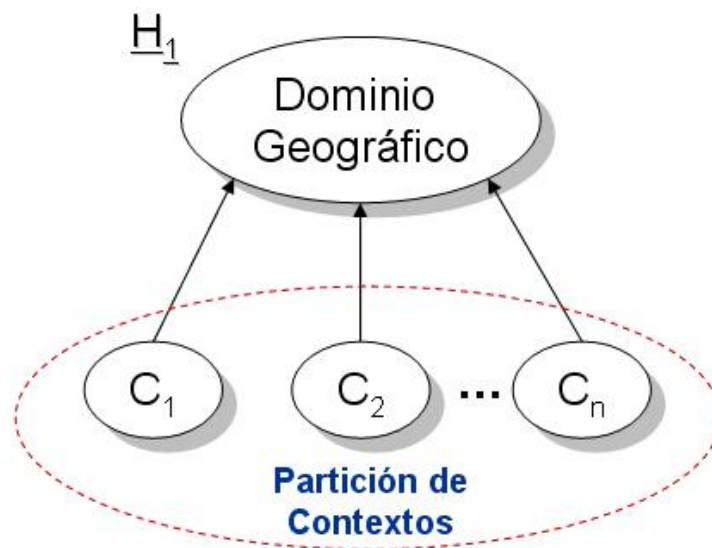


Figura 4.3. Representación gráfica de la Hipótesis 1

De esta forma, la “**Hipótesis 1**” entonces refleja que es posible intentar particionar al dominio geográfico en diferentes contextos, los cuales pueden ir desde C_1 hasta C_n , lo cual se expresa mediante la ecuación 4.1.

$$D_G = \bigcup_{i=1}^n C_i, \quad (4.1)$$

Donde:

D_G representa al dominio geográfico.

C_i representa a las particiones de contextos que contiene el dominio D_G . Las particiones de contextos se refieren a las temáticas derivadas de las especificaciones del INEGI; en donde algún punto que representa un objeto geográfico pertenece a una temática o contexto particular. Por lo tanto, la representación o partición de D_G , sería $D_G(O_g, o_g)$ en diferentes contextos.

En este sentido, existe la “**Hipótesis 2**”, la cual formula lo siguiente: la unión de diversas ontologías que corresponden a cada contexto particular componen el dominio geográfico, con lo cual se forma una ontología de este dominio. En otras palabras, esta hipótesis expresa que el dominio geográfico está compuesto por el conjunto de ontologías que pertenecen a un contexto específico dentro de este dominio (ver Figura 4.4).

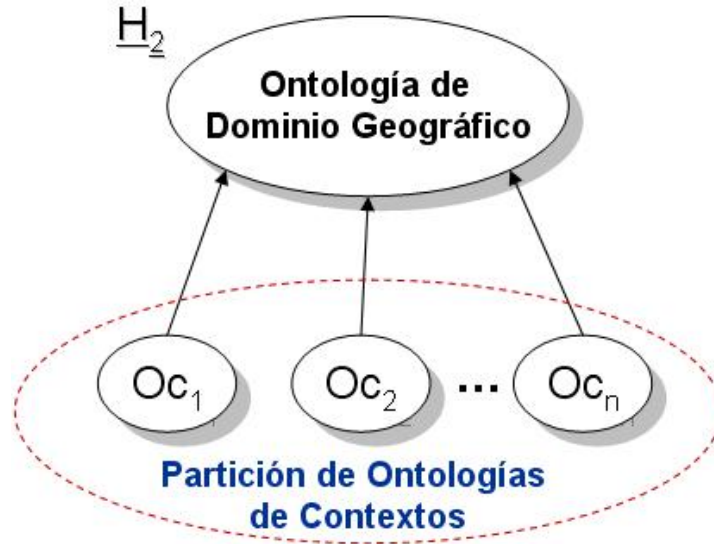


Figura 4.4. Representación gráfica de la Hipótesis 2

En este caso, ahora en la “**Hipótesis 2**” se tiene una ontología de dominio geográfico y como caso particular, cada contexto tiene asociada una ontología geográfica que contiene a los objetos geográficos involucrados en este contexto específico, entonces la unión de O_{C_1} hasta O_{C_n} representa a la ontología de dominio, lo cual es expresado por medio de la ecuación 4.2.

$$O_{D_G} = \bigcup_{i=1}^n O_{C_i}, \tag{4.2}$$

Donde:

O_{D_G} representa a la ontología del dominio geográfico.

O_{C_i} representa a cada ontología de objetos geográficos de un contexto específico.

Asimismo, ya que están descritas las hipótesis 1 y 2, surge una “**Hipótesis 3**”, antes de citarla, es importante señalar que si bien la hipótesis 1 indica que el dominio geográfico es una partición de un conjunto de contextos, la hipótesis 2, sostiene que una ontología del

dominio geográfico también es una partición, pero de un conjunto de ontologías que pertenecen a cada contexto particular.

Por lo tanto, la “**Hipótesis 3**” consiste en la existencia de un *homomorfismo*⁶, entre las particiones de contextos y las particiones de ontologías de cada contexto, entonces para cada contexto C_1, C_2, \dots, C_n existe un mapeo con respecto a las ontologías de contextos específicos que envuelven a ciertos objetos geográficos $O_{C_1}, O_{C_2}, \dots, O_{C_n}$. Esto se expresa mediante la ecuación 4.3.

$$H_3 : C \rightarrow O_C, \quad (4.3)$$

De tal forma, que D_G es la función homomórfica del dominio geográfico, la cual consiste del mapeo de C y de O_C , donde C es un conjunto de contextos que forman una partición del dominio $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$, donde cada $c_n \in C$ y O_C se define como el conjunto de ontologías de contextos específicos que conforman una partición del dominio $O_C = \{o_{c_1}, o_{c_2}, \dots, o_{c_n}\}$, donde cada $o_{c_n} \in O_C$. Por lo tanto, se obtiene una equivalencia en el mapeo de estos elementos. La Figura 4.5 ilustra gráficamente en qué consiste el homomorfismo de las particiones, tanto de la hipótesis 1 con respecto a la hipótesis 2.

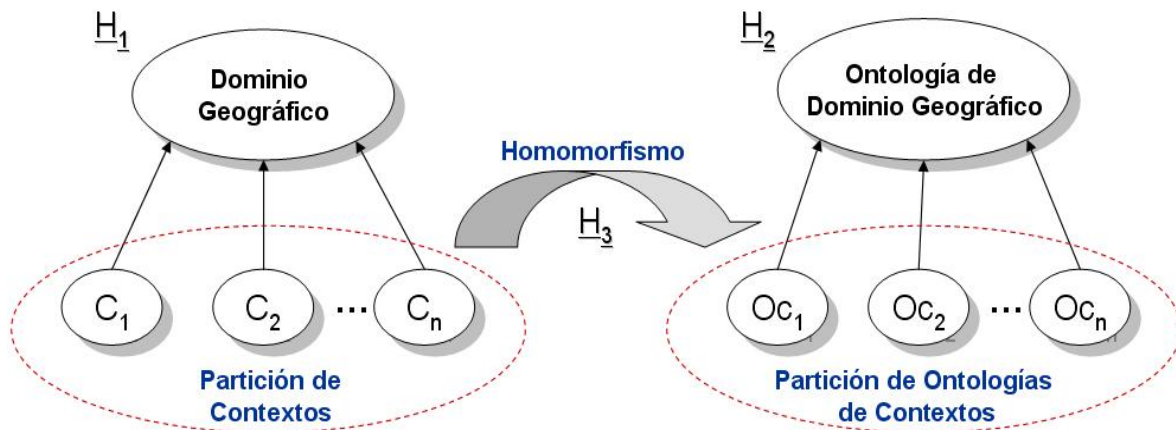


Figura 4.5. Representación gráfica de la Hipótesis 3

Por lo tanto, el resultado de estas hipótesis es la manera en la cual se pueden construir particularmente las ontologías del dominio geográfico, una cuarta hipótesis es la

⁶ El homomorfismo desde un punto de vista matemático a otro de la misma clase, es una función que es compatible con toda la estructura relevante. Por ejemplo, si un objeto consiste en un conjunto X con un orden $<$ y el otro objeto consiste en un conjunto Y con orden $\{$, entonces es válida la función $f: X \Rightarrow Y$ que, si $u < v \Rightarrow f(u) \{ f(v)$. Los homomorfismos definen relaciones de equivalencia. En otras palabras, un homomorfismo es una correspondencia entre estructuras que preserva operaciones. La noción de homomorfismo se estudia abstractamente en el álgebra universal.

construcción de una ontología de aplicación (caso de estudio), con el objeto de demostrar el resultado de la técnica **GEONTO – MET**.

De esta forma, la “**Hipótesis 4**” consiste básicamente en hacer que diversos contextos de la partición del dominio geográfico puedan *converger* para formar este universo geográfico. En secciones posteriores, se describirá formalmente y a detalle el término de *convergencia de contextos*; así como la definición de éste.

4.5 Conceptualización del Dominio Geográfico

De acuerdo con diversas definiciones de ontología, se propone una definición de este término, orientada al dominio geográfico. En este caso, antes de proporcionar una definición formal de una ontología en este contexto, se debe indicar que este tipo de estructuras están compuestas por un conjunto de axiomas, relaciones, clases, instancias, conceptos, habilidades, propiedades y restricciones que describen un dominio geográfico.

Por lo tanto, para el caso de esta tesis, se propone *Kaab-Ontology* como una ontología que *conceptualiza* el dominio geográfico, a través del método **GEONTO - MET**. Cabe señalar, que una ontología del dominio geográfico, esencialmente intenta describir este universo; sin embargo, no existe una posibilidad real en la cual se pueda construir una ontología completa sobre este dominio.

De igual forma, es necesario construir una ontología del dominio geográfico con base en los requerimientos primordiales de expertos en el área, los cuales puedan proporcionar el conocimiento apropiado para casos de estudio particulares; en otras palabras, orientados a contextos específicos.

De acuerdo con lo anterior, es importante mencionar que con estas condiciones se proporcionan ventajas para incrementar el contenido de *conceptos estándar* que puede tener una ontología del dominio geográfico y de esta forma, solo restricciones lógicas, basadas en axiomas pueden restringir el crecimiento de una ontología del dominio geográfico.

Para *Kaab-Ontology* se proponen un conjunto de componentes o términos esenciales para conformar a esta estructura, y que además juegan un papel vital para representar la conceptualización del dominio geográfico.

Cabe señalar que *Kaab-Ontology* se concibe como una analogía⁷ a la técnica del modelado orientado a objetos. (Coad, P. & Yourdon, E., 1991) citan que existe un conjunto de características que pueden definir a este método, entre las cuales se tienen las siguientes:

- **Abstracción.** Cada objeto en el sistema sirve como modelo de un “*agente*” abstracto que puede realizar trabajo, informar y cambiar su *estado*, y “*comunicarse*” con otros objetos en el sistema sin revelar *cómo* se implementan estas características. Los procesos, las funciones o los métodos pueden también ser abstraídos y cuando lo están, una variedad de técnicas son requeridas para ampliar una abstracción.
- **Encapsulamiento.** Significa reunir a todos los elementos que pueden considerarse pertenecientes a una misma entidad, al mismo nivel de abstracción. Esto permite aumentar la *cohesión* de los componentes de los sistemas. Algunos, confunden este concepto con el principio de *ocultación*, principalmente porque se suelen emplear conjuntamente.
- **Ocultación.** Cada objeto está aislado del exterior, es un módulo natural, y cada tipo de objeto expone una *interfaz* a otros objetos que especifica cómo pueden interactuar con los objetos de la clase. El aislamiento protege a las propiedades de un objeto contra su modificación por quien no tenga derecho a acceder a ellas, solamente los propios métodos internos del objeto pueden acceder a su *estado*. Esto asegura que otros objetos no puedan cambiar el estado interno de un objeto de maneras inesperadas, eliminando efectos secundarios e interacciones inesperadas. Algunos lenguajes relajan esto, permitiendo un acceso directo a los datos internos del objeto de una manera controlada y limitando el grado de abstracción. La aplicación entera se reduce a un agregado o rompecabezas de objetos.
- **Polimorfismo.** Son los diferentes comportamientos, asociados a objetos distintos, en donde éstos pueden compartir el mismo nombre, al llamarlos por ese nombre se utilizará el comportamiento correspondiente al objeto que se esté usando. Dicho de otro modo, las referencias y las colecciones de objetos pueden contener objetos de diferentes tipos, y la invocación de un comportamiento en una

⁷ En secciones posteriores se realizará la descripción formal para la conceptualización del dominio geográfico, obteniendo como resultado *Kaab-Ontology*.

referencia, producirá el comportamiento correcto para el tipo real del objeto referenciado. Cuando esto ocurre en “*tiempo de ejecución*”, esta última característica se llama *asignación tardía* o *asignación dinámica*. Algunos lenguajes proporcionan medios más estáticos (en “*tiempo de compilación*”) de polimorfismo, tales como las plantillas y la sobrecarga de operadores de C++.

- **Herencia.** Las clases no están aisladas, sino que se relacionan entre sí, formando una jerarquía de clasificación. Los objetos heredan las *propiedades* y el *comportamiento* de todas las clases a las que pertenecen. La herencia organiza y facilita el *polimorfismo* y el *encapsulamiento* permitiendo a los objetos ser definidos y creados como tipos especializados de objetos preexistentes. Estos pueden compartir (y extender) su comportamiento sin tener que *reimplementarlo*. Esto suele hacerse habitualmente agrupando los objetos en *clases* y éstas en *árboles* o *enrejados* que reflejan un comportamiento común. Cuando un objeto hereda de más de una clase se dice que hay *herencia múltiple*; esta característica no está soportada por algunos lenguajes (como Java).

En este sentido, de acuerdo con (Bonfatti, F. & Monari, P.D., 1994), el modelado orientado a objetos, es un paradigma que define la abstracción del mundo real en términos de “*clases de objetos*”, en donde los objetos son entidades que combinan un *estado* (datos), *comportamiento* (métodos) e *identidad* (propiedad del objeto que lo distingue del resto).

Al momento de *instanciar*⁸ una clase, un objeto contiene toda la información, (atributos) que permiten definirlo e identificarlo frente a otros objetos pertenecientes a otras clases (e incluso entre objetos de una misma clase, al poder tener valores bien diferenciados en sus atributos). A su vez, dispone de mecanismos de interacción (métodos) que favorecen la comunicación entre objetos (de una misma clase o de distintas), y en consecuencia, el cambio de estado en los propios objetos. Esta característica lleva a tratarlos como *unidades indivisibles*, en las que no se separan (ni deben separarse) información (datos) y procesamiento (métodos).

Esto difiere de otras técnicas de modelado, en la que los datos y los procedimientos están separados y sin relación, ya que lo único que se busca es el procesamiento de unos datos de entrada para obtener otros de salida. El modelo estructurado anima al usuario a pensar sobre todo en términos de procedimientos o funciones, y en segundo lugar en las

⁸ El término *instanciar* se refiere a crear un objeto de una clase.

estructuras de datos que esos procedimientos manejan. En el modelado estructurado se escriben funciones y después se les pasan datos. En la Figura 4.6 se muestran los elementos principales que componen el modelado orientado a objetos.

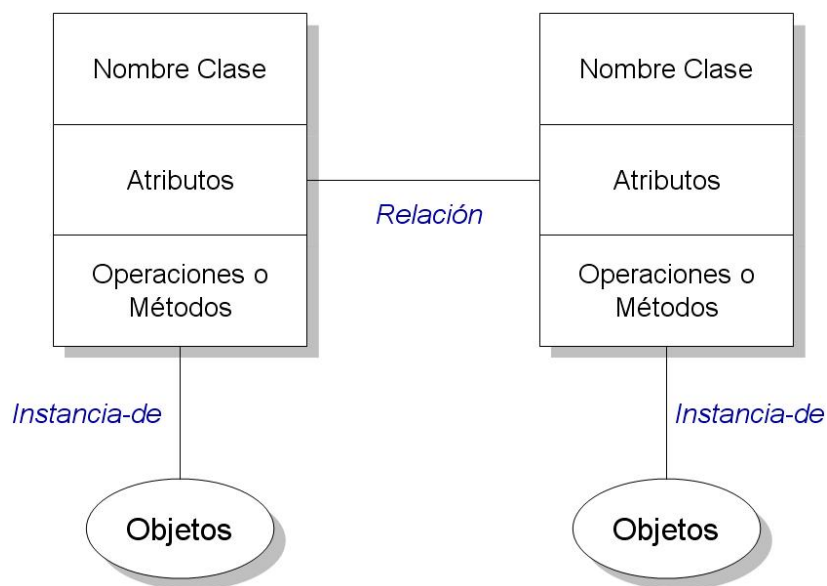


Figura 4.6. Elementos esenciales del modelado orientado a objetos

De acuerdo con la Figura 4.6, una *clase* está compuesta por *atributos* y *métodos*, en donde una clase puede ser *instanciada* para crear un *objeto*. Este objeto posee todas las características de la clase y puede comunicarse con otra clase a través de algún tipo de relación que permita *mapearlo* hacia un objeto de otra clase.

Retomando la concepción del modelado orientado a objetos, *Kaab-Ontology* relaciona conceptos, por medio de un conjunto de *relaciones básicas*, en donde estas relaciones tienen un mapeo directo con las clases del modelado orientado a objetos. En otras palabras, cuando se realiza el proceso de abstracción del mundo real, las entidades son representadas por medio de clases.

Por ejemplo, “**La Av. Reforma es una calle**”. Esto quiere decir, que la entidad “**calle**” será traducida al nombre de una **clase**, en donde la relación “*es-un*” es la base para realizar el *mapeo* de una abstracción del mundo real, hacia una *representación conceptual*. Por otro lado, “**La Av. Reforma es una calle de primer orden**”⁹, lo que indica que *tiene* un orden a lo que se considera como una **propiedad** o **atributo**, en donde la determinación de

⁹ “Primer orden”, es un atributo que pertenece a un dominio fijo, de acuerdo con las especificaciones del INEGI, y éste significa que calles de “primer orden” son todos los boulevares, periféricos, ejes viales, viaductos y avenidas principales.

esta propiedad se realiza a través de la relación “**tiene**”. Por último, “**La Av. Reforma intersecta con la Av. Insurgentes**”; en este caso se tiene la relación “*intersecta con*”, en donde esta relación determina un tipo de **operación** o **método** que es necesario ejecutar para obtener el punto de intersección de ambas calles. Por lo tanto, la analogía de utilizar la relación “*hacer*” se utiliza para mapear relaciones entre objetos geográficos, en donde estas relaciones a su vez son conceptos, a lo que se concluye que la relación “*hacer*” conecta un concepto relacional con otro concepto que puede considerarse natural, tal es el caso de “*intersecta con*”. En la Figura 4.7 se muestra la analogía del modelado orientado a objetos, con respecto a las relaciones que se utilizan en *Kaab-Ontology*.

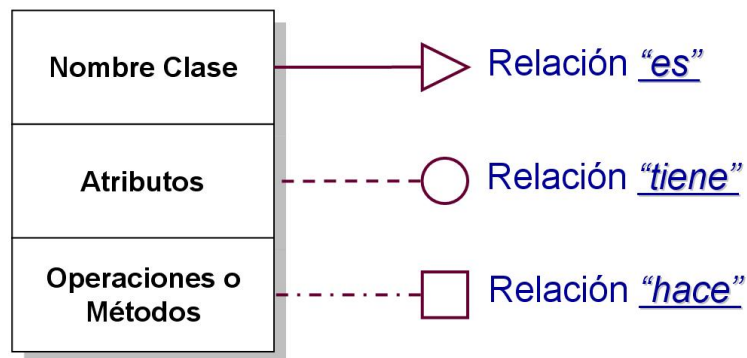


Figura 4.7. Definición de relaciones para *Kaab-Ontology*, haciendo una analogía con la técnica de modelado orientado a objetos

De acuerdo con lo anterior, de esta forma existen un conjunto de relaciones que se utilizan para vincular o mapear los diversos conceptos que se encuentran agrupados dentro de las clases de entidades abstractas.

Por lo tanto, haciendo una analogía con respecto a la técnica de *modelado orientado a objetos*, la *conceptualización* del dominio geográfico produce como resultado *Kaab-Ontology*, la cual está compuesta por conjuntos de: axiomas, propiedades, instancias, conceptos, clases, relaciones, restricciones y por un contexto que define el universo de discurso. A continuación se describen las definiciones formales de todos estos elementos.

4.5.1 Definición de Axiomas

Para la conceptualización del dominio geográfico, es necesario el uso de *axiomas*¹⁰ que permitan validar el conocimiento, a través de expresiones lógicas que reflejen las propiedades de los objetos geográficos.

La filosofía principal de esta metodología de conceptualización, está basada en minimizar el número de axiomas, a través de la reducción de la cantidad de relaciones axiomáticas. Para esto, se propone definir un conjunto pequeño de relaciones binarias axiomáticas, las cuales se dividen en dos subconjuntos que posteriormente serán definidos.

Un axioma es un elemento esencial en *Kaab-Ontology*; puesto que permite distinguir conceptos *estándar* de conceptos basados en *relaciones*. En este caso, la existencia de los axiomas permite reflejar una realidad evidente, la cual puede ser generada a partir de concepciones lógicas y éstos deben ser explícitamente consistentes.

Asimismo, los axiomas permiten establecer las *restricciones* con respecto a las relaciones que *mapean* a los conceptos dentro de *Kaab-Ontology*, con el objeto de evitar *inconsistencias* entre los conceptos que representan a los objetos geográficos.

En este sentido, se considera que una ontología más detallada es una *ontología axiomatizada*, por lo cual ésta es una ontología *terminológica*, cuyas categorías se distinguen por medio de axiomas y definiciones expresadas en una lógica o en algún lenguaje que podría ser automáticamente traducido en una teoría lógica (Sowa, J., 2000).

Algunos ejemplos de ontologías axiomatizadas incluyen el modelo principal del proyecto GALEN, descrito en (Rector, A., Nowlan, W. & Glowinski, A., 1993), la ontología PSL definida en (Schlenoff, C., Knutilla, A. & Ray, A., 1998); y CYC en (Lenat, D. & Guha, R., 1990).

La *axiomatización* del dominio geográfico, se refiere a un conjunto de axiomas que se utilizan para representar el *significado* de los términos en la ontología (*Kaab-Ontology*). En este caso, los términos de la ontología contienen las definiciones de acciones complejas

¹⁰ Un axioma es una *verdad evidente* sobre la cual descansa el resto del conocimiento o sobre la cual se construyen otros conocimientos. En matemáticas un *axioma* no es necesariamente es una *verdad evidente*, sino una *expresión lógica* utilizada en forma de una *deducción* para llegar a una *conclusión*. En matemáticas se distinguen dos tipos de axiomas: lógicos y no-lógicos. (Definición de Wikipedia).

y restricciones, sobre la ocurrencia de estas acciones. Así, el conjunto de instancias contendrá el plan o escenario particular de eventos externos.

Los axiomas en la ontología especifican las definiciones de los términos y las restricciones de su interpretación; éstos están definidos como relaciones o enunciados de primer orden, utilizando predicados de la ontología, con esto se puede contar con una mayor expresividad de los términos de *Kaab-Ontology*.

En este sentido, es importante entender el significado del uso de axiomas para definir los términos y las restricciones para los objetos en la ontología, por lo cual un axioma debe ser proporcionado para definir la *semántica* o *significado* de todos y cada uno de los conceptos de *Kaab-Ontology*.

Estos *axiomas* deben cumplir con un conjunto de propiedades matemáticas que permitan garantizar el establecimiento de restricciones al momento de definir conceptos y cómo éstos se relacionan entre sí. A continuación se proporcionan los dos subconjuntos esenciales que integran la ontología para el dominio geográfico (ver ecuaciones 4.4 y 4.5). Como se observa en la ecuación 4.4, el primer axioma consta de tres relaciones, las cuales se denotan en A_1 .

$$\begin{aligned} A_1 &= \{es, tiene, hace\}, \rho \in A_1 \\ \rho &= es, tiene, hace \end{aligned} \quad (4.4)$$

En donde el conjunto A_1 representa los axiomas básicos que describen a las *relaciones simples*:

“*es*” describe una relación de **existencia** de objetos geográficos.

“*tiene*” indica una relación de **pertenencia** de propiedades de los objetos geográficos o conceptos del tipo relación.

“*hace*” es una relación de **operación**, la cual describe acciones y eventos de los objetos geográficos.

Algunos ejemplos para el uso de este axioma se describen a continuación:

- “**área urbana es objeto geográfico artificial**”
- “**río tiene profundidad**¹¹”
- “**aeropuerto hace compartir con área urbana**”

El segundo subconjunto de relaciones axiomáticas se denota por A_2 y está compuesto por términos simples que representan a las preposiciones (ver ecuación 4.5).

$$A_2 = \left\{ a, \text{ ante}, \text{ bajo}, \text{ con}, \text{ contra}, \text{ de}, \text{ desde}, \text{ en}, \text{ entre}, \text{ hacia}, \text{ hasta}, \right. \\ \left. \text{ para}, \text{ por}, \text{ según}, \text{ sín}, \text{ so}, \text{ sobre}, \text{ tras}, \text{ junto } _ a, a _ \text{ través } _ \text{ de} \right\}, \pi \in A_2 \quad (4.5)$$

$\pi = \text{preposiciones}$

En este caso, el conjunto A_2 se utiliza para definir las restricciones de la relación de operación “*hace*”. Cabe señalar que los elementos de este conjunto son *preposiciones*, las cuales se utilizan para mapear conceptos del tipo *relación* con conceptos *estándar*¹².

Algunos ejemplos del uso de este axioma se describen a continuación:

- “**área urbana hace compartir con área verde urbana**”
- “**carretera hace conectar con municipio**”, o bien
- “**río hace cruzar por curva de nivel**”.

Las Figuras 4.8 y 4.9 muestran gráficamente el uso de los axiomas A_1 y A_2 definidos para *Kaab-Ontology*.

¹¹ En este caso “**profundidad**” puede ser un *concepto*, o bien puede considerarse una *propiedad*, en donde posiblemente los valores de esta propiedad sean: “baja”, “media” y “alta”; por lo tanto conceptos y propiedades pueden ser mapeados, a través de una relación de pertenencia. El término de propiedad será definido formalmente en secciones posteriores.

¹² La definición de conceptos relación y estándar se describe en la sección 4.5.6.

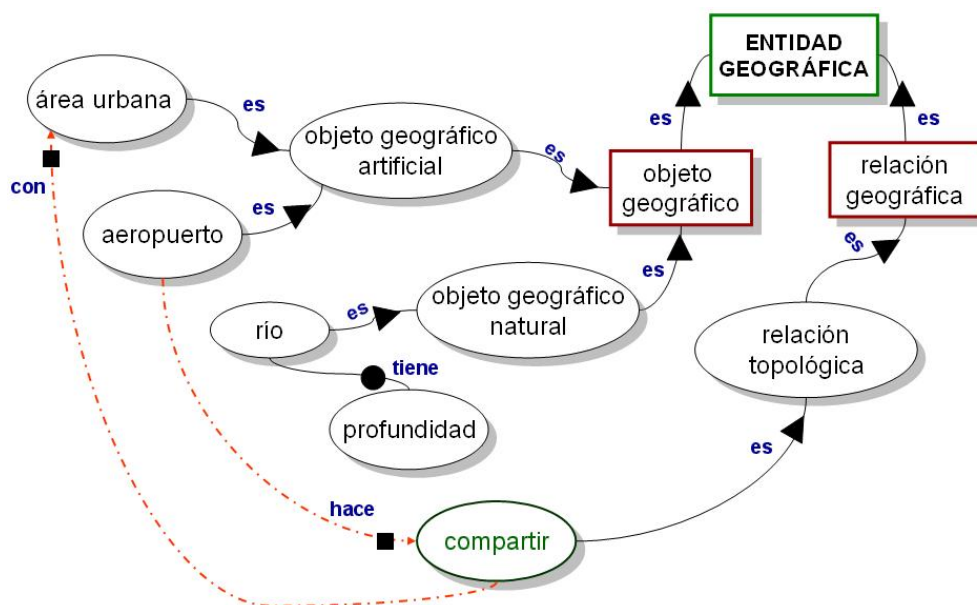


Figura 4.8. Representación gráfica de relaciones simples, por medio de los axiomas A_1

En la Figura 4.8 se puede observar que existen diversos tipos de conceptos tales como: *área urbana*, *aeropuerto* y *río*, a estos conceptos se les denomina como **estándar**.

De igual forma, estos conceptos estándar se definen por medio de una relación de **existencia**¹³; en este caso la relación “es” sirve para describir la *herencia* de estos conceptos con *objeto geográfico natural* y *objeto geográfico artificial*, los cuales a su vez heredan de *objeto geográfico* que es un elemento de la partición que compone al concepto *entidad geográfica*.

La relación de **pertenencia**¹⁴ “*tiene*” se utiliza para vincular un concepto **estándar** con otro concepto **estándar**, o en su defecto con una **propiedad**.

Por último, una relación de operación¹⁵ “*hace*” se utiliza para vincular un concepto **estándar** con un concepto **relacional**, como es el caso del concepto “*compartir*”.

Las flechas indican el origen (concepto estándar) y destino (concepto relacional). El concepto relacional por lo tanto, es vinculado a través del término “*con*”, el cual denota una relación del tipo **preposicional**.

¹³ La relación de existencia “es” se denota gráficamente a través de la forma geométrica **triángulo**.

¹⁴ La relación de pertenencia “tiene” se denota gráficamente a través de la forma geométrica **círculo**.

¹⁵ La relación de operación “hace” se denota gráficamente a través de la forma geométrica **cuadrado**.

Para el caso de la Figura 4.9, se muestra que los conceptos relacionales “compartir”, “cruzar” y “conectar” heredan del **concepto estándar** “relación topológica”, el cual a su vez es un elemento que forma parte de la partición del **concepto estándar** “entidad geográfica”.

Además, se puede observar que las relaciones “es” y “hace” son elementos del conjunto A_1 ; así como las relaciones “con” y “por” son elementos del conjunto A_2 , con lo cual se observa que los axiomas propuestos son condicionantes suficientes para describir y restringir las inconsistencias en la conceptualización del dominio geográfico.

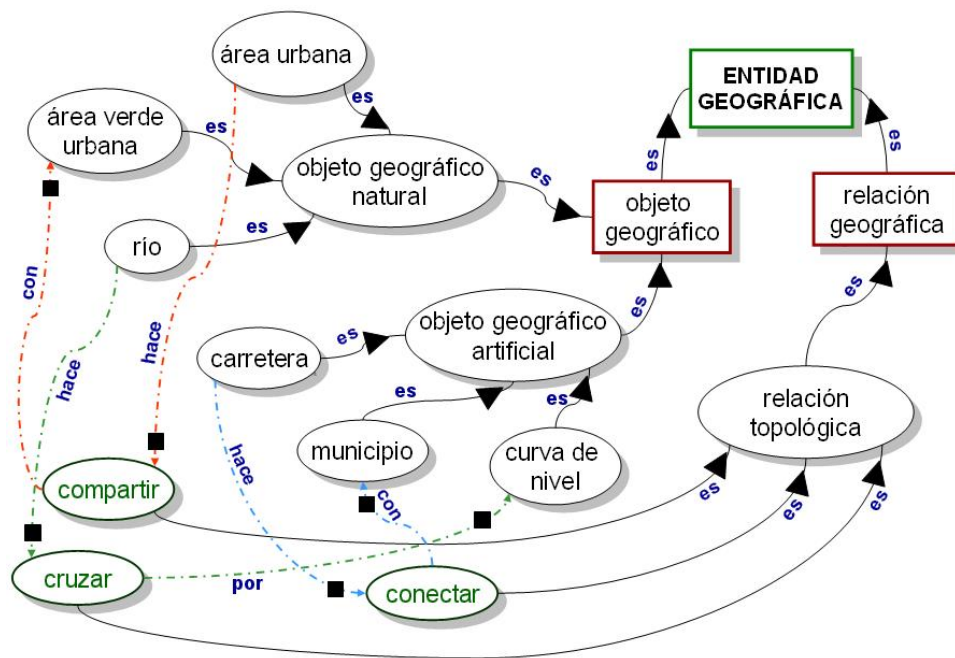


Figura 4.9. Representación gráfica de relaciones simples, por medio de los axiomas A_1 y A_2

Para validar los **axiomas** A_1 y A_2 propuestos, es necesario verificar las propiedades de simetría, reflexividad y transitividad; por lo cual para estos casos se considera lo siguiente:

Relación binaria. Sea A un conjunto cualesquiera; por lo cual se dice que R es una relación binaria en A si $R \rightarrow A \times A$; es decir, si R es un subconjunto del producto cartesiano citado.

Por ejemplo, dado un conjunto A , denotado de la siguiente forma: $A = \{a, b, c, d\}$, existe una relación entre los elementos del conjunto A y en donde la relación entre los elementos de este conjunto se representa a través de la Figura 4.10.

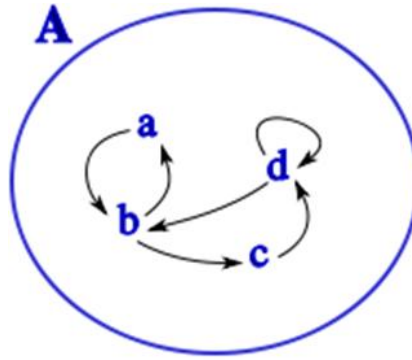


Figura 4.10. Relación entre los elementos de un conjunto

Como se puede observar en la Figura 4.10, solo hay un conjunto, el A y la relación entre los elementos es interior al conjunto. En este caso esto se representa por medio de flechas. Con base en lo anterior, se puede decir que $aRb, bRc, cRd, dRd, dRb, bRa$, esto indica una enumeración de las relaciones entre los elementos del conjunto A . Entonces, de acuerdo con lo anterior tenemos lo siguiente:

Simetría. Una relación binaria R sobre un conjunto A es simétrica si se cumple que para toda a y b que pertenecen a A ; si a está relacionada con b , entonces b está relacionada con a , lo cual se expresa por medio de la ecuación 4.6.

$$\forall a, b \in A, aRb \Rightarrow bRa \quad (4.6)$$

Antisimetría. Una relación binaria R sobre un conjunto A es antisimétrica si se cumple que para toda a y b que pertenecen a A ; y si a está relacionada con b , y b está relacionada con a , entonces $a = b$, lo cual se expresa por medio de la ecuación 4.7.

$$\forall a, b \in A, aRb \wedge bRa \Rightarrow a = b \quad (4.7)$$

En otras palabras, la asimetría puede denotarse también como sigue: (ver ecuación 4.8).

$$\text{si } aRb \text{ entonces } \neg(bRa) \quad (4.8)$$

Reflexividad. Una relación binaria R sobre un conjunto A es reflexiva si se cumple que para toda a que pertenece a A , a está relacionada consigo misma. Si está escrita en forma de pares, deben figurar tantos pares (a,a) como elementos tenga el conjunto. Asimismo, si algunos pares de (a,a) figuran y otros no, entonces la relación es **no-**

reflexiva. Si ningún par (a,a) figura, la relación es **anti-reflexiva**. La reflexividad queda expresada por la ecuación 4.9.

$$\forall a \in A, aRa \quad (4.9)$$

Por lo tanto, la no-reflexiva puede denotarse a través de la ecuación 4.10.

$$\exists a \in A \ni a \neg Ra \quad (4.10)$$

Por último una relación anti-reflexiva se denota en la ecuación 4.11.

$$\forall a \in A, a \neg Ra \quad (4.11)$$

Transitividad. Una relación binaria R sobre un conjunto A es transitiva si se cumple que para toda a, b y c que pertenecen a A . Si a está relacionada con b y b está relacionada con c , entonces a está relacionada con c , lo cual se expresa mediante la ecuación 4.12.

$$\forall a, b, c \in A, aRb \wedge bRc \Rightarrow aRc \quad (4.12)$$

Cabe señalar, que cuando una relación es reflexiva y transitiva se conoce como un **preorden**.

En este caso, un preorden que es antisimétrico se denomina un **orden parcial**; de igual manera, un preorden que también es simétrico se considera una relación de **equivalencia**.

En este sentido, se puede decir que una **relación de equivalencia** es toda relación binaria que es reflexiva, simétrica y transitiva; y una **relación de orden** es aquella relación binaria que es reflexiva, anti-simétrica y transitiva.

De acuerdo con las definiciones anteriores, en la Tabla 4.1 se muestra el axioma A_1 , demostrando las propiedades que corresponden a la relación binaria “es”.

Asimismo, se ilustran algunos ejemplos con respecto a las propiedades de esta misma relación.

Tabla 4.1. Propiedades que contiene la relación “es” del axioma A_1

$A_1 = \{es, tiene, hace\}$; Relación: “es”

PROPIEDAD	DESCRIPCIÓN	EJEMPLO
No-simétrica	$\forall a, b \in C, a(es)b \wedge b(es)a \Rightarrow a = b$	Lago es <i>cuerpo de agua</i> pero <i>cuerpo de agua</i> no es lago , puesto que existen otros objetos geográficos que también son <i>cuerpos de agua</i> , tales como presa, laguna, etc.
Reflexiva	$\forall a \in C, a(es)a$	Lago es lago , puesto que un objeto geográfico tiene identidad propia.
Transitiva	$\forall a, b, c \in C, a(es)b \wedge b(es)c \Rightarrow a(es)c$	Si un acueducto es un <i>objeto geográfico artificial</i> y un <i>objeto geográfico artificial</i> es un <i>objeto geográfico</i> , entonces un acueducto es un <i>objeto geográfico</i> .

En la Tabla 4.2 se muestra el axioma A_1 , demostrando las propiedades que corresponden a la relación binaria “tiene”. Asimismo, se ilustran algunos ejemplos con respecto a las propiedades de esta misma relación.

Tabla 4.2. Propiedades que contiene la relación “tiene” del axioma A_1

$A_1 = \{es, tiene, hace\}$; Relación: “tiene”

PROPIEDAD	DESCRIPCIÓN	EJEMPLO
No-simétrica	$\forall a, b \in C, a(tiene)b \wedge b(tiene)a \Rightarrow a = b$	Un estado tiene <i>municipio</i> pero <i>municipio</i> no tiene estado .
No-reflexiva	$\exists a \in C \ni a \neg (tiene)a$	Un área urbana no <i>tiene</i> un área urbana .
Transitiva	$\forall a, b, c \in C, a(tiene)b \wedge b(tiene)c \Rightarrow a(tiene)c$	Si país <i>tiene estado</i> y <i>estado tiene municipio</i> , entonces país <i>tiene municipio</i> .

En la Tabla 4.3 se muestra el axioma A_1 , demostrando las propiedades que corresponden a la relación binaria “hace”. Asimismo, se ilustran algunos ejemplos con respecto a las propiedades de la relación “hace”.

Tabla 4.3. Propiedades que contiene la relación “hace” del axioma A_1

$A_1 = \{es, tiene, hace\}$; Relación: “hace”

PROPIEDAD	DESCRIPCIÓN	EJEMPLO
No-simétrica	$\forall a, b \in C, a(hace)b \wedge b(hace)a \Rightarrow a = b$	Área urbana <i>hace compartir</i> , pero <i>compartir</i> no hace área urbana o bien, gato <i>hace comer</i> , pero <i>comer</i> no hace gato .
No-reflexiva	$\exists a \in C \ni a \neg (hace)a$	Acueducto no <i>hace acueducto</i> .
No-transitiva	$\exists a, b, c \in C \ni a(hace)b \wedge b(hace)c \Rightarrow a \neg (hace)c$	Área urbana <i>hace compartir</i> con aeropuerto y aeropuerto <i>hace colindar</i> con panteón no implica que área urbana <i>hace colindar</i> con panteón .

En resumen, la Tabla 4.4 muestra las propiedades esenciales que cumplen las relaciones axiomáticas del conjunto A_1 .

Tabla 4.4. Resumen de propiedades que contienen las relaciones del axioma A_1

RELACIÓN	SIMETRÍA	REFLEXIVIDAD	TRANSITIVIDAD	DEFINICIÓN
“es”	X	√	√	Existencia
“tiene”	X	X	√	Pertenencia
“hace”	X	X	X	Operación

X = No cumple √ = Si cumple

Tomando en consideración las definiciones con respecto a las propiedades de simetría, reflexividad y transitividad, se puede observar que la relación “es” cumple con las condiciones necesarias y suficientes para ser *reflexiva* y *transitiva*, por tal motivo la relación “es” se considera una relación de **orden parcial**.

Para el caso del segundo conjunto de relaciones axiomáticas, el cual se denota por A_2 , éste contiene elementos que son relaciones del tipo **preposicional**, las cuales únicamente se utilizan para el mapeo de un *concepto relacional* con un *concepto estándar* (véase sección 4.5.6 para definición de estos términos), por medio de la relación simple¹⁶ que en este caso es “hace”.

En este sentido, una preposición es una *clase* de palabra invariable del vocabulario de un lenguaje que introduce el *sintagma preposicional*¹⁷. En el caso de esta metodología, una preposición actúa en la asignación de *roles temáticos*¹⁸ y *marcas casuales*¹⁹.

Por otra parte, existen las **preposiciones compuestas**, las cuales están formadas por dos preposiciones unidas: *por*, *por entre*, *por sobre*, *de entre*, *desde entre*, *para con*, *tras de*, etc. Las locuciones prepositivas, al igual que las preposiciones anteriores, precisan algunos aspectos de espacio y tiempo. Asimismo, las preposiciones actúan algunas veces como *nexos* que unen los verbos auxiliares con los verbos en forma no personal.

¹⁶ Las relaciones simples son todas aquellas relaciones axiomáticas que pertenecen al conjunto A_1 .

¹⁷ El *sintagma preposicional* está constituido por una preposición que funciona como nexo predicativo y un sintagma nominal ("libro de física", "pato a la naranja", "carece de preparación") o, más raramente, un sintagma adjetivo: "Perdió por imprudente", "lo tienen por muy listo" o un sintagma adverbial: "Lo dejó para luego", "vete para allá".

¹⁸ Los roles temáticos se refieren al significado.

¹⁹ Las *marcas casuales* se definen como los permisos que reciben los nombres para aparecer en el *sintagma*, cumpliendo una función gramatical.

Por lo tanto, todas estas relaciones, se definen como *no-simétricas*, *no-reflexivas* y *no-transitivas*; aunque lingüísticamente algunas de ellas no cumplan estas propiedades²⁰, pero por conveniencia para esta metodología y como se verá en las restricciones definidas para conceptualizar el dominio geográfico; las propiedades de las relaciones axiomáticas del conjunto A_2 son de la siguiente forma:

Sea $r \in A_2$, entonces:

- $\forall a, b \in C, arb \wedge bra \Rightarrow a = b$
- $\exists a \in C \ni a \neg ra$
- $\exists a, b, c \in C \ni arb \wedge brc \Rightarrow a \neg rc$

En la Tabla 4.5 se muestra un resumen de las propiedades correspondientes al conjunto preposicional A_2 .

Tabla 4.5. Resumen de propiedades que contienen las relaciones del axioma A_2

RELACIONES PREPOSICIONALES	SIMETRÍA	REFLEXIVIDAD	TRANSITIVIDAD	DEFINICIÓN
“a, ante, bajo, con, contra, de, desde, en, entre, hacia, hasta, para, por, según, sin, so, sobre, tras, junto_a, a través_de”	X	X	X	Utilizadas con la relación axiomática “hace” para vincular conceptos geográficos

De acuerdo con las consideraciones tomadas para el conjunto preposicional A_2 , éste puede presentar algunas restricciones con base en las propiedades consideradas para la metodología.

Por ejemplo, para el caso de la preposición “*junto_a*” ésta puede ser considerada como una relación simétrica. En este caso, si se considera lo siguiente: el **Río Suchiate hace colindar junto_a Guatemala**. Sin embargo, **Guatemala hace colindar junto_a Río Suchiate**. Por lo tanto, en este caso la simetría de la relación no afecta el contexto ni la semántica que brindan estos conceptos con su relación axiomática del tipo operación y preposicional.

No obstante, pueden presentarse algunos casos en que ciertas preposiciones presenten inconsistencias con respecto a las restricciones definidas para la conceptualización del dominio geográfico. Por tal motivo, para garantizar la consistencia de la definición de

²⁰ Por ejemplo, la preposición *junto_a* es una relación que cumple con la propiedad de simetría.

conceptos y el mapeo de sus relaciones en forma adecuada, se ha considerado que las relaciones preposicionales deben ser no-simétricas, no-reflexivas y no-transitivas. Con esto se tiene que este tipo de relaciones únicamente se encarga de vincular conceptos del tipo relación con conceptos estándar en un solo sentido, garantizando que no existe la posibilidad de que el contexto semántico de un concepto estándar pueda modificarse directamente por algún sintagma preposicional.

Por otra parte, es importante recalcar que para los fines de esta investigación se define lo siguiente:

- A. En los conjuntos de axiomas definidos en esta metodología, el conjunto A_2 es *completo* al ser éste ya definido y acotado.
- B. En esta metodología no se consideran las *frases preposicionales*, como por ejemplo “*tras las rejas y fuera de las rejas*”. Únicamente se establecen para los fines de la conceptualización del dominio geográfico relaciones *simples* y *compuestas* que están basadas en los conjuntos de axiomas definidos.
- C. Asimismo, en algunos casos las preposiciones pueden ser utilizadas como sustitutos de relaciones representadas por *verbos*, i.e., la preposición “*junto_a*” puede ser considerada como “*cabe*” o en su defecto “*a_través_de*” como “*vía*”.
- D. En algunos casos, la teoría presentada tiene el objeto fuente constante, al igual que la acción efectuada constante, por lo cual se considera que las preposiciones que se usan son *constantes*; es decir, éstas no cambian el significado según al tipo de objeto al que se aplica. Por ejemplo: “*Miguel hace sentar en silla*”, o bien “*Miguel hace sentar en restaurant*”. En este caso, el significado de la preposición “*en*” no cambia, para lo cual “*Miguel realiza la acción de sentarse; es decir acomodar su cuerpo sobre un objeto geográfico*”. Esto quiere decir que el contexto juega un rol preponderante para la definición. Además, entre lenguajes humanos el mapeo de preposiciones no está muy bien definido, por lo cual no se realiza ningún tipo de vínculo en este sentido. Hay que recalcar que la metodología únicamente está siendo orientada al dominio geográfico con base en un conjunto de diccionarios proporcionados por el INEGI como fuentes de datos, por lo cual

si se quiere aplicar a otros ámbitos posiblemente es necesario modificar o agregar más axiomas.

- E. En este trabajo se utiliza lenguaje natural para definir los conjuntos de axiomas A_1 y A_2 , pero la aplicación de éstos está muy limitada a expresar *relaciones espaciales* que nos conducen a un *lenguaje artificial*, para lo cual sería viable en trabajos a futuro definir el mapeo en A_1 con A_1 , A_1 con A_2 , A_2 con A_1 y A_2 con A_2 .
- F. Por último, cabe señalar que no se pueden identificar las acciones asociándolas con diferentes identificadores, porque eso ocasionaría caer en la *Paradoja de Frege*; es decir, se tendría una bifurcación de los significados (Van Heijenoort, J., 1967).

4.5.2 Definición de Relaciones

Para la conceptualización del dominio geográfico se consideran un conjunto finito de relaciones, las cuales pueden clasificarse de dos tipos: relaciones *simples* y relaciones *compuestas*.

Las **relaciones simples** son todas aquellas que tienen la forma siguiente: $a\rho b \in R_s$, donde $a, b \in C$ y $\rho \in A_1$.

Las **relaciones compuestas** presentan una forma compleja: $a\rho b\pi c \in R_c$, donde $a, b, c \in C$; $\rho \in A_1$ y $\pi \in A_2$. Este tipo de relaciones se denotan como relaciones ternarias y están enfocadas principalmente a vincular relaciones axiomáticas entre la relación “*hace*” que pertenece a A_1 con elementos del conjunto A_2 .

En este sentido, la relación “*es*”, se considera una relación de **existencia** o de **identidad**, por medio de la cual se pueden caracterizar los conceptos. Esta relación involucra *herencia* de propiedades y habilidades. Además, permite jerarquizar los conceptos. En otras palabras, se puede formar una jerarquía de conceptos, a través de esta relación. Algunos sinónimos que puede tener esta relación pueden ser: “*hijo_de*” y “*es_un*”.

Con respecto a la relación “*tiene*”, ésta es una relación de **pertenencia** (también llamada de *agregación*) o bien de **uso** (relacionada con *asociación*), mediante la cual se pueden definir las propiedades que describen y envuelven a un concepto.

Por último, la relación “*hace*”, es una relación de **ejecución** o de **acción**. Con esta relación se definen las habilidades, acciones u operaciones que están asociadas a un concepto estándar. Esta relación tiene como objetivo esencial mapear conceptos del tipo *relacional* con alguna relación axiomática del subconjunto A_2 para vincular el origen (un concepto estándar) con un destino (que en este caso es otro concepto estándar).

Como resumen, se presenta la Tabla 4.6, en donde se muestran las características principales de las relaciones consideradas en la conceptualización del dominio geográfico.

Tabla 4.6. Características principales de las relaciones de *Kaab-Ontology*

RELACIÓN	CARACTERÍSTICAS
“ <i>es</i> ”	Es una relación jerárquica que provee la capacidad de “ <i>herencia</i> ”, a través de esta relación se puede crear una jerarquía de conceptos (existencia).
“ <i>tiene</i> ”	Proporciona la capacidad de “ <i>agregación</i> ” o “ <i>composición</i> ” de conceptos (pertenencia).
“ <i>hace</i> ”	Permite describir las capacidades de actuación de un concepto (operaciones).

Es importante señalar que las relaciones axiomáticas de R_C , permiten *describir*, dar *causalidad* o *intensionalidad* a las relaciones de R_S .

Asimismo, la forma compuesta permite tener el mínimo de **relaciones axiomáticas** y a su vez dar **semántica** a las relaciones que no lo son. Estas relaciones son suficientes para describir el dominio geográfico.

En este caso, consideramos que la semántica de los objetos geográficos, es proporcionada básicamente por las relaciones que existen entre estos elementos; así como las relaciones simples y compuestas que dan intensionalidad a los conceptos. Por tal motivo, estamos de acuerdo con (Worboys, M.F., 1996).

Por otra parte, se denota a R_V como el conjunto de **relaciones válidas**. Entonces, R_V se considera el conjunto de todas aquellas relaciones, tales que cumplen con las restricciones definidas para conceptualizar el dominio geográfico, lo cual puede expresarse como sigue: $R_V = \{r_{v_1}, r_{v_2}, r_{v_3}, \dots, r_{v_n}\} \in A_2$.

Asimismo, se denota R_R como el conjunto de relaciones que existen en una conceptualización real o concreta.

Es importante señalar que el número de relaciones posibles que puede contener *Kaab-Ontology* está dado por la ecuación (4.13).

$$N_{rp} = n_{\alpha_1} n(n-1) + n_{\alpha_2} n(n-2) \quad (4.13)$$

En donde:

$n = \text{card}(C)$ es el número de conceptos que tiene el conjunto R_V .

$n_{\alpha_1} = \text{card}(A_1)$ es el número de relaciones axiomáticas del conjunto A_1 .

$n_{\alpha_2} = \text{card}(A_2)$ es el número de relaciones axiomáticas del conjunto A_2 .

4.5.3 Definición de Propiedades

En *Kaab-Ontology* una propiedad se define como un **concepto agregado** o **asociado**, en donde la agregación se realiza a través de una relación de pertenencia (“*tiene*”). Las propiedades se encargan de describir las características que poseen o envuelven a un concepto estándar.

Cabe señalar que el término de propiedad está relacionado a los *atributos* que contienen un concepto de *Kaab-Ontology*. Estas propiedades pueden describir características específicas de un concepto estándar. Sin embargo, se considera que una propiedad a su vez es un *concepto*; pero *agregado*, el cual a su vez puede contener un conjunto de valores que completan una partición.

Por lo tanto, sean a y b conceptos que pertenecen al conjunto de conceptos C^{21} , lo cual queda expresado en la ecuación (4.14).

²¹ La definición de concepto C se proporciona en la sección 4.5.6, en donde se describe formalmente este término para la ontología del dominio geográfico.

$$a, b \in C \quad (4.14)$$

Con lo cual, se dice entonces que b es una propiedad de a , si $a(\textit{tiene})b$. En este caso, b es una propiedad concreta de a si b es una **instancia**. Por lo tanto, las propiedades que no son concretas se denominan **propiedades abstractas**.

Por ejemplo, supongamos lo siguiente: “**Lago tiene Profundidad**”. Se puede observar que “**Lago**” es un concepto estándar, el cual contiene un conjunto de atributos que lo describen, tal como es el caso de “**Profundidad**”. La relación de pertenencia “*tiene*” sirve para definir propiedades a los conceptos estándar y a su vez para determinar que estas propiedades son igualmente conceptos pero agregados.

Por lo tanto, en este caso “**Profundidad**” puede ser: “**profundidad_baja**”, “**profundidad_media**” o “**profundidad_alta**”, entonces se dice que “**Profundidad**” es una *propiedad* de “**Lago**” y “**profundidad_baja, _media o _alta**” son *propiedades concretas* del concepto “**Lago**”.

De igual forma, “**Profundidad**” es un concepto agregado, el cual puede formar una partición completa, de acuerdo con un conjunto de valores asociados a este concepto; con lo cual entonces se puede tener para este caso particular que $\text{Profundidad} = \{(0 < \textit{baja} \leq 2m), (2 \leq \textit{media} \leq 5m), (\textit{alta} > 5m)\}$.

Además, se puede denotar como Π al *conjunto de propiedades*, Π_C al *conjunto de propiedades concretas* y Π_A al *conjunto de propiedades abstractas*. Por lo tanto, se puede decir que, $\Pi = \Pi_A \cup \Pi_C$ y $\Pi_A \cap \Pi_C = \emptyset$. Por lo tanto no existen excepciones para estos casos. Lo anterior, se puede observar en la Figura 4.11 la cual muestra cómo un concepto agregado es una propiedad de un concepto estándar y además, por medio de una relación de pertenencia pueden definirse sus propiedades.

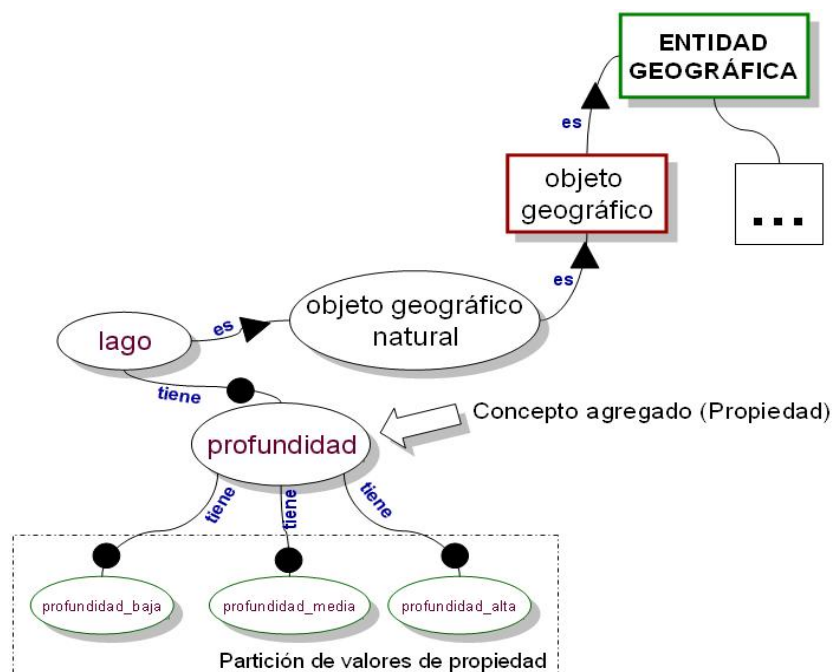


Figura 4.11. Representación gráfica de propiedades en *Kaab-Ontology*

Como se observa en la Figura 4.11, los valores que contiene la propiedad “*Profundidad*”, se consideran **propiedades concretas**, solo que en este caso cuentan con valores que describen las características que tiene una propiedad, como es el caso de la profundidad que puede tener un lago.

El término de **concepto agregado** hace referencia principal a la distinción de los conceptos estándar, conceptos de clase y conceptos relacionales; puesto que los conceptos agregados permiten tener valores que describan características, o estén asociados con las propiedades de los conceptos. Es importante aclarar que los conceptos clase, los conceptos relacionales y los conceptos agregados no pueden tener *instancias* de sí mismos.

4.5.4 Definición de Habilidades

En *Kaab-Ontology* es indispensable definir el término de *habilidad*. Este término se encuentra directamente asociado a la relación simple “*hace*”.

Por tal motivo, una *habilidad* se define como la forma en la cual se realizan las **operaciones** sobre los *conceptos estándar*. La habilidad está enfocada únicamente al mapeo que realizan los *conceptos relacionales* con otros conceptos estándar, de una forma compuesta.

Por lo tanto, podemos expresar una habilidad de la siguiente forma: Sean a y b conceptos que pertenecen al conjunto de conceptos C ; es decir, $a, b \in C$. Entonces, se dice que b es una habilidad de a , si $a(\text{hace})b$; en donde b se considera una habilidad concreta de a , siempre y cuando b sea una instancia o concepto estándar. Por lo tanto, las habilidades que no son concretas se han denominado como habilidades abstractas.

En este sentido, se denota como H al conjunto de habilidades, H_C es el conjunto de habilidades concretas y por último H_A es el conjunto de habilidades abstractas, con lo cual se puede decir que $H = H_A \cup H_C$ y $H_A \cap H_C = \emptyset$ y no existen excepciones para estos casos.

Por ejemplo: “**carretera** *hace* conectar *con* **área urbana**”. En este caso, “*carretera*” y “*área urbana*” son conceptos estándar. Asimismo la habilidad o la operación que existe entre estos conceptos es la de “*conectar*”; en donde éste es un concepto relacional; por lo cual la forma para disponer de habilidades dentro de la ontología de dominio geográfico, es a través de la relación simple “*hace*” y se utiliza una relación del tipo preposición (para este caso “*con*”) para vincular la acción de los dos conceptos estándar (ver Figura 4.12).

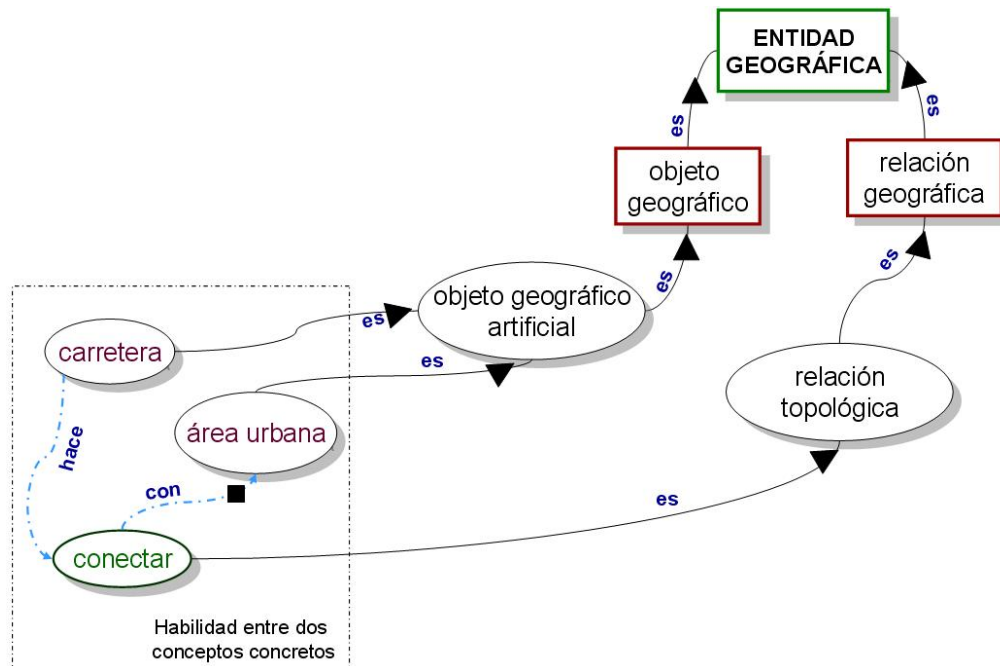


Figura 4.12. Representación gráfica de habilidades en *Kaab-Ontology*

En la Figura 4.12 se puede observar que la representación de operaciones se da por medio de una relación simple de habilidad (“*hace*”) para poder mapear un concepto relacional con conceptos estándar. El concepto “*conectar*” pertenece al concepto estándar relación topológica, el cual a su vez es hijo de la clase relación geográfica.

4.5.5 Definición de Instancias

El término de instancia en *Kaab-Ontology* está relacionado directamente con los *individuos* que pertenecen a ciertos tipos de conceptos.

Por tal motivo, para la conceptualización del dominio geográfico se define a una *instancia*, como una colección de habilidades y propiedades concretas, las cuales tienen una existencia única. Además, estos individuos únicamente pueden ser creados a partir de los conceptos estándar.

En otras palabras, una *instancia* puede considerarse como un concepto contenido en la jerarquía formada por la relación “*es*”, cuyas propiedades y habilidades son siempre concretas.

Como características peculiares de una instancia se tienen las siguientes:

- Es un concepto que contiene propiedades concretas.
- Es un concepto que tiene habilidades concretas.
- Es un concepto que no tiene hijos en la jerarquía.
- Es un concepto que no tiene particiones completas; ya que son entidades dinámicas²².
- Las instancias son individuos que no son clases.

²² El término de entidad dinámica se refiere a que estos individuos pueden existir por ejemplo en una base de datos; sin embargo, con el tiempo pueden ser actualizados, se pueden agregar más individuos al tipo de concepto al que pertenecen, o en su defecto puede ser eliminados.

Por lo tanto, se denota I , como el conjunto de todos los conceptos que son instancias en la conceptualización del dominio geográfico.

Desde un punto de vista pragmático, el conjunto I puede vislumbrarse como una base de datos, por lo cual esto puede expresarse por medio de la ecuación 4.15.

$$I = \bigcup_{j=1}^n i_j \quad (4.15)$$

En donde i son instancias que pertenecen a *conceptos estándar*. La unión representa todo un esquema de instancias que pragmáticamente pueden poblar una tabla de una base de datos.

En la Figura 4.13 se muestra un ejemplo de instancias que pertenecen a un tipo de concepto, las cuales tienen una dependencia directa de “*existencia*”, a través de la relación “*es*”.

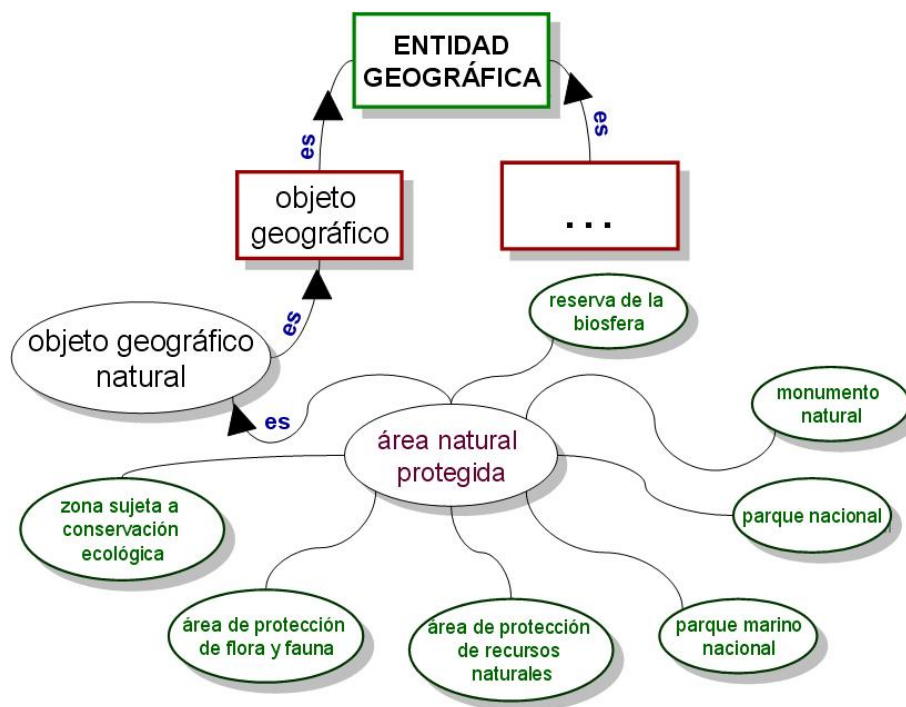


Figura 4.13. Representación gráfica de instancias en *Kaab-Ontology*

Como se observa en la Figura 4.13, las instancias que contiene el concepto “área natural protegida”, son representadas en color verde. De igual forma, estas instancias son conceptos y pueden existir valores concretos sobre las mismas. Por ejemplo: “**Xcaret**” es un “**Parque Marino Nacional**”, el cual contiene valores tales como área, perímetro, tipo de hábitat, tipos de especies, coordenadas geográficas, entre otros.

Entonces, se puede decir que “*Xcaret*” es un individuo de la instancia “*Parque Marino Nacional*”, pragmáticamente dentro de una base de datos geográfica. No obstante, los valores de este individuo pueden ser modificados de acuerdo con cambios en el tiempo; es decir, el área puede incrementarse o disminuirse, las especies pueden variar o simplemente desaparecer por completo el individuo.

4.5.6 Definición de Conceptos

Para la conceptualización del dominio geográfico, se han considerado definir distintos tipos de conceptos que componen a *Kaab-Ontology*. En este sentido, existen peculiaridades para la definición de estos conceptos.

Por lo tanto, para la ontología de este dominio se define a un **concepto**²³ como una colección de habilidades y propiedades abstractas, las cuales presentan una existencia única. Como se mencionó al inicio de la sección, existen tres tipos de conceptos para *Kaab-Ontology*:

- **Conceptos Relación.** Este tipo de conceptos están asociados a las acciones (*verbos*) que puede realizar un concepto. En otras palabras, estos conceptos se definen como elementos que denotan una acción u operación sobre conceptos. Al conjunto de los conceptos relación se denominan como C_R .
- **Conceptos Estándar.** Este tipo de conceptos se relacionan directamente con los objetos abstractos (*sustantivos*), los cuales se definen como elementos que pertenecen a una clase de entidades abstracta. Por lo tanto, un concepto estándar se denota por el conjunto C_E .
- **Conceptos Clase.** Este tipo de conceptos se denotan por C_L , los cuales sirven para generar particiones de C_R y C_E .

Por lo tanto, de esta manera el conjunto C se expresa como $C = C_R \cup C_E \cup C_L$, tal que $C_E \cap C_R = \emptyset$, $C_E \cap C_L = \emptyset$ y $C_L \cap C_R = \emptyset$; es decir que C_L , C_R y C_E son conjuntos disjuntos y no existen excepciones para ningún caso.

²³ De acuerdo con la definición de WordNet, un concepto puede definirse como una concepción o construcción de algo abstracto o de una idea general inferida o derivada de la realidad o de instancias específicas.

A continuación se muestran algunos ejemplos de conceptos relación, conceptos estándar y conceptos clase, los cuales se ilustran en la Figura 4.14.

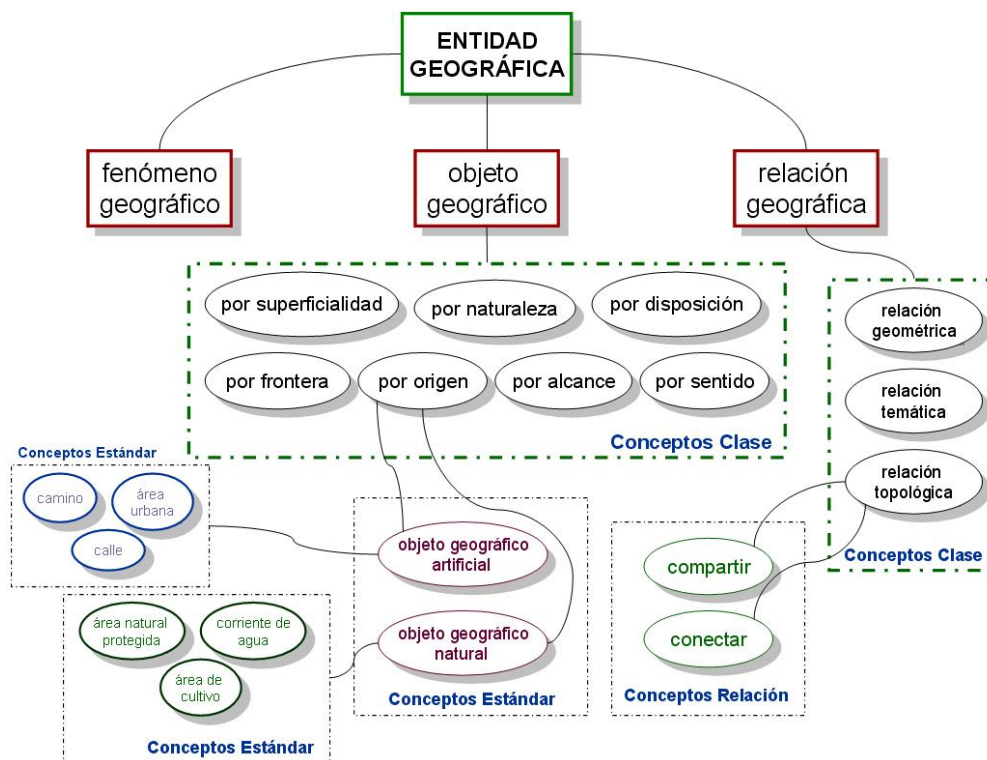


Figura 4.14. Representación gráfica de conceptos del tipo relación, estándar y clase en Kaab-Ontology

4.5.7 Definición de Clases de Entidades Abstractas

Por otra parte, de acuerdo con las hipótesis citadas para el manejo de particiones de contexto y ontologías de contextos específicos, se proponen inicialmente un conjunto de *clases de entidades abstractas*, las cuales se definen como entidades esenciales del dominio geográfico por sus características. Estas clases permiten representar y clasificar a los objetos geográficos, desde un punto de vista abstracto y en un sentido cognitivo por parte de los expertos de dominio, o simplemente por cualquier sujeto que decida construir su propia ontología.

En otras palabras, este término hace referencia a los *conceptos* que agrupan jerárquicamente entidades u objetos del mundo real dentro de estas clases abstractas. Aunque estas clases de entidades pueden estar asociadas con entidades o clases en un esquema de base de datos, éstas usualmente son muy ricas en su *contenido semántico*, ya

que representan conceptos independientes y esenciales para la representación y clasificación taxonómica de los datos geográficos o de su modelado.

Una *clase de entidades abstracta* puede definirse como el conjunto de elementos o términos esenciales que forman una partición completa²⁴ de la clase y que no es posible *instanciarlas*, y que además representan, clasifican y agrupan a los objetos geográficos, de acuerdo con la naturaleza de sus características intrínsecas.

Esta partición de clases de entidades abstractas solo puede *heredar* otro conjunto de subclases que se consideran conceptos estándar, los cuales forman particiones completas de las subclases para las clases de entidades abstractas.

Por lo tanto, estas subclases sí pueden *instanciarse* y están compuestas por los *conceptos* que describen a cada objeto geográfico; así como por un conjunto de relaciones axiomáticas.

Una clase se puede definir de acuerdo con las siguientes características relacionadas a un concepto:

1. Tienen como hijos, por medio de una relación de **existencia** “*es*”, solo conceptos, no instancias; es decir, $\forall a, b \in C \ni a(es)b \Rightarrow a \notin I$.
2. Forman una partición completa.

En este caso, la relación “*es*” es equivalente a una relación de “*subclase_de*”.

Por lo tanto, una clase de entidad abstracta puede ser expresada de la siguiente forma:

$$C_L = \bigcup \{c_{l_1}, c_{l_2}, c_{l_3}, c_{l_4}, c_{l_5}, c_{l_6}, c_{l_7}\}; \quad (4.16)$$

Donde c_l es una clase de entidad abstracta.

El conjunto de entidades abstractas que se han definido como las particiones esenciales de una ontología de dominio geográfico (*Kaab-Ontology*), son en total siete clases, las cuales se describen en la Tabla 4.7.

²⁴ El decir que una partición está completa, significa que todos los conceptos que se encuentran en esta clase son todos aquellos posibles que pueden agruparse en la misma y no existen términos adicionales para la partición.

Tabla 4.7. Clases de entidades abstractas que componen *Kaab-Ontology*

CLASE	DEFINICIÓN
<i>Por origen</i> (<i>moots</i>)	Esta clase describe a los objetos geográficos por su tipo o composición intrínseca dentro del mundo real; es decir, indica la forma en la cual éstos fueron construidos o concebidos en el sentido cognitivo de los seres humanos; es decir, si son objetos artificiales construidos por el hombre o son objetos naturales creados por la naturaleza.
<i>Por frontera</i> (<i>xuul</i>)	Esta clase indica el tipo de frontera o límite que pueden tener los objetos geográficos de acuerdo con su naturaleza en el mundo real. Además, esta clase permite categorizar a los objetos geográficos de acuerdo con el tipo implícito de sus fronteras.
<i>Por superficialidad</i> (<i>ixco</i>)	Esta clase describe cómo pueden ser localizados los objetos geográficos dentro del mundo real; es decir, cual es el ambiente natural en el cual se presentan físicamente los objetos geográficos.
<i>Por naturaleza</i> (<i>sayab</i>)	Esta clase permite observar si los objetos geográficos pueden ser vistos dentro del mundo real o simplemente existen como parte de un proceso cognitivo de abstracción, en el cual se sabe que ciertos objetos geográficos existen, pero debido a sus características intrínsecas y por el conocimiento del ser humano pueden clasificarse como reales o imaginarios.
<i>Por sentido</i> (<i>paakat</i>)	Esta clase indica si los objetos geográficos que componen el mundo real, son perceptibles a los sentidos del ser humano. Considerando como sentidos la visión, audición, olfato, gusto y tacto, con lo cual se puede determinar cómo el ser humano puede percibir de una u otra forma la sensibilidad de los objetos geográficos.
<i>Por alcance</i> (<i>chuuk</i>)	Esta clase determina la magnitud con respecto al tamaño que puede representar un objeto; es decir, el alcance en cuanto a dimensiones o extensión territorial que determina el tamaño de un objeto geográfico.
<i>Por disposición</i> (<i>utskiin</i>)	Esta clase permite identificar la composición sobre la cual se encuentra localizado un objeto geográfico, haciendo referencia a la disposición del mismo sobre los elementos esenciales que componen al mundo real.

De igual forma, cada clase abstracta que compone el dominio geográfico está basada en un conjunto de subclases que heredan las propiedades y métodos de las clases abstractas. Estas subclases forman particiones completas de *conceptos*.

De esta forma, las subclases de las siete clases de entidades abstractas propuestas para conceptualizar el dominio geográfico, se describen en la Tabla 4.8. Estas clases abstractas representan un rol jerárquico dentro de la ontología, describiendo el dominio en términos generales de clases que se definen como particiones de *Kaab-Ontology*. De igual forma, las relaciones esenciales entre estas clases representan un mapeo primario para el dominio geográfico de los objetos involucrados en este universo.

Tabla 4.8. Conceptos esenciales que pertenecen a las subclases de las clases de entidades abstractas que componen *Kaab-Ontology*

CLASE	SUBCLASE (CONCEPTO)	SIGNIFICADO
Por origen (<i>moots</i>)	<i>Objeto geográfico natural</i>	Un objeto geográfico natural es todo aquel objeto geográfico que forma parte del mundo real y en donde su creación, no depende de la interacción del ser humano. Por ejemplo: bosques, corrientes de agua, curvas de nivel, pantanos, zonas arenosas, etc.
	<i>Objeto geográfico artificial</i>	Un objeto geográfico artificial, es aquel objeto que su creación es generada por la intervención humana, en donde diversas características o factores determinan su origen. Por ejemplo: carreteras, conductos, líneas de comunicación, puentes, presas, entre otros.
Por frontera (<i>xuul</i>)	<i>Objeto geográfico bona fide</i>	Un objeto <i>bona fide</i> ²⁵ es un objeto geográfico que su frontera o límite se deriva directamente por la composición implícita y natural del objeto geográfico, en donde los límites o fronteras son determinados de acuerdo con su escala de presentación. Son objetos <i>bona fide</i> : lagos, ríos, áreas verdes, pantanos, curvas de nivel, etc.
	<i>Objeto geográfico fiat</i>	Los objetos <i>fiat</i> ²⁶ son todos aquellos objetos geográficos que su límite o frontera está determinada por el consenso de un grupo de seres humanos, de acuerdo con un arreglo que es producto de diversas convenciones sociales establecidas. Por ejemplo: límites entre países, cementerios, presas, calles, mojoneras, entre otros.
Por naturaleza (<i>sayab</i>)	<i>Objeto geográfico real (visible)</i>	Son aquellos objetos geográficos visibles en el mundo real, los cuales existen físicamente y pueden ser percibidos por los seres humanos a simple vista, sin importar que sean naturales o artificiales. Por ejemplo: arrecifes, salinas, terrenos sujetos a inundación, zonas arenosas, áreas naturales protegidas, cuerpos de agua, carreteras, áreas urbanas, etc.
	<i>Objeto geográfico imaginario (invisible)</i>	Son los objetos geográficos que no son visibles por el ser humano; sin embargo, se sabe de su existencia en el mundo real. Estos objetos pueden dar origen a la construcción de otros objetos geográficos. Ejemplo de objetos geográficos imaginarios: las curvas de nivel, los puntos acotados y los límites.
Por superficialidad (<i>ixco</i>)	<i>Objeto geográfico superficial</i>	Son todos aquellos objetos geográficos que se encuentran localizados físicamente sobre la superficie de la tierra. Por ejemplo: aeropuertos, áreas de cultivo, áreas urbanas, instalaciones portuarias, corrientes de agua, etc.
	<i>Objeto geográfico sub-superficial</i>	Son todos aquellos objetos geográficos que se encuentran localizados físicamente bajo la superficie de la tierra, tales

²⁵ Objeto *bona fide*, proviene del latín y significa *buena fe*.

²⁶ Objeto *fiat* significa frontera física y determinística.

		como: acueductos subterráneos, arrecifes bajos, bordos, minas, entre otros.
	<i>Objeto geográfico super-superficial</i>	Son los objetos geográficos que se encuentran localizados y suspendidos físicamente sobre la superficie de la tierra. Ejemplos de estos objetos tenemos: estructuras elevadas, líneas de transmisión, puentes, rutas de teleféricos, etc.
Por sentido (<i>paakat</i>)	<i>Objeto geográfico perceptible</i>	Son aquellos objetos geográficos sensibles y perceptibles a los seres humanos. Esta percepción está basada en los sentidos. Entre este tipo de objetos geográficos se tienen: canales, caminos, instalaciones, presas, rasgos arqueológicos, entre otros.
	<i>Objeto geográfico imperceptible</i>	Esta categoría de objetos hace referencia a todos aquellos objetos geográficos que no pueden ser sensibles al ser humano; es decir, que ningún tipo de sentidos permite a las personas percibir este objeto. Por ejemplo: las curvas de nivel, los puntos acotados, los límites y fronteras en su forma natural ²⁷ .
Por alcance (<i>chuuk</i>)	<i>Objeto geográfico regional</i>	Son todos aquellos objetos geográficos que en el contexto de su tamaño, éste es determinado por una magnitud de cubrimiento. En este caso, el “término” <i>regional</i> hace referencia a objetos relativamente pequeños a su alcance y contexto. Ejemplos de objetos con alcance regional: aeropuertos locales, acueductos, áreas urbanas, estanques, instalaciones de bombeo, calles, conductos, cuerpos de agua, linderos, entre otros.
	<i>Objeto geográfico nacional</i>	Son todos aquellos objetos geográficos que en el contexto de su tamaño, éste es determinado por una magnitud de cubrimiento o extensión. En este caso, el “término” <i>nacional</i> hace referencia a objetos relativamente medianos a su alcance y contexto. Ejemplos de este tipo de objetos: aeropuertos nacionales, límites estatales, vías férreas, autopistas federales, etc.
	<i>Objeto geográfico internacional</i>	Son todos aquellos objetos geográficos que en el contexto de su tamaño, éste es determinado por una magnitud de cubrimiento o extensión. En este caso, el “término” <i>internacional</i> hace referencia a objetos relativamente grandes a su alcance y contexto. Ejemplos de este tipo de objetos: aeropuertos internacionales, límites internacionales, mojoneras, entre otros.
Por disposición (<i>utskiin</i>)	<i>Objeto geográfico tierra</i>	Son todos aquellos objetos geográficos que la composición de su localización y la forma en que el ser humano los percibe, esencialmente es en la tierra. Como ejemplo se tienen: bordos, áreas naturales protegidas, depósitos de desechos, faros, límites, malpais, lumbreras, etc.

²⁷ El hecho de decir que estos objetos son imperceptibles en su forma natural, tal es el caso de los límites y fronteras se refiere particularmente, a que este tipo de objetos geográficos por sus características implícitas no pueden ser percibidos. Aunque por ejemplo exista un puente divisor entre la frontera de dos países. Este hecho implica que el ser humano utiliza su aparato cognitivo para inferir la existencia de este tipo de objetos geográficos.

	<i>Objeto geográfico agua</i>	Son todos aquellos objetos geográficos que la composición de su localización y la forma en que el ser humano los percibe, esencialmente es en el agua. Por ejemplo: arrecifes bajos, corrientes de agua, corrientes que desaparecen, estanques, cuerpos de agua, instalaciones portuarias, pantanos, rápidos, saltos de agua, entre otros.
	<i>Objeto geográfico aire</i>	Son todos aquellos objetos geográficos que la composición de su localización y la forma en que el ser humano los percibe, esencialmente es en el aire. Por ejemplo: líneas de transmisión, puentes, rutas de teleféricos, etc.

Por otro lado, cabe aclarar que puede existir cierta confusión con las clases de entidades abstractas “*por sentido*” y “*por naturaleza*”. En este caso, se puede intuir una relación de *inclusión* entre estas clases, ya que si no es así, las deficiones descritas en las Tablas 4.7 y 48 serían confusas.

Sin embargo, dentro de la jerarquía principal de *Kaab-Ontology*, se ha considerado el concepto “**fenómeno geográfico**”. Por tal motivo, de acuerdo con las definiciones de clases citadas, si se considera el concepto “**aire**”, éste es un elemento catalogado como fenómeno geográfico, el cual a su vez al poder éste ser definido espacialmente, es un objeto geográfico que se clasifica como una **entidad invisible**, pero **real**; es decir, **existe**, con lo cual se justifica la creación de la clase “*por naturaleza*”. De igual forma, es considerado un objeto **perceptible**; puesto que el sentido del tacto puede hacer notar la evidencia de este objeto, con lo cual puede clasificarse dentro de la clase “*por sentido*”.

Es importante comentar, que tal vez pueda verse la definición de estas dos clases como una relación de inclusión, y para algunos usuarios la interpretación de estas clases pueda ser confusa; sin embargo, el caso del concepto “**aire**” argumenta la definición de estos dos tipos de clases.

4.5.8 Definición de Restricciones

En *Kaab-Ontology*, es necesario contar con un número suficiente de **restricciones**, las cuales permitan restringir los conceptos del tipo relación, estándar y de clase; con el objeto de evitar inconsistencias en la definición y descripción de los elementos involucrados en la conceptualización del dominio geográfico.

A continuación se describen las restricciones utilizadas para cada una de las relaciones axiomáticas de *Kaab-Ontology*.

En la Tabla 4.9 se definen las restricciones con respecto a la relación “*es*”. La flecha indica la dirección hacia donde apunta “*b*” que puede ser una clase, un concepto o una instancia.

Tabla 4.9. Restricciones para la relación $a(es)b$

a	b →	CLASE	CONCEPTO	INSTANCIA
Clase		si	Si	no
Concepto		si	Si	no
Instancia		no	Si	no

En la Tabla 4.10 se definen las restricciones con respecto a la relación “*tiene*”.

Tabla 4.10. Restricciones para la relación $a(tiene)b$

a	b →	CLASE	CONCEPTO	INSTANCIA
Clase		no	No	no
Concepto		si	Si	no
Instancia		no	Si	si

En la Tabla 4.11 se definen las restricciones con respecto a la relación “*hace*”.

Tabla 4.11. Restricciones para la relación $a(tiene)b$

a	b →	CLASE	CONCEPTO	INSTANCIA
Clase		no	No	no
Concepto		si	Si	no
Instancia		no	Si	si

Por lo tanto, las restricciones para *Kaab-Ontology*, se definen de la siguiente forma:

Sean $a, b, c \in C$ entonces:

Para las relaciones axiomáticas de la **forma simple** se tiene lo siguiente:

- $a(es)b \in R_V$,
- Si $a(es)b \in R_S \Rightarrow b(es)a \notin R_V$, para evitar las herencias redundantes, ya que “*es*” es reflexiva. Esta restricción elimina $\frac{n(n-1)}{2}$ relaciones posibles.

- Si $a(es)b, b(es)c \in R_S \Rightarrow a(es)c \notin R_V$, para evitar las herencias redundantes, ya que “es” es transitiva. Esta restricción elimina $n(n-1)$ relaciones posibles.
 - Si $a(es)b \in R_S \Rightarrow b \notin I$, las instancias no tienen hijos. Esta restricción elimina $n_i(n-1)$ relaciones posibles, donde $n_i = card(I)$.
 - Si $a(es)b \in R_S, b \in C_L \Rightarrow a \notin I$, las instancias no heredan de clases. Esta restricción elimina $n_i n_l$ relaciones posibles, donde $n_l = card(C_L)$.
- $a(tiene)b \in R_V$,
 - Si $a(tiene)b \in R_S \Rightarrow a \notin C_L$, las clases no tienen propiedades. Esta restricción elimina $n_l(n-1)$ relaciones posibles.
 - Si $a(tiene)b \in R_S, a \in I \Rightarrow b \notin C_L$, las instancias no tienen clases como propiedades. Esta restricción elimina $n_i n_l$ relaciones posibles.
 - Si $a(tiene)b \in R_S \Rightarrow b \notin I$, los conceptos no tienen instancias como propiedades. Esta restricción elimina $n_i(n-1)$ relaciones posibles.
- $a(hace)b \in R_V$,
 - Si $a(hace)b \in R_S \Rightarrow a \notin C_L$, las clases no tienen habilidades. Esta restricción elimina $n_l(n-1)$ relaciones posibles.
 - Si $a(hace)b \in R_S, a \in I \Rightarrow b \notin C_L$, las instancias no tienen clases como habilidades. Esta restricción elimina $n_i n_l$ relaciones posibles.
 - $a(hace)b \in R_S \Rightarrow b \notin I$, los conceptos no tienen instancias como habilidades. Esta restricción elimina $n_i(n-1)$ relaciones posibles.

Ahora, para las relaciones axiomáticas de la **forma compuesta** se tiene lo siguiente:

- $a(es)b\pi c \in R_V$,
 - $a(es)b\pi c \in R_C, a \in C_L, \pi \in P \Rightarrow b \notin I$, indica que las clases no pueden ser hijos de instancias. Esta restricción elimina $n_l n_i (n-2)$ relaciones posibles.

- $a(es)b\pi \in R_C, a \in C_E, \pi \in P \Rightarrow b \notin I$, indica que los conceptos no pueden ser hijos de instancias. Esta restricción elimina $nn_i(n-2)$ relaciones posibles.
 - $a(es)b\pi \in R_C, a \in I, \pi \in P \Rightarrow b \in C_E$, indica que las instancias solo pueden ser hijos de conceptos. Esta restricción elimina $n_i(n_i + n_i - 1)(n-2)$ relaciones posibles.
 - $a(es)b\pi \in R_C, \pi \in P \Rightarrow b \notin I$, esto indica que la relación “es” puede describir relaciones ternarias sí y solo sí el concepto relación no es instancia. Esta restricción elimina $\frac{n(n-1)n_i}{2}$ relaciones posibles.
 - $a(es)b\pi \in R_C, \pi \in P, b \in C_L \Rightarrow a \notin I$, indica que las clases no pueden tener relación de existencia con instancias (las instancias no pueden tener hijos). Esta restricción elimina $n_in_i(n-2)$ relaciones posibles.
- $a(tiene)b\pi \in R_V$,
- Si $a(tiene)b\pi \in R_C, \pi \in P \Rightarrow b \in C_E$, esto indica que la relación “tiene” puede describir relaciones ternarias sí y solo sí son conceptos estándar. Esta restricción elimina $\frac{n(n-1)(n_i + n_i)}{2}$ relaciones posibles.
 - Si $a(tiene)b\pi \in R_C, \pi \in P \Rightarrow a \notin C_L$, las clases no tienen propiedades. Esta restricción elimina $n_i(n-1)(n-2)$ relaciones posibles.
 - Si $a(tiene)b\pi \in R_C, \pi \in P \Rightarrow c \notin I$, los conceptos no tienen instancias como propiedades. Esta restricción elimina $n_i(n-1)(n-2)$ relaciones posibles.
 - Si $a(tiene)b\pi \in R_C, a \in I, \pi \in P \Rightarrow c \notin C_L$, las instancias no tienen clases como propiedades. Esta restricción elimina $n_in_i(n-2)$ relaciones posibles.

- $a(\text{hace})b\pi \in R_V$,
 - Si $a(\text{hace})b\pi \in R_C, \pi \in P \Rightarrow b \in C_R$, esto indica que la relación “hace” puede describir relaciones ternarias sí y solo sí son conceptos relación. Esta restricción elimina $\frac{n(n-1)(n_l + n_i)}{2}$ relaciones posibles.
 - Si $a(\text{hace})b\pi \in R_C, \pi \in P \Rightarrow a \notin C_L$, las clases no tienen habilidades. Esta restricción elimina $n_l(n-1)(n-2)$ relaciones posibles.
 - Si $a(\text{hace})b\pi \in R_C, \pi \in P \Rightarrow c \notin I$, los conceptos no tienen instancias como habilidades. Esta restricción elimina $n_i(n-1)(n-2)$ relaciones posibles.
 - Si $a(\text{hace})b\pi \in R_C, a \in I, \pi \in P \Rightarrow c \notin C_L$, las instancias no tienen clases como habilidades. Esta restricción elimina $n_l n_i (n-2)$ relaciones posibles.

4.6 Vecindad de conceptos asociada al contexto de *Kaab-Ontology*

El término de *contexto*, juega un rol esencial para cualquier tipo de *conceptualización*. Por otra parte, el hecho de conocer el contexto de “algo” nos permite inferir sobre las “cosas” que rodean a ese entorno.

Ahora, existe también el caso que dado un *concepto* de un entorno, se puede definir empíricamente el contexto de ese concepto o de otros conceptos que se encuentren involucrados en el mismo; es decir, si se tiene un “río”, se sabe que ese “río” pertenece a un contexto determinado, el cual a su vez puede ser otro concepto. Por lo tanto, para este caso $\text{río} \in \text{Hidrología}$; en donde *hidrología* representa el contexto al que pertenece el concepto *río*.

Por otra parte, cabe señalar que el significado de un concepto geográfico puede ser dependiente de un gran número de contextos, dentro de los cuales el concepto es utilizado. Por lo tanto, los factores contextuales acerca del uso particular de un concepto geográfico refieren al conocimiento que el ser humano utiliza para restringir el significado de la comunicación.

De acuerdo con lo anterior, se puede citar el siguiente ejemplo: para enriquecer un entendimiento común de un concepto que no es muy comprendido²⁸ por una comunidad, en este caso el concepto “cerca”, el sistema y el usuario necesitan compartir conocimiento con respecto a los contextos relevantes que afectan el entendimiento de ese concepto. Entre muchos factores contextuales potenciales que pueden afectar el hecho de cómo las personas entienden conceptos geográficos, se pueden citar los siguientes: tarea, y *background* del usuario; por lo cual el significado del concepto “cerca” dependerá de su uso y qué términos adicionales pueden envolverlo.

Por ejemplo, para algunas personas el hecho de “*desplazarse del IPN a Ciudad Universitaria*” en cierto contexto para las personas podría significar que los lugares están **lejos**, si estos usuarios viven en una zona aledaña al IPN y no acostumbran ir frecuentemente a Ciudad Universitaria. Por otro lado, si estas mismas personas se “*desplazan del IPN a Pachuca*” podrían argumentar que ir a esta ciudad está *cerca*, de acuerdo con la connotación de su contexto. Aunque en realidad se sabe que la distancia entre el IPN a la Ciudad de Pachuca es de alrededor de 50 kilómetros y la distancia entre el IPN y Ciudad Universitaria es de aproximadamente 15 kilómetros. Por lo tanto, muchos factores pueden ser de utilidad para determinar el contexto de “*algo*”, como en este ejemplo podrían ser la distancia, el tráfico, las vías de comunicación entre otros.

Otro caso sería cuando una persona solicita información geoespacial para que sea desplegada por un GIS, el usuario está intentando realizar una tarea de dominio que tiene algunas necesidades de información. La tarea llega a ser una parte importante del uso del contexto para conceptos geográficos.

Por ejemplo, la misma petición “*mostrar un mapa cerca de Acapulco*”, puede ser elaborado por una persona *A*, quién está a la tarea de seleccionar una tienda; por otro lado, existe una persona *B* que planea unas vacaciones a este mismo sitio. Sin embargo, la persona *B* es probable que espere un mapa que muestre un área geográfica grande en comparación con la persona *A*. Por lo tanto, existen evidencias de acuerdo con el conocimiento *a priori* de las personas para asumir que el significado de los conceptos geográficos, como es el caso de “*cerca*” son dependientes de una tarea y de un entorno geoespacial.

²⁸ El hecho de decir que un conocimiento no es claramente comprendido por una comunidad, se le puede denominar como concepto vago; en donde existen varios trabajos relacionados a medir la *vaguedad* de conceptos en una conceptualización, tal como se propone en (Voudouris, V., Fisher, P.F. & Wood, J., 1996).

Por lo tanto, se puede decir que el contexto geográfico relevante de un objeto depende del propósito y de los objetos directamente involucrados con él para describir su entorno. En este sentido, el contexto puede ser visto desde los datos geográficos, el cual puede ser explícitamente representado en un modelo de datos, a lo cual el conocimiento se encarga de describir un contexto geográfico y cómo puede ser utilizado.

Por otra parte, el contexto puede ser utilizado también, como un significado para expresar excepciones (por ejemplo, “remover todas las casas, excepto la que se encuentra aislada”, o bien “el río debe quedar dentro del valle”). El uso aquí de contexto es adoptado particularmente a una representación basada en reglas de conocimiento, donde las excepciones a las reglas contienen términos del contexto relacionado.

En un sentido abstracto, el *contexto* puede definirse de la siguiente forma: “*es aquel que rodea y da el significado a algo más*” (Free Online Dictionary of Computing, 2006), o bien de acuerdo con WordNet un contexto es “*un discurso que rodea una entidad del lenguaje y ayuda a determinar su interpretación*”. En esta tesis se considera que el contexto, es una definición clave en la interacción entre hombre – máquina, describiendo los hechos que le rodea y que agregan significado (Levachkine, S., 2005).

Para la conceptualización del dominio geográfico, es de vital importancia contar con la definición de contexto y la vecindad de conceptos, por lo cual a continuación se proporcionan algunas características intuitivas que debe cumplir esta definición.

4.6.1 Definición de la vecindad de conceptos basada en un contexto

Sea un conjunto de conceptos X que tiene un nombre, lo cual es indispensable para definir una etiqueta para este conjunto y $X \subseteq O_A$, en donde O_A es una ontología. Entonces X es llamado **contexto** de la ontología O_A . X debe ser un conjunto grande²⁹. Además:

- Un concepto c puede pertenecer a un contexto X , en donde sea posible representar la fortaleza o cercanía de c a ese contexto.
- $c \in X$ implica que el nombre de c nos hace pensar en X .

²⁹ El término “grande” hace referencia a la cardinalidad de $|O_A|$.

- En el mundo real, X {ocurre, aparece, se produce, se logra, pasa, se utiliza} siempre que c {ocurre, aparece, se produce, se logra, pasa, se utiliza}. Por ejemplo, el concepto río \in al contexto HIDROLOGÍA. HIDROLOGÍA es un conjunto, aunque aquí solo se escribe su nombre; puesto que éste es ya un conjunto nombrado.
- El contexto debe ser obvio, no debe ser oculto. Éste debe ser evocado por cada c que pertenece a él. No se necesita que ocurran muchas c 's para “descubrir” a X .
- El contexto es la extensión de un *concepto* a conjuntos (a conjuntos nombrados).
- Un concepto puede pertenecer a varios contextos. Por ejemplo, un río \in HIDROLOGÍA, río \in FLUJO DE AGUA. Un concepto podría ser un contexto también. Por ejemplo, HIDROLOGÍA DE MÉXICO \in HIDROLOGÍA.
- Los contextos se pueden sobreponer.

De acuerdo con las características citadas anteriormente, se define la vecindad de un concepto que pertenece a un contexto, utilizando la estructura lógica que tiene la conceptualización proporcionada en la presente metodología.

Primeramente, se define la genealogía³⁰ de un concepto $a \in C$, como el conjunto de conceptos que tienen una *relación de existencia*; en otras palabras, la genealogía de a es el conjunto de los padres, abuelos, bisabuelos, etc., del concepto a ; a través de los cuales se define la existencia del mismo. Esto puede expresarse de la siguiente forma:

Sea $a, b \in C$, entonces la genealogía $G(a)$ está dada de manera recursiva por $G(a) = \{b \mid a(es)b \in R_r\} \cup G(b)$. De igual manera, definimos que la genealogía de un conjunto de conceptos $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ es la unión de las genealogías de cada concepto, es decir $G(X) = G(\{x_1, x_2, \dots, x_n\}) = \bigcup_{j=1}^n G(x_j)$.

³⁰ La genealogía es el proceso de estudiar y rastrear los lazos familiares. Dicho proceso involucra recabar los nombres de parientes tanto vivos como difuntos, y establecer la relación entre ellos y de esta forma construir un árbol genealógico.

De una forma preliminar, se puede decir que la vecindad de un concepto a dentro de un contexto, se denota por $K(a)$, el cual es el conjunto de conceptos relacionados con a . Si se visualiza la conceptualización mediante un grafo dirigido, donde los conceptos son los nodos y las relaciones son las aristas; $K(a)$ sería el conjunto de conceptos (nodos) que son alcanzables desde a .

Continuando con la analogía, el orden de un contexto está definido por el número de “saltos” que se deben dar en la estructura conceptual para llegar del concepto a a cualquier otro concepto en $K(a)$. Por lo tanto, se denota como $K_i(a)$ la vecindad del concepto de un contexto de orden i , en el cual cualquier concepto $b \in K_i(a)$ se encuentra a lo más a i relaciones de a .

Posteriormente, se asigna a cada relación axiomática un **peso contextual** para determinar el orden de la vecindad del concepto en un contexto. Se establece que las relaciones “*tiene*” y “*hace*” tienen un peso contextual de 1 (uno) y 0 (cero) para la relación “*es*”.

De esta forma, por ejemplo si $a(es)b, a(tiene)c, c(hace)d \in R_R$, entonces b estará en el contexto de orden 0 de a ; puesto que se relacionan entre ellos a través de una relación “*es*”, la cual tiene un peso contextual de 0. Asimismo, d estará en el contexto de orden 2 de a ; puesto que se relaciona con éste último a través de dos relaciones axiomáticas (“*tiene*” y “*hace*”).

Para llegar a la definición de $K_i(a)$, se define primero la vecindad del concepto de un contexto de orden i de un conjunto de conceptos $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, como la unión de los contextos de orden i de cada uno de los conceptos contenidos en X . Esto se puede expresar como $K_i(X) = K_i(\{x_1, x_2, \dots, x_n\}) = \bigcup_{j=1}^n K_i(x_j)$.

De esta forma, se puede definir $K_i(a)$ *recursivamente*. Por lo tanto, sean $a, b, c \in C$ conceptos y $\pi \in A_2$, entonces:

- i. $K_0(a) = \{a\} \cup G(a)$
- ii. $K_1(a) = K_0(a) \cup K_0(B)$
- iii. $K_i(a) = K_{i-1}(K_{i-2}(a))$

Donde, B es el conjunto de conceptos b , tales que se cumple alguna de las siguientes condiciones:

- i. $a(\text{tiene})b \in R_R$
- ii. $a(\text{hace})b \in R_R$
- iii. $a(\text{es})c\pi b \in R_R$
- iv. $a(\text{tiene})c\pi b \in R_R$
- v. $a(\text{hace})c\pi b \in R_R$

En la Figura 4.15 se muestra un fragmento de *Kaab-Ontology*, en la cual se ejemplifica la definición de vecindad de un concepto dentro de un contexto, en donde el conjunto de conceptos C está compuesto por: *Objeto_Geográfico*, *OG_Por_origen*, *OG_Natural*, *OG_Artificial*, *Río*, *Área_Verde*, *Aeropuerto*, *Relación_Topológica*, *RT_Compartir*, *RT_Conectar*, *Medición*, *Área*, *Valor*.

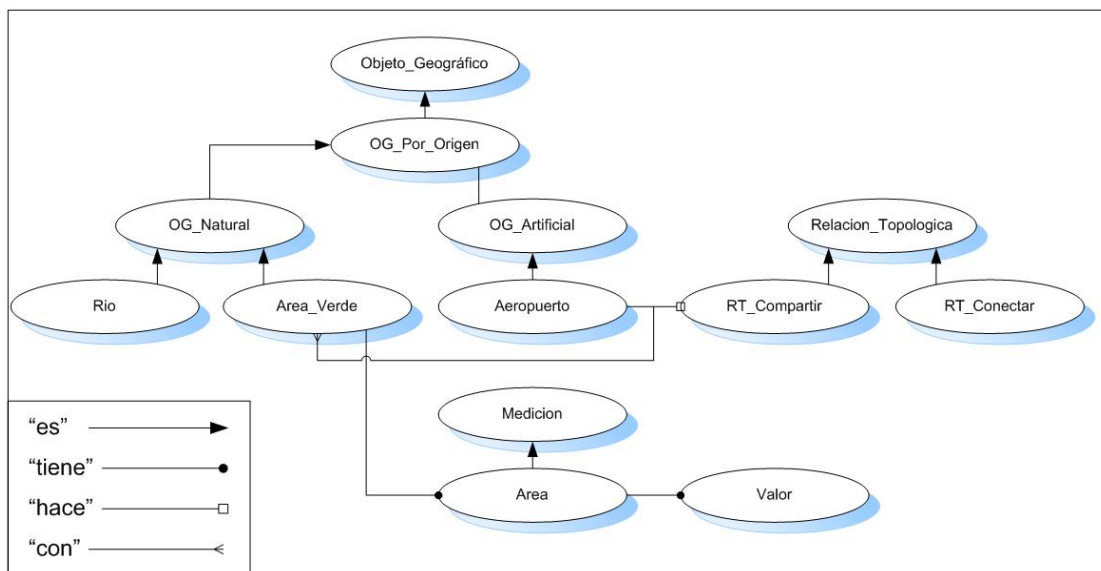


Figura 4.15. Fragmento de una ontología del dominio geográfico para ejemplificar la vecindad de conceptos

Asimismo, el conjunto de relaciones existentes R_R , en esta conceptualización concreta es:

- **OG_Por_Origen** (*es*) **Objeto_Geográfico**
- **OG_Natural** (*es*) **OG_Por_Origen**
- **OG_Artificial** (*es*) **OG_Por_Origen**
- **Río** (*es*) **OG_Natural**
- **Área_Verde** (*es*) **OG_Natural**
- **Aeropuerto** (*es*) **OG_Artificial**
- **Área** (*es*) **Medición**
- **RT_Compartir** (*es*) **Relación_Topológica**
- **RT_Conectar** (*es*) **Relación_Topológica**
- **Área_Verde** (*tiene*) **Área**
- **Área** (*tiene*) **Valor**
- **Aeropuerto** (*hace*) **RT_Compartir** (*con*) **Área_Verde**

De acuerdo con la definición, se puede calcular la vecindad de cualquier concepto en la ontología que se muestra en la Figura 4.15. Por ejemplo, si calculamos algunos niveles de vecindad para **Aeropuerto**, en donde $a = Aeropuerto$, entonces se tiene lo siguiente:

$K_0(Aeropuerto) = \{Aeropuerto\} \cup G(Aeropuerto)$, en donde $G(Aeropuerto)$ es la genealogía del concepto **Aeropuerto**, la cual está dada por la función G que es recursiva. Calculando esta función se obtiene que:

$$\begin{aligned}
 G(Aeropuerto) &= \{OG_Artificial\} \cup G(\{OG_Artificial\}) \\
 &= \{OG_Artificial\} \cup (\{OG_Por_Origen\} \cup G(\{OG_Por_Origen\})) \\
 &= \{OG_Artificial\} \cup (\{OG_Por_Origen\} \cup (\{Objeto_Geografico\} \cup G(\{Objeto_Geografico\}))) \\
 &= \{OG_Artificial\} \cup (\{OG_Por_Origen\} \cup (\{Objeto_Geografico\} \cup \{\}\)) \\
 &= \{OG_Artificial, OG_Por_Origen, Objeto_Geografico\}
 \end{aligned}$$

Por lo que:

$$K_0(\text{Aeropuerto}) = \{\text{Aeropuerto}\} \cup \{\text{OG_Artificial}, \text{OG_Por_Origen}, \text{Objeto_Geografico}\}$$

$$= \{\text{Aeropuerto}, \text{OG_Artificial}, \text{OG_Por_Origen}, \text{Objeto_Geografico}\}$$

Ahora, para calcular $K_1(\text{Aeropuerto})$ éste se obtiene de la siguiente manera:

$$K_1(\text{Aeropuerto}) = K_0(\text{Aeropuerto}) \cup K_0(\{\text{Area_Verde}\})$$

$$= K_0(\text{Aeropuerto}) \cup K_0(\text{Area_Verde})$$

$$= K_0(\text{Aeropuerto}) \cup (\{\text{Area_Verde}\} \cup G(\text{Area_Verde}))$$

$$= K_0(\text{Aeropuerto}) \cup (\{\text{Area_Verde}\} \cup \{\text{OG_Natural}, \text{OG_Por_Origen}, \text{Objeto_Geografico}\})$$

$$= \left\{ \begin{array}{l} \text{Aeropuerto}, \text{OG_Artificial}, \\ \text{OG_Por_Origen}, \text{Objeto_Geografico} \end{array} \right\} \cup \left\{ \begin{array}{l} \text{Area_Verde}, \text{OG_Natural}, \\ \text{OG_Por_Origen}, \text{Objeto_Geografico} \end{array} \right\}$$

$$= \left\{ \begin{array}{l} \text{Aeropuerto}, \text{OG_Artificial}, \text{Area_Verde}, \text{OG_Natural} \\ \text{OG_Por_Origen}, \text{Objeto_Geografico} \end{array} \right\}$$

De igual forma, para calcular $K_2(\text{Aeropuerto})$, es necesario obtener:

$K_2(\text{Aeropuerto}) = K_1(K_0(\text{Aeropuerto}))$; es decir que:

$$K_2(\text{Aeropuerto}) = K_1 \left(\left\{ \begin{array}{l} \text{Aeropuerto}, \text{OG_Artificial}, \text{OG_Por_Origen}, \\ \text{Objeto_Geografico}, \text{Area_Verde}, \text{OG_Natural} \end{array} \right\} \right)$$

$$= K_1(\text{Aeropuerto}) \cup K_0(\text{OG_Artificial}) \cup K_0(\text{OG_Por_Origen}) \cup$$

$$K_0(\text{Objeto_Geografico}) \cup K_0(\text{Area_Verde}) \cup K_0(\text{OG_Natural})$$

$$= \left\{ \begin{array}{l} \text{Aeropuerto}, \text{OG_Artificial}, \text{OG_Por_Origen}, \\ \text{Objeto_Geografico}, \text{Area_Verde}, \text{OG_Natural} \end{array} \right\} \cup \{\text{Area_Verde}, \text{Area}, \text{Medicion}\}$$

$$= \left\{ \begin{array}{l} \text{Aeropuerto}, \text{OG_Artificial}, \text{OG_Por_Origen}, \text{Area_Verde}, \\ \text{Objeto_Geografico}, \text{OG_Natural}, \text{Area}, \text{Medición} \end{array} \right\}$$

4.7 Esquema conceptual para generar descripciones semánticas de *Kaab-Ontology*

Como resultado de una vista lógica y simplificada de la ontología de dominio geográfico, se ha obtenido un conjunto de atributos y propiedades básicas que se encuentran definidas en un esquema conceptual, acorde a cada una de las temáticas basadas en las especificaciones del INEGI. Por lo tanto, al realizar una normalización de estos esquemas se obtiene solo una estructura esencial, utilizada para generar descripciones semánticas de una región espacial en particular.

Este esquema conceptual define las características básicas que contienen los objetos geográficos a describirse y que se encuentran inmersos en las temáticas mencionadas. Por lo tanto, un *descriptor semántico* se define como un esqueleto o plantilla que contiene las relaciones y propiedades que dan significado a los conceptos y que representan a los objetos geográficos, por medio de un vocabulario simbólico de una temática en particular.

El descriptor semántico se construye a partir de un esquema conceptual, el cual utiliza la ontología de dominio geográfico (*Kaab-Ontology*) para describir los objetos geoespaciales, representados por conceptos e instancias inmersos en alguna partición o representación de entidades en dos dimensiones. De esta forma, por medio del esquema conceptual se generan las descripciones semánticas de objetos geográficos de un contexto en particular. Es importante destacar que el esquema conceptual es una vista lógica y compacta de la ontología de dominio geográfico, en donde éste solo contiene los términos principales que pueden describirse de una región espacial o un contexto específico.

Por otra parte, si se hace una analogía a las técnicas de modelado, el modelador requiere capturar la vista del mundo real de los usuarios para construir un modelo conceptual formal. En este sentido, esta técnica obliga al modelador a mapear mentalmente conceptos adquiridos del mundo real a instancias de abstracciones disponibles en algún paradigma que se elija.

Asimismo, la consolidación de conceptos y del conocimiento representado por un esquema conceptual puede ser utilizado como una técnica esencial para representar en forma específica una ontología del dominio geográfico; es decir, en este caso una ontología cuenta con un mayor contenido semántico que un esquema conceptual; por tal motivo, este

esquema describe el contenido semántico de una temática o partición de objetos geográficos y lo restringe a un contexto en particular.

En un sentido computacional, para representar adecuadamente el mundo geográfico se debe contar con representaciones discretas capaces no solo de capturar información descriptiva acerca de los conceptos, sino además deben permitir describir las relaciones y propiedades de estos conceptos, en donde realmente se obtiene la semántica de los objetos geográficos (Torres, M. & Levachkine, S., 2007).

Un esquema conceptual se define como una estructura estática que contiene las propiedades lógicas y funcionales de los datos geográficos, Este esquema necesita ser poblado por medio de instancias de conceptos que representan objetos geográficos conceptualizados en *Kaab-Ontology*.

De acuerdo con (Torres, M., *et al.*, 2005; Torres, M. & Levachkine, S., 2007) se propone un conjunto de esquemas conceptuales para describir los contenidos de las abstracciones del mundo real para especificar el comportamiento de las entidades geoespaciales. En este caso, los esquemas conceptuales corresponden ciertamente a un nivel de formalización del conocimiento. En este sentido, el descriptor semántico se compone de estas estructuras que son construidas para abstraer partes específicas del dominio geoespacial y representar esquemáticamente qué entidades geográficas deben ser coleccionadas y cómo deben ser organizadas.

Asimismo, se puede percibir que el modelado de datos geográficos requiere de modelos más específicos y capaces de capturar la *semántica* de los datos geoespaciales, ofreciendo mecanismos de abstracción muy elevados, y que sean independientes de cualquier tipo de implementación.

El esquema conceptual propuesto está compuesto por un conjunto de conceptos; en donde éstos pueden ser expresados mediante la ecuación 4.17.

$$C = C_N \cup C_T \quad (4.17)$$

En este caso, C_N es el conjunto de conceptos *no-terminales* y C_T es el conjunto de conceptos *terminales*. Los *conceptos terminales* (C_T) son todos aquellos conceptos que no utilizan otros conceptos para definir su significado; éstos están definidos por “valores

simples”. El significado de los *conceptos no-terminales* (C_N) es concebido por otros conceptos, los cuales pueden ser terminales o no-terminales.

Cabe señalar que la definición de estos términos es totalmente diferente a la definición de concepto de la ontología de dominio geográfico. La diferencia radica en el hecho de que un concepto en *Kaab-Ontology* puede representar una clase, a lo cual muchos conceptos generados a partir de esta clase pueden tener una semántica ligeramente diferente, pero pueden clasificarse en esta clase; a diferencia de un concepto de un esquema conceptual, el cual prácticamente puede definir una entidad que puede corresponder a una tabla en una base de datos. Ahora bien, cada concepto tiene un conjunto de *aspectos*, los cuales representan las características que describen las propiedades, relaciones e instancias que envuelven a los objetos geográficos. A partir de este momento, se utilizará el término de “relación” para denotar relaciones y propiedades unarias, tal como lo utiliza (Berendt, B., Barkowsky, T., Freksa, C., et al., 1998) para el esquema conceptual.

Desde este punto de vista, todos los *aspectos* de un concepto terminal son simples, por ejemplo, el tipo de todos los aspectos que pertenecen al conjunto de primitivas de representación (líneas, puntos y polígonos) se denota por (T_p); en donde (T_p) es un conjunto con la estructura mostrada en la expresión (5.1).

$$\begin{aligned} T_p &= \{number, character, string, enumeration, struct\}, \\ A &= \{a_i \mid type(a_i) \in T_p\}, \end{aligned} \quad (4.18)$$

Donde:

T_p es el conjunto de tipos de primitivas y,

A es el conjunto de aspectos.

Entonces, el conjunto de los *conceptos terminales* que integran un esquema conceptual está definido por $C_T = \{c(a_1, a_2, \dots, a_n) \mid \exists a_i \in A, i = 1, \dots, n\}$. De igual forma, los *conceptos no-terminales* tienen al menos un *aspecto* que no pertenece al conjunto T_p . Por lo tanto estos conceptos pueden denotarse de la siguiente forma: $C_N = \{c(a_1, a_2, \dots, a_n) \mid \exists a_i \notin A\}$; donde c es un concepto.

Finalmente, el esquema conceptual utiliza un conjunto de relaciones denotadas por R ³¹, el cual está definido por los pares que están asociados a Γ y Φ , en donde Γ y Φ son relaciones no-reflexivas, no-simétricas y transitivas, de acuerdo con las definiciones de propiedades matemáticas proporcionadas en la sección 4.5.1. La ecuación (4.19) muestra las relaciones Γ y Φ asociadas con los conceptos no-terminales que pertenecen al conjunto C . En este caso, se utilizan tres relaciones en el esquema conceptual; sin embargo, éstas son utilizadas para denotar una simbología (ver Figura 4.21). La relación “*has-a*” es un caso particular de la relación “*has*”, la cual únicamente indica que la cardinalidad de la relación es exactamente 1. Por otra parte, las otras dos relaciones son “*has*” e “*is-a*” que definen la pertenencia de una propiedad o atributo para ese concepto y la especialización de un concepto respectivamente.

$$R = R_{\Gamma} \cup R_{\Phi} = \{(a,b) \mid a\Gamma b, a \in C_N, b \in C\} \cup \{(a,b) \mid a\Phi b, a \in C_N, b \in C\} \quad (4.19)$$

De acuerdo con lo anterior, es necesario expresar la semántica que puede proporcionar un esquema conceptual, por medio de una descripción simbólica D_{SIM} . Por lo tanto, se consideran los conceptos C embebidos dentro del esquema conceptual, a través de los objetos geográficos que son representados por tipos de primitivas; así como por el conjunto de relaciones R involucradas entre los objetos geográficos; por lo cual la descripción simbólica obtenida a partir del esquema conceptual se representa por una *tupla* de conceptos y relaciones: $D_{SIM} = \langle C, R \rangle$.

En la Figura 4.16 se muestra el esquema conceptual que ha sido diseñado para el dominio geográfico. Además, este esquema es adaptativo para cualquier contexto de este dominio. En otras palabras, el esquema conceptual refleja los elementos principales involucrados en este dominio.

³¹ Para entender al conjunto de relaciones R , el significado de las relaciones Γ y Φ representan relaciones del tipo “*tiene*” y “*es*” respectivamente dentro del esquema conceptual.

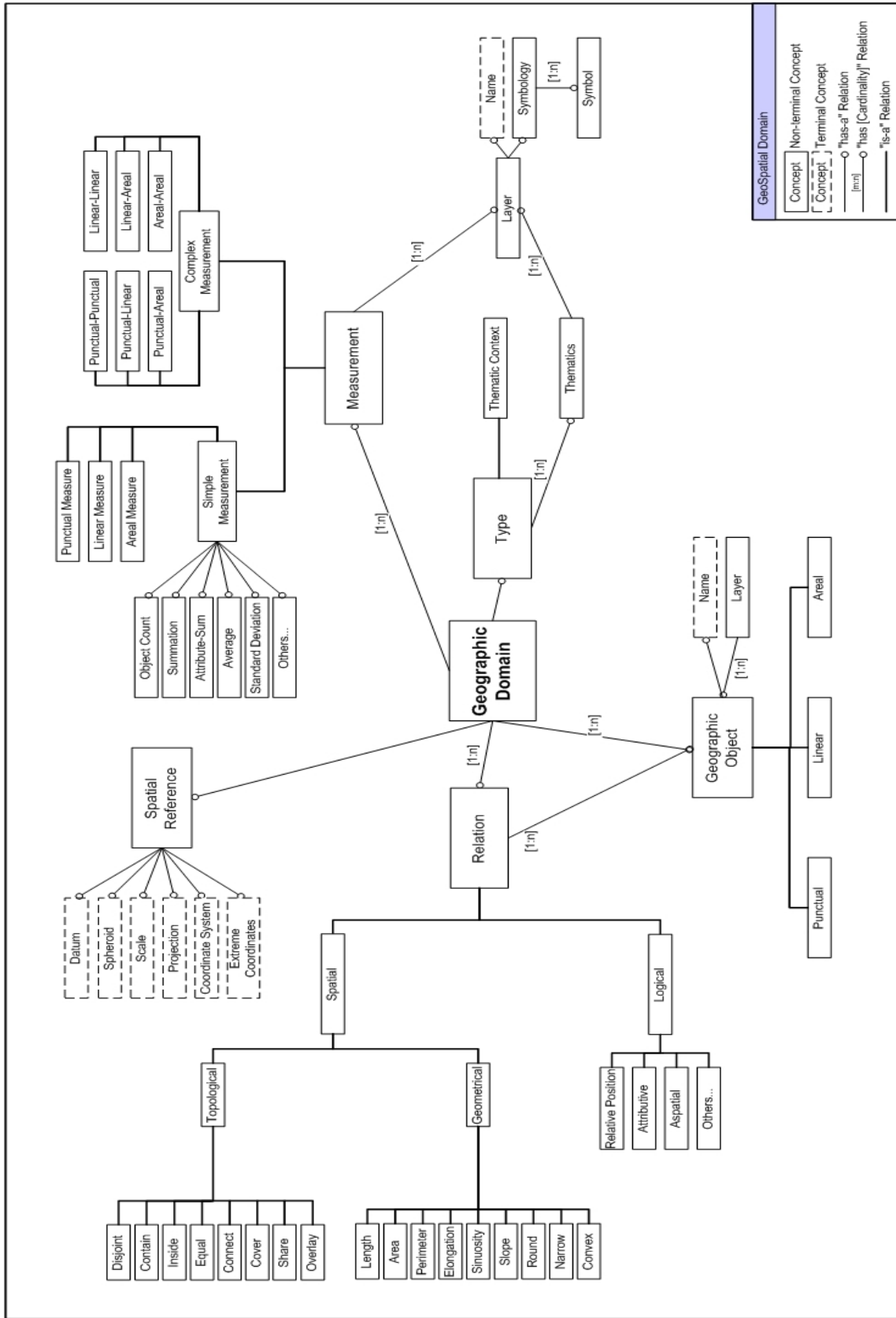


Figura 4.16. Esquema conceptual propuesto para el dominio geográfico

Por ejemplo, si se tiene un contexto topográfico, geológico o turístico; es posible describir los objetos geográficos, sus características y sus relaciones embebidas entre éstos. Estos objetos del dominio geográfico que pueden representarse en este esquema conceptual, son tomados de la ontología, mediante instancias de conceptos, con el objetivo de poder ser descritos semánticamente.

El objetivo esencial de esta descripción, es representar explícitamente las relaciones entre los objetos geográficos; así como sus características adicionales para generar una estructura o plantilla que permita compartir información con otros usuarios acerca de una región espacial o un conjunto de representaciones espaciales.

Este tipo de descripción proporciona un vocabulario que representa un compromiso ontológico de la percepción cognitiva e intuitiva de los sujetos. El esquema mostrado en la Figura 4.16 representa una conceptualización tosca y contiene un número óptimo de relaciones para vincular conceptos *terminales* y *no-terminales*, ya que no es necesario contar con relaciones adicionales; puesto que la ontología proporciona éstas y pueden ser extraídas para formar parte de la descripción. Con este esquema se busca una abstracción compacta basada en esquemas conceptuales, la cual maneje el proceso cognitivo de la descripción semántica de los objetos geográficos, bajo un contexto específico.

Cabe señalar que el esquema conceptual propuesto podría tener más conceptos involucrados en el dominio geográfico, por lo cual este esquema puede ser una cierta aproximación con respecto a las entidades que componen este dominio. Por lo tanto, este esquema podría considerarse como el primer paso para coleccionar y organizar los conceptos contenidos dentro del contexto geográfico.

La descripción semántica basada en esquemas conceptuales se establece por medio de búsquedas de relaciones entre objetos geográficos, los cuales se representan por conceptos dentro del esquema conceptual, obteniendo como resultado una descripción simbólica.

Posteriormente, de acuerdo con el esquema de la Figura 4.16 para obtener la descripción simbólica, es necesario mapear los objetos o entidades geográficas dentro del esquema conceptual, los cuales se representan como instancias de conceptos en *Kaab-Ontology*.

Una vez que las instancias han sido definidas como conceptos terminales o no-terminales dentro del esquema conceptual, se elige el concepto no-terminal a ser descrito³². El proceso continúa hasta que se encuentra un concepto terminal.

Cuando el concepto terminal es encontrado, es necesario seleccionar un par de objetos geográficos, verificando si la relación entre ambos existe y es una relación lógica. Entonces, una parte de la descripción simbólica es generada.

Los conceptos terminales están definidos por el tipo de relación entre dos objetos geográficos. En otras palabras, la descripción inicia en el concepto no-terminal llamado **“Geographic Domain”**. Los conceptos no-terminales están denotados por medio de *rectángulos* y los valores de los conceptos terminales están representados por *elipses* cuando se genera la descripción simbólica. La descripción semántica es una representación simbólica que está definida por medio de las relaciones entre objetos geográficos.

Por otra parte, las propiedades (*aspectos*) que pertenecen a cada nodo terminal contienen valores cuantitativos³³, los cuales se asemejan a valores atributivos o renglones correspondientes a una base de datos. Adicionalmente, el esquema conceptual contiene todo el conjunto de relaciones, propiedades, símbolos, mediciones y conceptos en forma embebida con respecto al contenido de la representación de objetos geográficos.

Como se puede observar en la Figura 4.16, los conceptos no-terminales que describen las características esenciales de los objetos geográficos son: *Spatial_Reference*, *Measurement*, *Type*, *Relation* y *Geographic_Object*. Estos conceptos contienen diversos conceptos no-terminales y terminales que se encargan de describir objetos geográficos inmersos en una región espacial.

De acuerdo con el aspecto de cada nodo no-terminal, se establece una relación que define otro concepto no-terminal o terminal, dependiendo del objetivo. Esto conduce a tener completa la descripción de los objetos geográficos.

A continuación se presenta el algoritmo de mapeo entre *Kaab-Ontology* y el esquema conceptual para poblar instancias de conceptos en el esquema (ver Tabla 4.12).

³² El hecho de describir un concepto no-terminal, significa seleccionar el aspecto a ser caracterizado.

³³ Estos valores se presentan en los datos espaciales, ya que se cuenta con la información descriptiva de los objetos geográficos.

Tabla 4.12. Algoritmo de mapeo de instancias de conceptos de *Kaab-Ontology* y el esquema conceptual

1	Inicio
2	Seleccionar objetos geográficos O_G de una región espacial
	a) Etiquetar O_G de la región asociando nombres
	i) $O_G = \{o_{g_1} \rightarrow \text{río}, o_{g_2} \rightarrow \text{carretera}, o_{g_3} \rightarrow \text{lago}, \dots, o_{g_n} \rightarrow \text{nombre}_n\}$ Label_OG(file_TXT)
3	Hacer consulta de objetos geográficos (Q_{OG}) $\{o_{g_1}, o_{g_2}, \dots, o_{g_n}\}$ en Kaab-Ontology de acuerdo con O_G de la región espacial
	a) Si (Q_{OG} recupera o_{g_n}) \leftarrow región espacial
	i) Buscar conceptos en Kaab-Ontology, basándose en (Q_{OG}) y la región espacial
	Search_Kaab(O_G, Q_{OG}) \leftarrow Kaab-Ontology
	ii) Verificar el tipo de concepto del conjunto C de Kaab-Ontology con respecto a (O_G) \leftarrow (Q_{OG})
	Verify_Concept[(Q_{OG}) \leftarrow (C_E, C_R, C_L)]
	b) Sino
	i) Devolver vacío (Q_{OG})
4	Agrupar conceptos C_r y C_e de acuerdo con C_L
	Classify_Concept[($c_e \in C_E$) AND ($c_r \in C_R$)]
5	Guardar conceptos en arreglos (array _{CR}) y (array _{CE})
	Save_Array_Concept(array _{CR} , array _{CE})
6	Seleccionar conceptos relación ($C_r \in C_R$) y mapearlos al arreglo de conceptos estándar ($c_e \in C_E$) \leftarrow array _{CE}
	a) Buscar relaciones entre conceptos geográficos de Kaab-Ontology
	Classify_Concept[($c_e \in C_E$) AND ($c_r \in C_R$)]
	b) Establecer relaciones de R encontradas de acuerdo con {restricciones} de Kaab-Ontology
7	Buscar relaciones válidas $r_v \in R_V \ni R_V \subset R_R$ de los conceptos en Kaab-Ontology
	Search_Relation[(r_v) para (c_e, c_r)]
8	Mapear relaciones válidas $r_v \in R_V \ni R_V \subset R_R$ a cada concepto $c_e \in C_E \ni C_E \subset C$
	Mapping_Relation[(r_v, c_e), {restricciones}] \leftarrow Kaab-Ontology
9	Establecer relaciones r_v entre conceptos C_e y C_r de Kaab-Ontology
	Set_Relation_Concept[($c_{e1}p_{ce2}, \dots, p_{cen}$), ($c_{e1}p_{ce2}p_{cr1}, \dots, p_{cen}p_{crn}$)]
10	Buscar propiedades asociadas Π a cada concepto geográfico de los conjuntos C_E y C_R
	Search_Properties[(Π , Array[C_E, C_R])] \leftarrow Kaab-Ontology
11	Guardar propiedades Π en arreglos y $\{P_{concept}[e]\}$ y $\{P_{concept}[r]\}$ por cada concepto C_e y C_r
	Save_Properties(array[P _{concept} [e]], array[P _{concept} [r]])
12	Extraer conceptos C_e y C_r de arreglos y almacenarlos en uno nuevo {array[CP]} para vincular propiedades
	Extract_Concepts((array[CP]) \leftarrow (array[P _{concept} [e]], C_e), (array[P _{concept} [r]], C_r))
13	Buscar en el arreglo {array[CP]} instancias I de conceptos desde Kaab-Ontology
	a) Search_Instances[(I) \leftarrow (array[CP])] \leftarrow Kaab-Ontology
	b) Buscar en profundidad instancias I de conceptos de los conjuntos C_e y C_r
	i) Aplicar búsqueda en profundidad para instancias I de conceptos C_e y C_r
	ii) Aplicar búsqueda en profundidad para instancias I de conceptos C_e y C_r DFS_Instances(Array[CP])
	iii) Iniciar en nodo raíz de Array[CP]
	iv) Establecer vértices v_e y v_r que representan conceptos de C_e y C_r
	v) Introducir vértices v_e y v_r y eliminar los nodos pivote anteriores de C_e y C_r , guardando instancias de vértices

	<p>vi) Mientras $\{(v_e) \text{ AND } (v_r)\}$ no sean vacíos</p> <p>Tomar los últimos elementos instancia de v_e y v_r y guardarlos en tuplas (v_e, v_r)</p> <p>vii) Si $(v_{activo} = v_{adyacente}, find(v_e, v_r))$</p> <p>Tomar índices menores de v_e y v_r</p> <p>Insertar en v_e y v_r las instancias i pertenecientes a los conceptos de las tuplas (v_e, v_r)</p> <p>Eliminar nodos de v_e y v_r para dirigirse al siguiente recorrido</p> <p>viii) Sino</p> <p>Repetir desde el paso ii)</p> <p>ix) Almacenar instancias I de conceptos c_e y c_r en $array[I, c_e, c_r]$</p> <p>c) Buscar en amplitud instancias I de conceptos c_e y c_r, al terminar $DFS_{BFS_Instances}(Array[CP], level)$</p> <p>i) Establecer nivel y nodos de recorrido de c_e y c_r</p> <p>ii) Introducir vértices iniciales v_e y v_r en las tuplas (c_e, c_r) y eliminar conjunto</p> <p>iii) Tomar primer elemento de c_e y c_r como vértice activo y nivel</p> <p>iv) Si $(v_{activo} = v_{adyacente}, find(v_e, v_r, level))$</p> <p>Tomar índices menores de v_e y v_r de acuerdo con el nivel situado</p> <p>Insertar en cola de c_e y c_r las últimas instancias i y recorriendo nivel y pasar a otro</p> <p>Eliminar valores del arreglo de i de las tuplas (c_e, c_r)</p> <p>Insertar en cola valores de i del nuevo nivel</p> <p>v) Sino</p> <p>Finalizar búsqueda</p> <p>vi) Si $(v_{activo} \neq v_{adyacente}, delete(v_e, v_r))$</p> <p>Almacenar instancias i localizadas en el nivel $array[CP]$</p>
14	<p>Generar XML con instancias I de (C_E, C_R)</p> <p>a) $Generate_XML(Array[CP])$</p>
15	<p>Generar tables del esquema conceptual denominadas conceptos no-terminales C_N</p> <p>a) $Generate_CN(Schema)$</p>
16	<p>Definir estructura de las tables del esquema</p> <p>a) $Define_Structure_CN(Table) \leftarrow \{Measurement, Type, Geographic_Object, Relation, Spatial_Reference\}$</p>
17	<p>Generar en forma iterativa C_N de C_N para poblar el esquema conceptual con el resto de conceptos</p> <p>a) Tomar etiquetas C_N de la estructura general del esquema conceptual</p> <p>i) $Label_Construction(CN) \leftarrow Schema$</p> <p>b) Definir iterativamente C_N</p> <p>i) $Define_Iterative_CN(Table_{CN}) \leftarrow \{Simple_Measurement, Complex_Measurement, \dots, Spatial_Relations, Logical_Relations\}$</p> <p>c) Repetir desde el paso 17 a) hasta generar el esqueleto del esquema</p>
18	<p>Definir C_T de cada C_N, de acuerdo con la estructura del esquema</p> <p>a) $Define_CT(Table_{CT}) \leftarrow Schema$</p>
19	<p>Tomar etiquetas C_T de la estructura general del esquema conceptual</p> <p>b) $Label_Construction(CT) \leftarrow Schema$</p>
20	<p>Poblar conceptos C_T y C_N del esquema conceptual a partir de las instancias I de (C_E, C_R) de Kaab-Ontology</p> <p>a) Comparar XML de instancias con XML de la estructura conceptual</p> <p>b) Si $(compare_XML(Array[CP]) = Compare_XML(Table_{CN}, Table_{CT}))$</p>

	<ul style="list-style-type: none"> i) Copiar instancias I de array[CP] en Table_{CN} y Table_{CT} $Copy_Instance(array[CP], Table_{CN}, Table_{CT}) \leftarrow Structure_Schema(C_N, C_T)$ c) Mapear instancias I a las estructuras de C_T y C_N para poblar estructuras del esquema <ul style="list-style-type: none"> i) $Mapping_Instances(array[CP]) \rightarrow Schema_Structure\{Measurement, Type, Geographic_Object, Relation, Spatial_Reference\}$ d) Mapear relaciones de instancias I a las estructuras de C_T y C_N <ul style="list-style-type: none"> i) $Mapping_Relations(array[REL]) \rightarrow Schema_Structure\{Measurement, Type, Geographic_Object, Relation, Spatial_Reference\}$ e) Sino <ul style="list-style-type: none"> i) Repetir desde el paso 11
21	<p>Generar XML de cada Table_{CN} y Table_{CT} que contiene instancias I de Kaab-Ontology</p> <ul style="list-style-type: none"> a) $Generate_XML(Table_{CN}, Table_{CT})$
22	Fin

Con base en el algoritmo de mapeo de instancias de conceptos de *Kaab-Ontology* al esquema conceptual, es necesario generar un algoritmo que se utilice para generar la descripción simbólica, a partir de la estructura conceptual diseñada en este trabajo.

El objetivo esencial es generar una estructura tabular, la cual represente una *vista lógica* en forma de tablas que son mapeadas con las relaciones de los conceptos; en donde estas relaciones se describen explícitamente y provienen de la ontología de dominio geográfico.

Esta descripción tabular se ha denominado como *descripción simbólica*, la cual es utilizada para generar una descripción semántica de una región espacial en particular. Es importante señalar, que la *descripción simbólica* es una representación alterna de esa partición de objetos geográficos (región espacial) en particular, la cual contiene las instancias de los objetos geográficos que han sido definidos como conceptos terminales y no-terminales en el esquema conceptual y son una analogía de esa representación.

Por lo tanto, en la Tabla 4.13, el algoritmo utilizado para generar la descripción simbólica cuando el esquema conceptual ya ha sido poblado por las instancias de conceptos de Kaab-Ontology se describe a continuación.

En el capítulo 5 se presentan ejemplos que reflejan la descripción semántica obtenida, a partir del diagrama de descripción simbólica que se genera del esquema conceptual diseñado para el dominio geográfico.

Tabla 4.13. Algoritmo para generar la descripción simbólica a partir del esquema conceptual

1	Inicio
2	<p>Seleccionar objetos geográficos O_G de una región espacial</p> <p>a) Etiquetar O_G de la región asociando nombres</p> <p style="padding-left: 40px;">i) $O_G = \{o_{g_1} \rightarrow \text{río}, o_{g_2} \rightarrow \text{carretera}, o_{g_3} \rightarrow \text{lago}, \dots, o_{g_n} \rightarrow \text{nombre}_n\}$ Label_OG(file_TXT)</p>
3	<p>Aplicar algoritmo de mapeo de instancias I para buscar objetos geográficos O_G representados por conceptos C en Kaab-Ontology</p> <p>a) Populate_Mapping_Kaab(Spatial_Region)</p>
4	<p>Buscar relaciones r_v entre objetos geográficos dentro del esquema conceptual</p> <p>a) Search(r_v, C_m, C_n) \leftarrow Structure_Schema(C_N, C_T)</p>
5	<p>Generar estructura tabular y lógica con aspectos (atributos) correspondientes a las instancias de conceptos que describen la región espacial y desean describirse en el esquema conceptual</p> <p>a) Structure_Table($i_e \in C_T; i_x \in C_N$) \leftarrow Describe_Schema(Spatial_Region)</p>
6	<p>Mapear instancias I de conceptos C_N y C_T con las relaciones descritas en el esquema conceptual de acuerdo con la región espacial</p> <p>a) Matching_Instance_Relation(Mapping(I, C_N, C_T) \rightarrow Mapping($[r_v \in R_v \rightarrow R_v \subseteq R], C_N, C_T$))</p>
7	<p>Seleccionar concepto no-terminal (C_N) a describir</p> <p>a) Choose_CN(C_N) \leftarrow Describe_Concept(C_N)</p> <p style="padding-left: 40px;">i) Recorrer el (C_N) seleccionado por todos los conceptos C_N, continuar el proceso hasta encontrar un C_T para el C_N seleccionado</p> <p style="padding-left: 80px;">For(i=0 to find_CT(C_T))</p> <p style="padding-left: 40px;">ii) Si se encuentra el C_T se selecciona una tupla de conceptos asociados al C_T</p> <p style="padding-left: 80px;">Si (find_CT(C_T) = TRUE)</p> <p style="padding-left: 120px;">Select_Tuple(C_m, C_T)</p> <p style="padding-left: 40px;">iii) Sino se encuentra</p> <p style="padding-left: 80px;">Seleccionar otro concepto no-terminal (C_N) a describir</p>
8	<p>Verificar la relación entre conceptos, si es válida se realiza la descripción simbólica</p> <p>a) Si (C_m, R_v, C_T) = TRUE</p> <p style="padding-left: 40px;">i) Generar descripción simbólica a partir del Concepto Geographic_Domain</p> <p style="padding-left: 80px;">Symbolic_Description(Geographic_Domain)</p> <p>b) Sino</p> <p style="padding-left: 40px;">ii) Repetir desde el paso 4</p>
9	Fin

4.8 Generación de la Plantilla de Descripción Semántica

De acuerdo con el diagrama de descripción simbólica, éste representa una organización lógica de los conceptos terminales (C_T) y no-terminales (C_N), con lo cual se permite identificar y relacionar los elementos esenciales que sirven de guía para la generación de una descripción semántica.

Esta descripción puede considerarse como el *conocimiento espacial* que refleja una región geográfica; ya que se pueden identificar las relaciones y el comportamiento de los objetos geográficos inmersos en esa región en particular. En este sentido, la interpretación de ésta se obtiene a partir del análisis de los conceptos que representan datos espaciales, a través de instancias de conceptos dentro del esquema conceptual.

De esta forma, es posible extraer o inferir conocimiento a través de esta descripción simbólica que refleja el comportamiento de los objetos geográficos de una región espacial; con lo cual una descripción semántica se obtiene y puede utilizarse como puente de enlace para compartir, integrar y representar datos entre diversos usuarios, por medio de conceptos. Además, es posible visualizar (reconstruir) la información espacial de una región, considerando siempre la similitud de los conceptos que contiene la ontología del dominio geográfico (*Kaab-Ontology*).

En la etapa de *descripción semántica*, se generan los distintos elementos XML que componen el total de la plantilla y que se definen en el esquema conceptual como conceptos no terminales. Esto se realiza por medio de la API JTS (Java Topology Suite – por sus siglas en inglés).

En este caso, para realizar la descripción se realiza un análisis de los objetos espaciales contenidos en la descripción simbólica, para esto a cada objeto le corresponde internamente una cadena de texto estándar, la cual es propuesta por la OGC (Open Geospatial Consortium – por sus siglas en inglés) para el intercambio de información geométrica denominada WKT (Well Known Text – por sus siglas en inglés).

Esta cadena se encarga de enumerar todos los nodos y vértices que conforman un objeto espacial. Dichas cadenas contienen un tipo de dato “primitivo” en bases de datos extendidas espacialmente, como tal es el caso de PostGIS (Postgress + Extensiones GIS), por lo que se pueden almacenar en un campo dentro de cualquier tabla dentro de la base de

datos. Mediante estas cadenas de texto WKT, se crean y representan los siguientes tipos de geometría, los cuales se enlistan con los nombres considerados por la API en la Tabla 4.14.

Tabla 4.14. Clases de características simples soportados por JTS, de acuerdo con la especificación de elementos simples de la OGC

TIPO	DESCRIPCIÓN
<i>Point</i>	Un punto es implementado como una coordenada simple
<i>LineString</i>	Éste es implementado como un arreglo de coordenadas
<i>LinearRing</i>	Éste contiene n coordenadas y es implementado con un arreglo de coordenadas que contiene $n+1$ "Points" y $coord[0] = coord[n]$
<i>Polygon</i>	Éste es implementado como un "LinearRing" simple para el borde y un arreglo de "LinearRings" para los hoyos. El borde tiene orientación en el sentido a las manecillas de reloj y los hoyos en sentido inverso
<i>MultiPoint</i>	Éste hereda la implementación de "GeometryCollection" pero contiene solo "Points"
<i>MultiLineString</i>	Éste hereda la implementación de "GeometryCollection" pero contiene solo "LineStrings"
<i>MultiPolygon</i>	Éste hereda la implementación de "GeometryCollection" pero contiene solo "Polygons"
<i>Geometry</i>	Esta es una clase abstracta a la que pertenecen todas las clases de objetos mencionados; es decir, todos son una geometría
<i>GeometryCollection</i>	Es implementado como un arreglo de objetos "Geometry". La dimensión de un "GeometryCollection" heterogéneo es la dimensión máxima de sus elementos

De acuerdo con lo anterior, a continuación se enlista cada objeto geográfico de una región geográfica (ver Figura 4.17) con su cadena WKT que corresponde a la representación interna de estos objetos; así como el elemento XML que se anexa a la plantilla para complementar la descripción (ver Tabla 4.15).

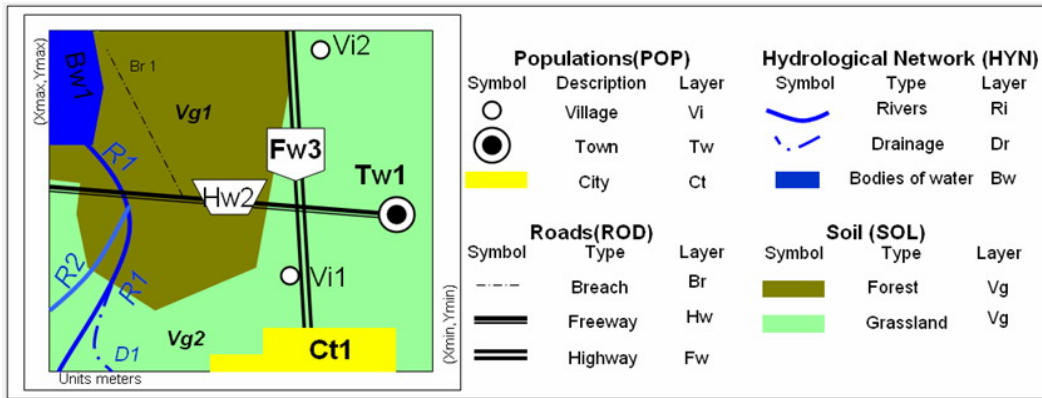


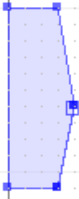

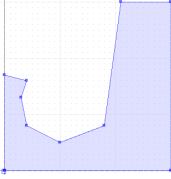
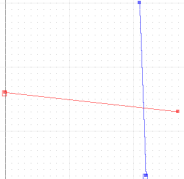


Figura 4.17. Región espacial para ejemplificar la generación de las cadenas WKT


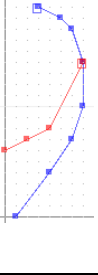
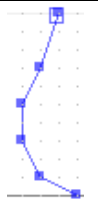
En este caso, parte de la descripción está basada en las cadenas WKT que corresponden a cada objeto geográfico; en donde las relaciones que se representan

explícitamente entre los objetos son tomadas de la descripción simbólica; así como las instancias mismas que definen a estos objetos geográficos.

De acuerdo con lo anterior, a continuación se enlista cada objeto geográfico de una región espacial (ver Figura 4.17) con su cadena WKT que corresponde a la representación interna de estos objetos; así como el elemento XML que se anexa a la plantilla para complementar la descripción (ver Tabla 4.15).

Tabla 4.15. Lista de objetos geográficos que componen la región espacial ejemplificada en la Figura 4.17, con su correspondiente cadena WKT

OBJETO GEOGRÁFICO	ETIQUETA	CADENA WKT
	<i>Bw1 – Cuerpo de agua 1</i>	POLYGON ((40 240, 30 300, 0 300, 0 190, 30 190, 30 190, 40 240))
	<i>Vg1 – Vegetación 1</i>	POLYGON ((0 300, 210 300, 180 80, 100 50, 40 80, 30 130, 40 160, 0 170, 0 170, 0 170, 0 300))
	<i>Vg2 – Vegetación 2</i>	POLYGON ((0 0, 0 170, 40 160, 30 130, 40 80, 100 50, 180 80, 210 300, 300 300, 300 0, 0 0))
	<i>Hw2 – Autopista 2</i> <i>Fw3 – Carretera 3</i>	LINSTRING (0 160, 270 130) LINSTRING (220 30, 210 300)
	<i>Br1 – Brecha 1</i>	LINSTRING (90 150, 40 280)
	<i>Ct1 – Ciudad 1</i>	POLYGON ((120 0, 120 10, 160 10, 160 30, 250 30, 250 0, 120 0))

	<p><i>Tw1 – Pueblo 1</i></p> <p><i>Vi1 – Villa 1</i></p> <p><i>Vi2 – Villa 2</i></p>	<p>MULTIPOINT (210 70, 230 280)</p> <p>POINT (280 130)</p>
	<p><i>R1 – Río 1</i></p> <p><i>R2 – Río 2</i></p>	<p>LINESTRING (30 190, 50 180, 60 170, 70 140, 70 100, 60 70, 40 40, 10 0)</p> <p>LINESTRING (70 140, 40 80, 20 70, 0 60)</p>
	<p><i>DI – Drenaje 1</i></p>	<p>LINESTRING (70 100, 60 70, 50 50, 50 30, 60 10, 80 0)</p>

Una vez que se tiene la cadena WKT, ésta se importa al programa por medio de flujos de datos de entrada, con lo cual se genera una geometría nueva a partir de un arreglo de coordenadas de la siguiente forma:

```
Geometry bwl = new WKTReader().read(
    "POLYGON ((40 240, 30 300, 0 300, 0 190, 30 190, 30 190, 40 240))");
```

Después de haber importado todos los objetos geográficos, se pueden invocar a todos los métodos de análisis topológico³⁴ y geométrico que soporta JTS, con el fin de verificar todas las relaciones explícitas almacenadas y descritas de los objetos geográficos contenidos en la descripción simbólica.

Para este caso, se han considerado las relaciones del modelo 9-Intersección propuesto por (Egenhofer, M. & Franzosa, R., 1991), y JTS lo incorpora a partir de la especificación de la OGC del DE-9IM (Dimensionally-Extended 9 Intersection Matrix – por sus siglas en inglés). Por lo anterior, las relaciones soportadas se describen en la Tabla 4.16.

³⁴ De acuerdo con la definición de una relación topológica, ésta es invariante a cualquier tipo de transformación de los objetos de referencia. Estas relaciones se refieren a las propiedades tales como conectividad, adyacencia e intersección entre objetos geográficos.

Tabla 4.16. Relaciones DE-9IM soportadas por JTS

MÉTODO	DESCRIPCIÓN
<i>Igual (Equal)</i>	Geometría topológicamente equivalente
<i>Disjunto (Disjoint)</i>	Geometría no tiene ningún punto en común
<i>Intersección (Intersect)</i>	Geometría tiene al menos un punto en común (el inverso de Disjunto)
<i>Toca (Touch)</i>	Geometría tiene al menos un punto de borde en común, pero no tiene puntos interiores
<i>Cruza (Crosses)</i>	Geometría comparte solo algunos puntos interiores, y la dimensión de la intersección es menor que aquella de al menos una de las Geometrías
<i>Dentro de (Within)</i>	Geometría A se encuentra en el interior de la Geometría B
<i>Contiene (Contain)</i>	Geometría B se encuentra en el interior de la Geometría A (el inverso de Dentro de)
<i>Traslapa (Overlap)</i>	Geometría comparte solo algunos puntos en común y la intersección tiene la misma dimensión que las Geometrías mismas

De esta forma, JTS calcula todas las relaciones y establece cuáles de ellas cumplen para dos geometrías de objetos espaciales cualesquiera, a través del método “relate” que devuelve un objeto tipo “IntersectionMatrix”, el cual contiene la matriz que establece cuántas y cuáles de estas relaciones se cumplen; la invocación utilizada presenta la forma:

```

Geometry a = . . .
Geometry b = . . .
IntersectionMatrix m = a.relate(b);
    
```

Este proceso se realiza para validar las relaciones tomadas del diagrama de descripción simbólica y verificar que realmente coinciden con el análisis topológico y geométrico que realiza JTS, con respecto a las relaciones consideradas en el diagrama.

Ahora para ejemplificar el uso y conveniencia de esta matriz, la Figura 4.18 muestra la matriz de intersección devuelta para el caso de las relaciones existentes entre los objetos geográficos Bw1 y Vg1, en donde ambos objetos son del tipo areal y presentan una relación *área – área*, de acuerdo con la Figura 4.17.

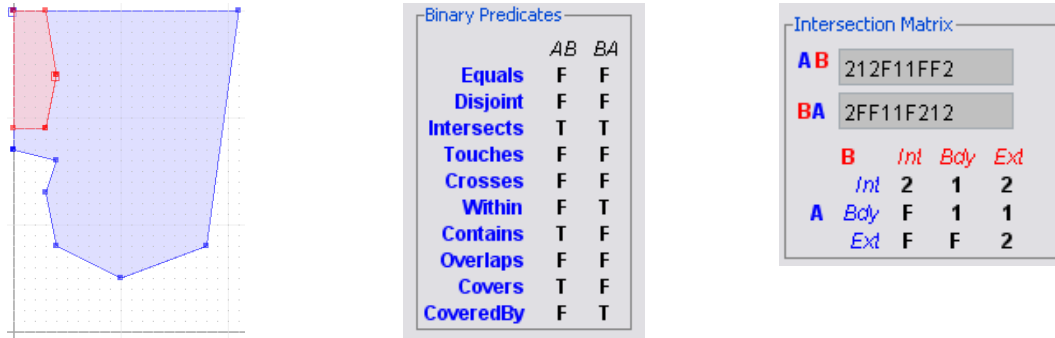


Figura 4.18. Matriz de intersección y predicados binarios de dos objetos A y B

Se puede observar que para el caso de la matriz de intersección y predicados binarios para dos objetos geográficos del tipo línea f_{w3} y $hw2$, la relación que presentan es del tipo *línea – línea* (ver Figura 4.19).

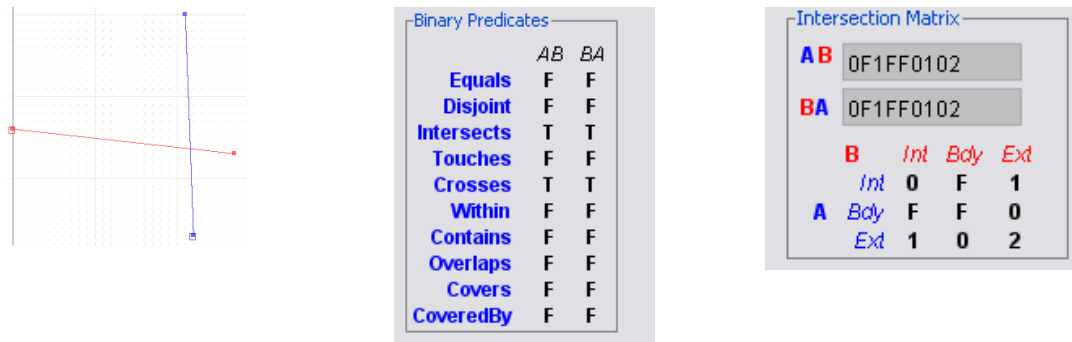


Figura 4.19. Matriz de intersección y predicados binarios entre dos objetos lineales

En la Figura 4.20 se muestra la matriz de intersección y predicados binarios para dos objetos del tipo puntual, en donde la relación del objeto $tw1$ y $vi1$ es *punto – punto*.

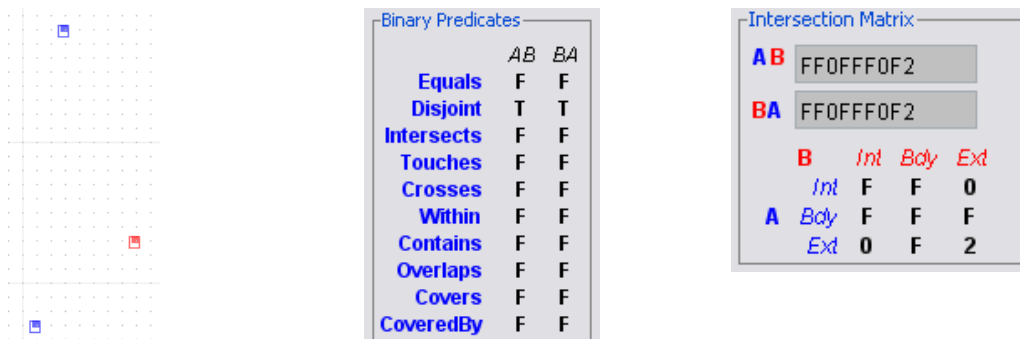


Figura 4.20. Matriz de intersección y predicados binarios entre dos objetos puntuales

Ahora para el caso de una relación *área – línea*, en la Figura 4.21 se muestran las relaciones entre los objetos $vg1$ y $r1$.

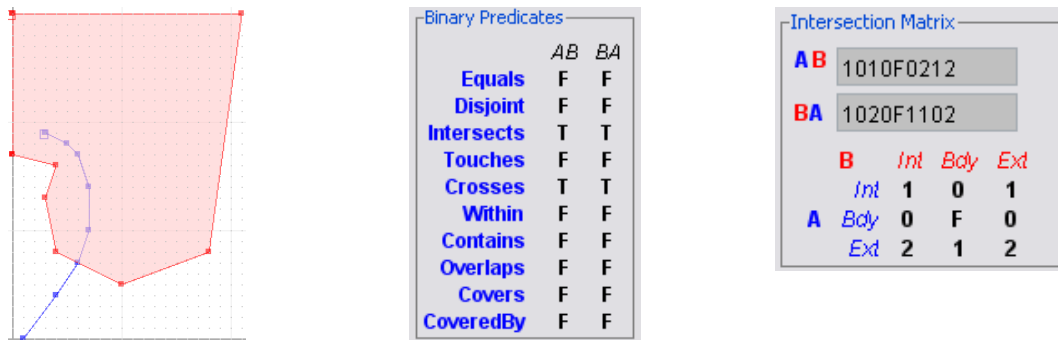


Figura 4.21. Matriz de intersección y predicados binarios entre una relación de objetos *área - línea*

Para el caso de una relación entre objetos *área - punto*, en la Figura 4.22 se muestran las relaciones entre los objetos *vg2* y *vi1*.

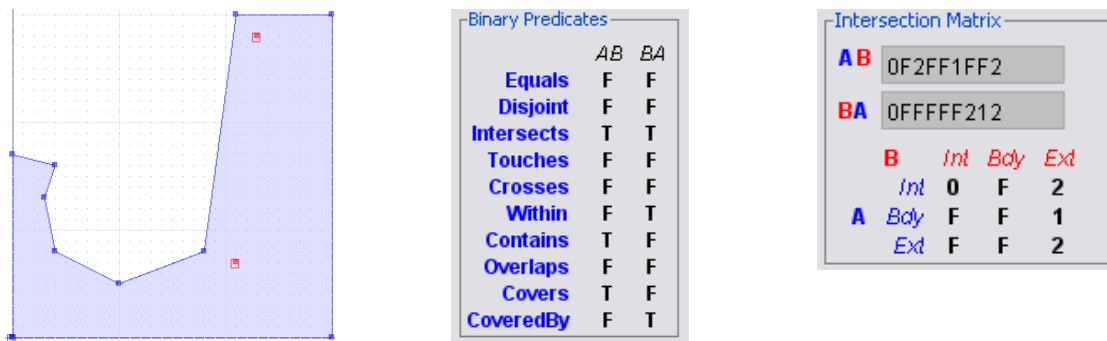


Figura 4.22. Matriz de intersección y predicados binarios entre una relación de objetos *área - punto*

Por último, se presenta una relación *línea - punto* entre dos objetos, los cuales son *hw2* y *tw1* (ver Figura 4.23).

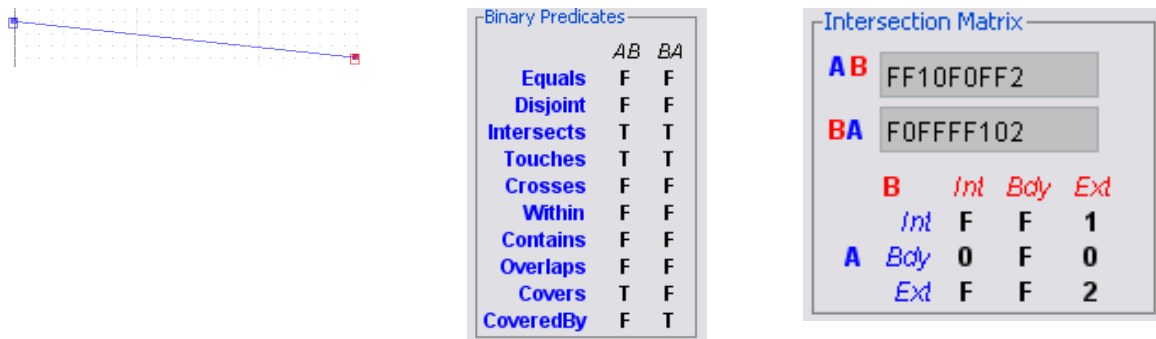


Figura 4.23. Matriz de intersección y predicados binarios entre una relación de objetos *línea - punto*

Finalmente se consideran las relaciones geométricas³⁵, para determinar la orientación de los objetos geográficos tales como: al norte, sur, este y oeste de otros objetos respectivamente.

Además, es posible establecer dichas relaciones con JTS porque se puede considerar las coordenadas (x, y) del centroide de un objeto espacial directamente o de su polígono convexo. Después de comparar dichas coordenadas, y asumiendo que la región espacial en estudio está al norte orientado siempre hacia “arriba”, es fácil comparar la coordenada X' de dos objetos geográficos y determinar la que tenga un valor mayor (más a la derecha) estará “al este” de dicho objeto (que entonces está al oeste).

De la misma forma, se pueden comparar las coordenadas Y' de dos objetos geográficos y establecer el que tenga la coordenada con mayor valor (hacia arriba) entonces estará al norte del otro objeto (que se encuentra al sur).

De esta manera, se establecen todas las combinaciones posibles en cuanto a las relaciones topológicas y geométricas (*relaciones de cardinalidad*) entre distintos tipos de objetos geográficos; en donde este proceso continua hasta extraer todas las relaciones posibles entre cada uno de los objetos geográficos de una región espacial en particular, cuya descripción simbólica ya ha sido generada mediante el uso del esquema conceptual y el mapeo de instancias y relaciones de *Kaab-Ontology*.

4.8.1 Mecanismo para generar Plantilla de Descripción

De acuerdo con (Egenhofer, M., 1997), las descripciones verbales de situaciones espaciales son frecuentemente ambiguas y pueden derivar en malas interpretaciones, porque los conceptos geográficos son generalmente vagos, imprecisos, poco entendidos o no estandarizados.

En este sentido, experimentos en Psicología y Cartografía han mostrado que la topología está entre la información más crítica a la que la gente acude cuando se determinan relaciones espaciales en un espacio geográfico; mientras que los cambios métricos (relaciones geométricas) son frecuentemente considerados de menor importancia.

³⁵ En este caso las relaciones de cardinalidad son consideradas como relaciones geométricas para los propósitos de esta tesis. En este caso se consideran de esta forma, porque se definen como *relaciones métricas* en términos de distancia y dirección. Sin embargo, las *relaciones de cardinalidad* son imprecisas y hacen difícil identificar la referencia o dirección exacta de los límites de los objetos geográficos.

Esto se basa bajo la premisa que dice que *la topología importa, la métrica refina*, citado por (Egenhofer, M., 1997).

Por tal motivo, para la descripción semántica propuesta solo se han considerado reflejar explícitamente las relaciones topológicas y geométricas de los objetos geográficos, siempre con base en las especificaciones utilizadas en la conceptualización del dominio geográfico. De acuerdo con el esquema conceptual propuesto (ver Figura 4.16), se pueden observar cuatro conceptos esenciales: *Spatial_Reference*, *Measurement*, *Geographic_Object*, *Relations*.

Estos conceptos son los encargados de nombrar las secciones en las que la plantilla se divide. Todos estos elementos pueden ser organizados en una estructura arbórea, la cual permite la representación directa en XML.

Con base en lo anterior, cada objeto geográfico está representado por un elemento XML, dentro de la sección *Geographic_Object* en donde además se almacena un identificador único para relacionarlo desde las otras secciones tales como *Relations* o *Measurement*, en donde se encontrarán sus atributos.

Para la generación de la plantilla se han definido algunas convenciones tipográficas, puesto que XML es sensible a las mayúsculas. En este caso, para representar un concepto principal del esquema conceptual (usualmente variables de tipo fijo) se utilizan letras mayúsculas, por ejemplo: <PUNCTUAL> </PUNCTUAL>.

Ahora, para representar valores asignados a una variable, se utilizan letras minúsculas como puede ser: <PUNCTUAL> theme="town" id="P#00001" </PUNCTUAL>. Los datos geográficos (encerrados por etiquetas XML) pueden contener tanto letras mayúsculas como minúsculas, de acuerdo con el atributo descriptivo del objeto mapeado con la instancia (nombre) de concepto almacenada en la descripción simbólica. Un elemento XML marca *semánticamente* los datos encerrados por sus *etiquetas*, y pueden contener elementos hijo en su estructura.

Además, cada elemento puede tener uno o más atributos, en este caso se conviene que los elementos XML solo pueden encerrar información espacial y descriptiva de acuerdo con los valores almacenados en la descripción simbólica. De igual forma, los atributos

espaciales deben estar dentro de las etiquetas; en otras palabras, no se permite representar atributos con elementos embebidos de XML (elementos hijos). Por ejemplo:

Forma incorrecta

```
<GEOGRAPHIC_OBJECT>
  <PUNCTUAL>
    <OBJECT>
      <THEME>
        Town
      </THEME>
      <ID>
        P#00001
      </ID>
      Nombre del objeto
    </OBJECT>
  </PUNCTUAL>
</GEOGRAPHIC_OBJECT>
```

En el ejemplo anterior, "**THEME**" es una variable que puede tomar un número finito de valores definidos por las especificaciones consideradas en la metodología para conceptualizar el dominio geográfico de las fuentes de información o metadatos como pueden ser pueblo, poblado, ciudad, área verde, etc. En este sentido la plantilla ha sido diseñada considerando este tipo de especificaciones. Por lo tanto, cada objeto espacial tiene una temática, ésta es una variable atributiva y debe estar en el interior de las etiquetas. En el caso de "**ID**" es un atributo de clasificación que ayuda al esquema conceptual a distinguir el resto de los objetos geográficos, por lo que no es información espacial *per se*, solo un atributo auxiliar para referenciar un objeto. Por lo tanto, la forma correcta para representar este objeto es como se muestra a continuación:

Forma correcta

```
<GEOGRAPHIC_OBJECT>
  <PUNCTUAL>
    <OBJECT>
      <object theme= "pueblo" id="#P00001">
        Nombre del objeto
      </OBJECT>
    </PUNCTUAL>
  </GEOGRAPHIC_OBJECT>
```

En el ejemplo anterior, "**THEME**" es una variable que puede tomar un número finito de valores definidos por las especificaciones consideradas en la metodología para

conceptualizar el dominio geográfico de las fuentes de información o metadatos como pueden ser pueblo, poblado, ciudad, área verde, etc. Se puede observar que en la forma correcta es más compacta y se marca semánticamente la información espacial (nombre), dejando los atributos de representación interna a la descripción simbólica como atributos etiqueta. La forma general de la plantilla está compuesta por cuatro secciones esenciales: *Spatial_Reference*, *Geographic_Object*, *Measurement* y *Relation*.

La plantilla basada en XML propuesta, contiene un solo elemento raíz, de donde todos los elementos son derivados. Cabe señalar que en el esquema conceptual, el nodo raíz es “*Geographic Domain*”; así como en la descripción simbólica generada. Es importante señalar, que los elementos XML son “simples”; es decir, no contienen un par de etiquetas porque no encierran ninguna información, y sus valores pueden ser representados con atributos de las etiquetas. Por ejemplo: `<SIMPLE_XML_ELEMENT attr1="", ..., attrN="" />`. En la Figura 4.24 se describe el la estructura general de la plantilla.

```

<GEOGRAPHIC_DOMAIN>
  <!--Spatial Reference -->
    <SPATIAL_REFERENCE>
      . . .
    </SPATIAL_REFERENCE>

  <!--Geographic Object -->
    <GEOGRAPHIC_OBJECT>
      . . .
    </GEOGRAPHIC_OBJECT>

  <!--Measurement -->
    <MEASUREMENT>
      <SIMPLE>
        . . .
      </SIMPLE>

      <COMPLEX>
        . . .
      </COMPLEX>

    <RELATION>
      <SPATIAL>
        <TOPOLOGICAL>
          . . .
        </TOPOLOGICAL>
        <GEOMETRICAL>
          . . .
        </GEOMETRICAL>
      </SPATIAL>

    <LOGICAL>

```

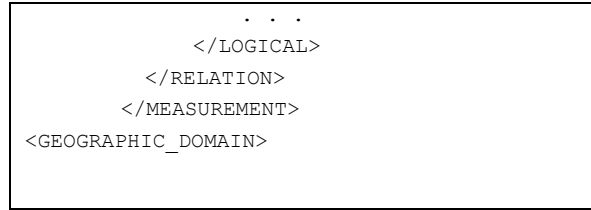


Figura 4.24. Estructura general de la plantilla

Por otra parte, en la Figura 4.25 se muestran los atributos que conforma la sección “*Spatial_Reference*”, los cuales se utilizan como columnas que almacenan valores provenientes de la descripción simbólica; en donde estos valores son instancias de conceptos geográficos.

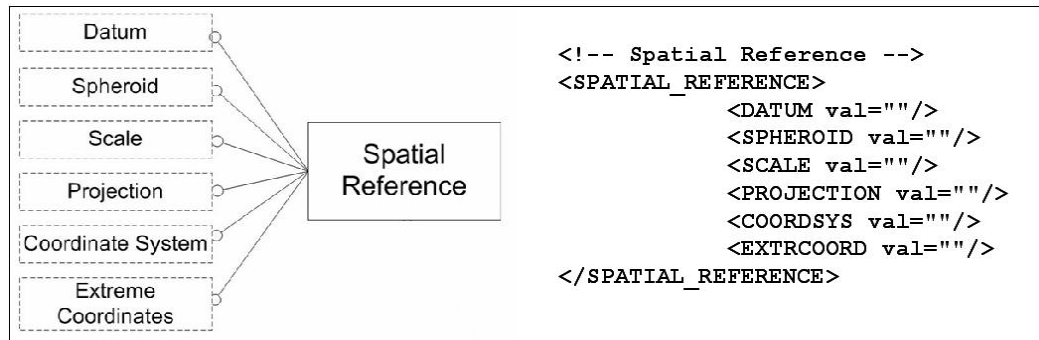


Figura 4.25. Representación XML de la sección *Spatial_Reference*

En la Figura 4.26 se muestra la sección “*Geographic_Object*”, la cual contiene una lista de todos los objetos geográficos que constituyen a la descripción simbólica. Esta lista está dividida en objetos “puntuales”, “lineales” y “areales”, y para cada uno de ellos se asigna un identificador único “ID”, “#Pnum”, “#Lnum”, “#Anum” respectivamente. De igual forma, se les asigna un valor temático “Layer” para objetos geográficos como poblados, villas, ríos, carreteras, autopistas, bosques, etc. Estas etiquetas requieren ser colocadas en pares para encerrar la información descriptiva del objeto, por el momento solo se considera el nombre “Name”; sin embargo, este es el lugar apropiado para almacenar más información descriptiva a través de “elementos hijo” de XML.

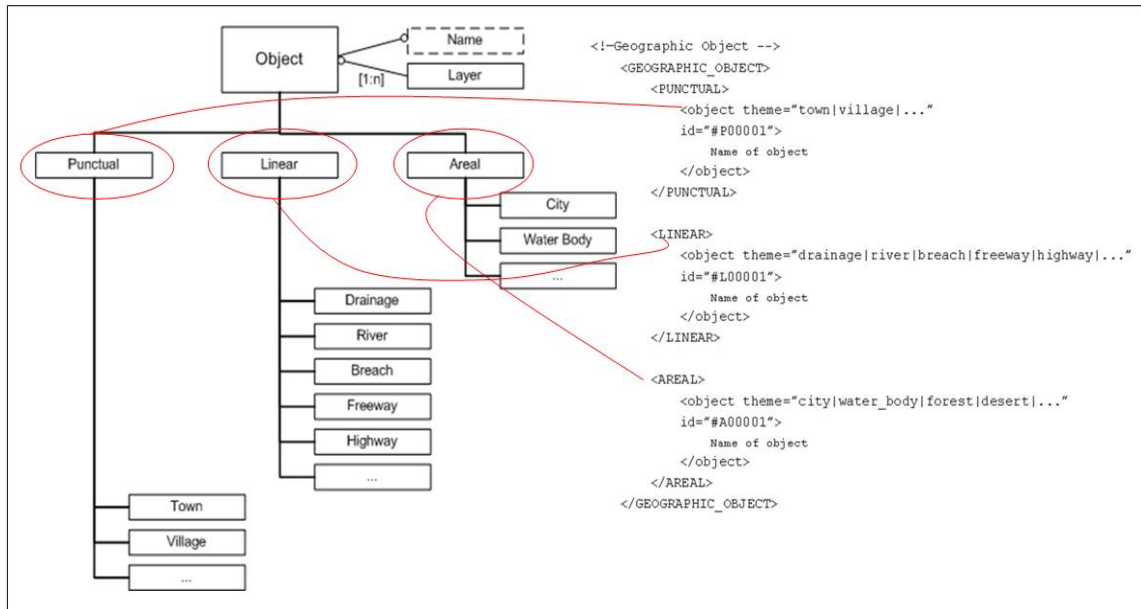


Figura 4.26. Representación XML de la sección *Geographic_Object*

La sección “*Measurement*” está dividida en medidas simples y complejas, las cuales pueden representar una operación del tipo topológico o geométrico (ver Figura 4.27).

En este sentido, para las mediciones simples y atributos geométricos se utilizan etiquetas simples y el objeto espacial caracterizado es identificado a través del atributo IDREF, el cual es una referencia al ID asignado a cada objeto en la sección “*Geographic_Object*”.

Para el caso de las mediciones complejas se hace referencia a dos objetos, porque las relaciones topológicas son del tipo binario; sin embargo, únicamente han sido establecidas dos relaciones topológicas (*compartir* y *conectar*), puesto que la conceptualización se basa principalmente en las especificaciones del INEGI. En la Figura 4.28 se muestra la sección “*Relation*”.

No obstante, de acuerdo con lo mencionado anteriormente, es posible agregar más relaciones topológicas y geométricas para obtener una descripción más *granular* de una región espacial, lo cual puede llevarse a cabo mediante la conceptualización de estas relaciones, por medio de conceptos del tipo relación (C_R) en *Kaab-Ontology*.

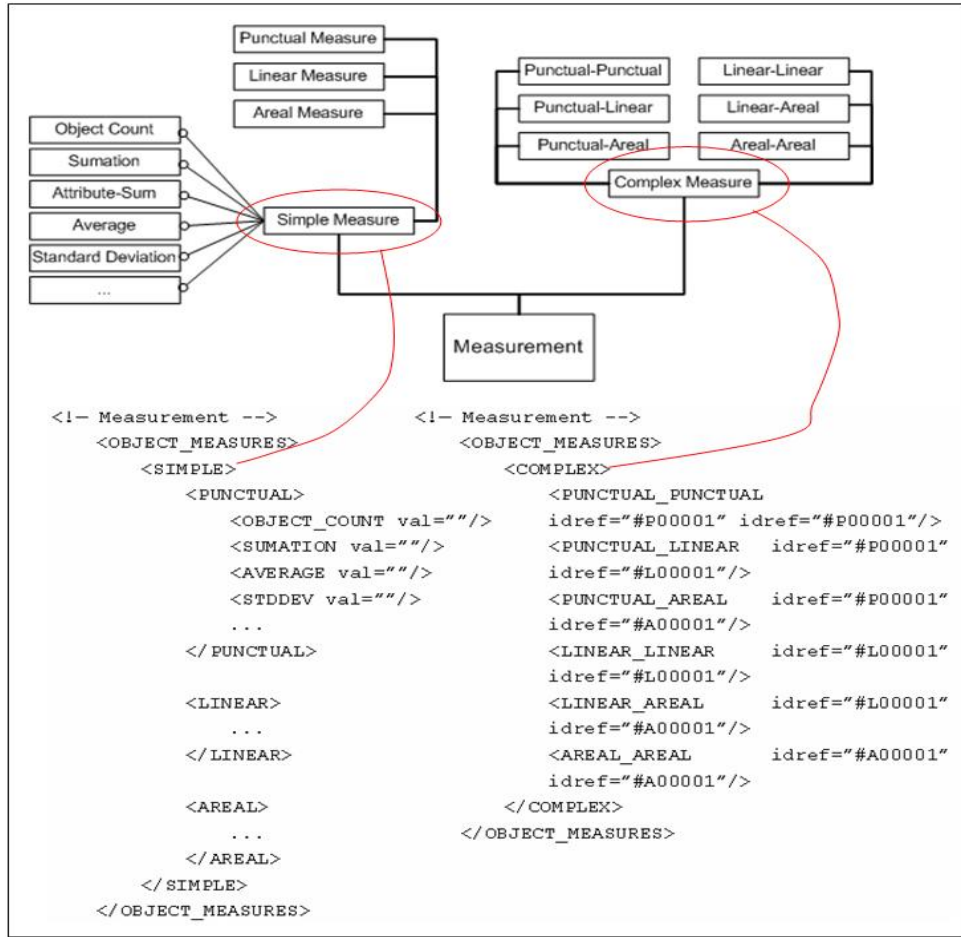


Figura 4.27. Representación XML de la sección *Measurement*

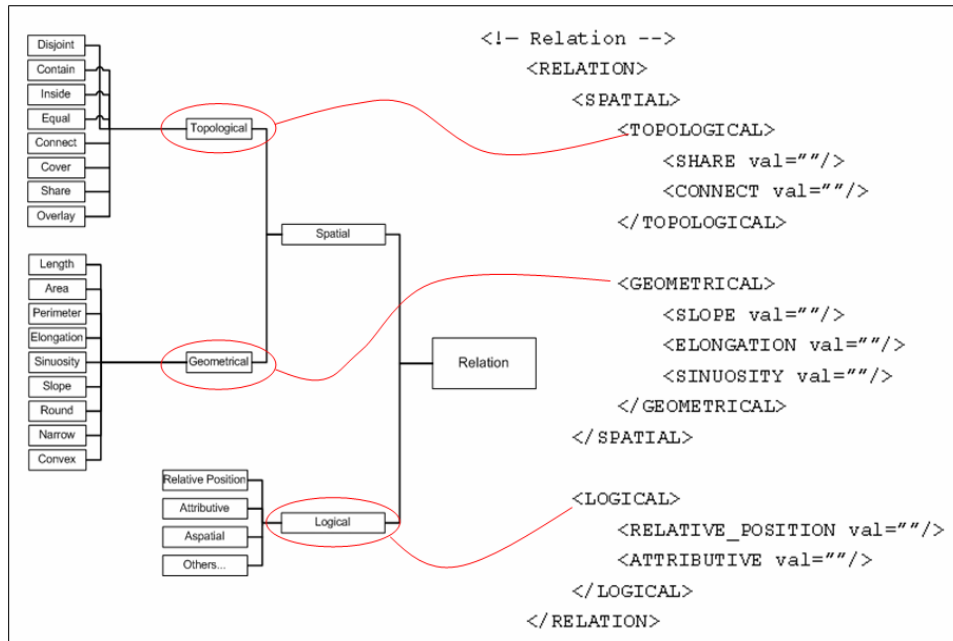


Figura 4.28. Representación XML de la sección *Relation*

Por otra parte, para el proceso de generación de la descripción, es necesario determinar el uso intensional de la misma. En este caso este uso está orientado a describir las características y el comportamiento de los objetos geográficos inmersos en una región espacial. Con respecto a lo anterior, una región contiene información de la distribución espacial de la realidad, además provee datos definidos en cuanto a distancia, dirección entre objetos, tamaño y otros elementos. Por ejemplo, un punto puede ser catalogado como la capital de un estado, una línea como un río o un área como una zona de cultivo.

Los enunciados en lenguaje natural también pueden otorgar información ya sea del tipo *clasificación* o un tipo *espacial* preciso. Por esta razón, es necesario delimitar las características esenciales que conciernen al caso de estudio y contexto sobre el que se genera información espacial, *escogiendo el tipo de entidades a representar, sus atributos y relaciones entre ellos*.

El modelo conceptual de datos vectoriales del INEGI describe la estructura, características, convenciones y reglas de integridad que rigen la información como: conjunto de datos, entidades y su representación geométrica, relaciones, integración, precisión, resolución, tolerancias y límites.

En cuanto a la *granularidad* de los conceptos que conforman la ontología la unidad de información estará determinada por la división tradicional en hojas, con base en las escalas ya mencionadas, lo cual ha sido definido en el esquema conceptual para obtener como resultado una *descripción simbólica*.

A partir de esta descripción simbólica, se construye la plantilla de descripción, con base en los conceptos y relaciones contenidos en ésta, por medio de un lenguaje que permite el intercambio de información a través de una especificación abierta como lo es XML.

Dicha plantilla representa la estructura de datos en la cual se encuentra representada la descripción simbólica, de forma tal que se clasifica y organizan todas las instancias con sus correspondientes propiedades y relaciones que describen una región espacial, contenida y descrita en la representación simbólica.

Para generar la descripción semántica por medio de la plantilla, es necesario obtener los WKT de cada objeto geográfico; ya que estas cadenas permiten almacenar la geometría de un objetos geográfico y poder definir esta representación en XML, con esto es posible

realizar una visualización de estos objetos geográficos al momento de compartir o intercambiar información geográfica entre diversas comunidades de usuarios. Además, el uso de WKT permite compactar la información geográfica y realizar un intercambio transparente de la misma.

De igual forma, el hecho de realizar el cálculo de la matriz de intersección de cada objeto geográfico inmerso en una región espacial, la cual ya ha sido descrita a través del diagrama de descripción simbólica, permite verificar la conceptualización de las relaciones espaciales entre dichos objetos; puesto que se realiza un análisis topológico de estos elementos para garantizar que la relación definida explícitamente en la descripción simbólica, concuerde realmente con los valores de la matriz de intersección del objeto geográfico.

Aunado a lo anterior, con respecto al algoritmo para generar la plantilla de descripción semántica (ver Tabla 4.17), se utiliza el grafo conceptual de vecindad de las 8-relaciones región – región propuesto por (Bruns, T. & Egenhofer, M., 1996).

Este grafo solo es utilizado para priorizar y determinar el orden en el que los objetos geográficos y cómo éstos deben aparecer en la plantilla de descripción semántica, basándose en la importancia y similitud de las relaciones espaciales, recordando que en este trabajo la descripción de conceptos geográficos se basa principalmente en relaciones del Concepto relación Concepto, lo cual implica un orden de similitud de relaciones binarias. En la Figura 4.29 se muestra el grafo conceptual de vecindad.

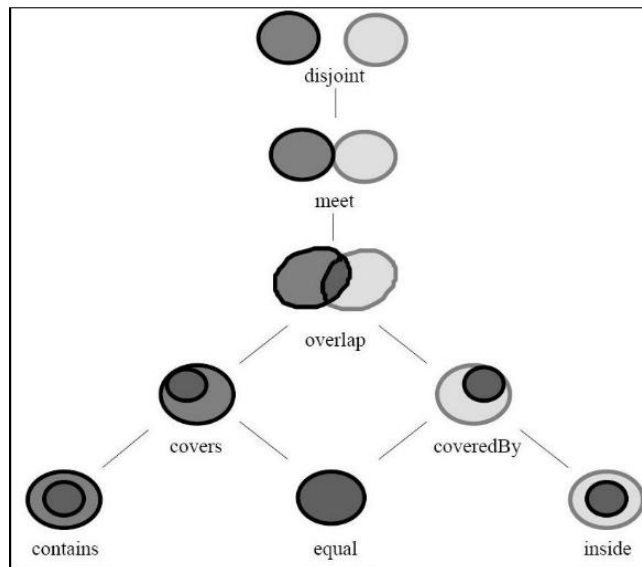


Figura 4.29. Grafo conceptual de vecindad de las 8-relaciones región – región para establecer la similitud entre relaciones topológicas binarias

Tabla 4.17. Algoritmo para generar la plantilla de descripción semántica

1	Inicio
2	<p>Seleccionar objetos geográficos O_G de la descripción simbólica</p> <p>a) Extraer etiquetas de instancias de objetos geográficos de la descripción simbólica</p> <p>i) $O_G = \{o_{g_1} \rightarrow \text{río}, o_{g_2} \rightarrow \text{carretera}, o_{g_3} \rightarrow \text{lago}, \dots, o_{g_n} \rightarrow \text{nombre}_n\}$ Extract_Label (Sim_Descrip)</p>
3	<p>Recuperar objetos geográficos O_G de la BD, de acuerdo con las instancias I almacenadas en la descripción simbólica</p> <p>a) Retrieval_OG (O_G, BD) \leftarrow Instances</p>
4	<p>Guardar los objetos geográficos O_G recuperados en un shapefile</p> <p>a) Save_SHP (O_G) \rightarrow SHAPEFILE</p>
5	<p>Obtener de cada O_G del shapefile su WKT correspondiente, utilizando JTS</p> <p>a) Guardar el WKT de cada O_G</p> <p>i) Save_WKT (O_G) \rightarrow JTS</p>
6	<p>Obtener la matriz de intersección de cada O_G, utilizando JTS</p> <p>a) Guardar la matriz de intersección M_I de cada de cada O_G</p> <p>i) Save_MI (O_G) \rightarrow JTS</p>
7	<p>Comparar las relaciones de la M_I y las relaciones proporcionadas por la descripción simbólica</p> <p>a) Compare_Rel_ (M_I, Rel [Sim_Descrip])</p> <p>i) Si las relaciones de M_I y Sim_Descrip son iguales, entonces almacenar WKT de O_G e iniciar descripción</p> <p>Si (rel [M_I] = rel [Sim_Descrip])</p> <p>Copy_WKT (OG) \leftarrow Sim_Descrip ()</p> <p>Start_Description ()</p> <p>Sino</p> <p>Revisar en forma manual las relaciones de M_I y relaciones de Sim_Descrip</p>
8	<p>Generar estructura de la plantilla de descripción semántica</p> <p>a) Generate_Semantic_Description (Token)</p>
9	<p>Extraer instancias I de la descripción simbólica y almacenarlas en Semantic Description</p> <p>a) Comparar las relaciones de la descripción simbólica con el grafo conceptual de vecindad de relaciones para determinar el orden de aparición de las instancias</p> <p>i) Compare_Rel_Description (rel [Sim_Descrip], Graph [rel])</p> <p>b) Ordenar relaciones de la descripción simbólica de acuerdo al orden que proporciona el grafo</p> <p>i) Sort_Rel ($r_{sim_descrip}$) \leftarrow Conceptual_Graph (rel)</p>
10	<p>Generar la descripción total de los objetos geográficos O_G de acuerdo con los tokens establecidos en la plantilla</p> <p>a) Si faltan objetos por analizar,</p> <p>i) Repetir desde el paso 2, hasta analizar todos los objetos geográficos O_G</p>
11	<p>Guardar la descripción en formato nativo</p> <p>a) Save_Description (Structure_Format [O_G, tokens])</p>
12	<p>Convertir la descripción en formato XML Structure_Format ([O_G]) \rightarrow Convert_XML (Structure_Format)</p>
13	Fin

Por otra parte, el formato de plantilla diseñado para la descripción semántica está compuesto por los siguientes elementos:

(): paréntesis para señalar el objeto “su nombre”.

< >: corchetes triangulares para establecer la relación con el objeto que se describe a continuación de éste.

{ }: Las llaves abren y cierran respectivamente la descripción “*completa*” de cada objeto espacial, la cual está compuesta por todas las relaciones directas con otros objetos.

dirección: la descripción completa de un objeto se termina con todas las relaciones geométricas, en nuestro caso únicamente la orientación relativa de los demás objetos espaciales.

En este caso, una descripción completa de cada objeto geográfico se considera cuando está compuesto por un “*token completo*”, el cual es el conjunto de tres de los elementos léxicos ya mencionados en el siguiente orden estricto, observando el inicio y final con las llaves *{ }* respectivas (ver la Tabla 4.18).

Tabla 4.18. Formato de la plantilla de descripción semántica

```

{
    [temática del objeto] (objeto) <relacionado con>
    . . .
    [temática] (objeto) <relación>
    dirección
};
. . .
{
Otra descripción
};

```

4.9 Recuperación de Objetos Geográficos utilizando *Kaab-Ontology*

Para llevar a cabo la recuperación de objetos geográficos, se ha utilizado la API Jena. Esta API es una estructura de Java que se utiliza para construir aplicaciones de Web Semántica. A su vez, proporciona un ambiente integrado de programación para RDF, RDFS, OWL y SPARQL. De igual forma, incluye un de inferencia basado en reglas.

Esta API es utilizada para extraer instancias de conceptos clase de *Kaab-Ontology*. La implementación de esta ontología fue realizada en OWL; por lo cual, se genera un *modelo persistente* de esta conceptualización para establecer el vínculo entre los dos componentes. En la Figura 4.30 se muestra la estructura de clases por la que está compuesta la API Jena.

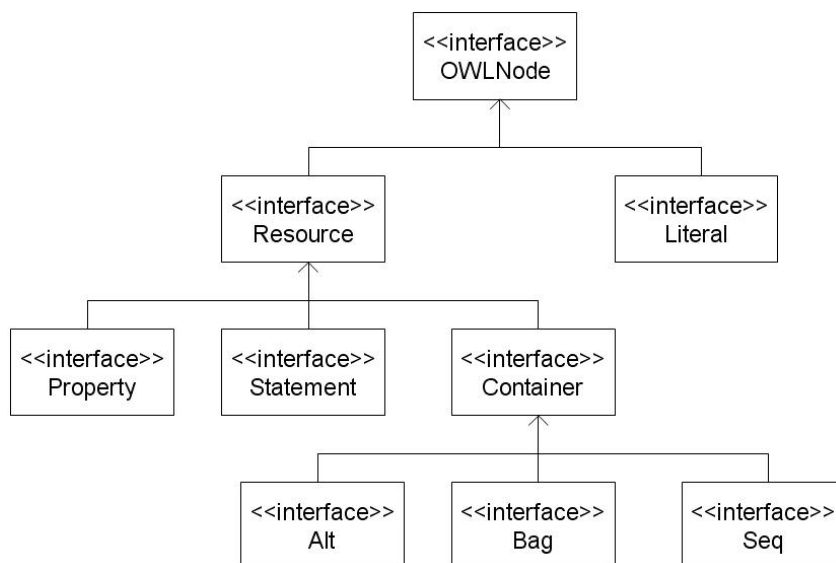


Figura 4.30. Jerarquía de clases de la API Jena

La recuperación de instancias ha sido desarrollada en SPARQL, el cual es un lenguaje de consulta que ofrece un protocolo de acceso a metadatos de una estructura OWL o RDF. Este lenguaje es un mecanismo “orientado a datos”, en el cual solo se consulta la información que se encuentra en el modelo, para este caso no existe ningún tipo de inferencia.

En este caso, con el puente que se genera entre Jena y Protégé, se lleva a cabo la recuperación de instancias de conceptos geográficos, en donde se extrae la siguiente información de la ontología en OWL:

- **Recurso.** Todo aquello que se puede describir por una expresión RDF.
- **Propiedad.** Una característica, atributo o relación utilizada para describir un recurso.
- **Literal.** Un tipo de dato simple.
- **Cadena.** Un recurso junto con una propiedad y con un valor asociado.

En la Figura 4.31 se muestra el diagrama general del proceso utilizado para la recuperación de instancias de conceptos geográficos y la representación espacial de los elementos recuperados por la consulta. Esta visualización se presenta en una aplicación *web-mapping*.

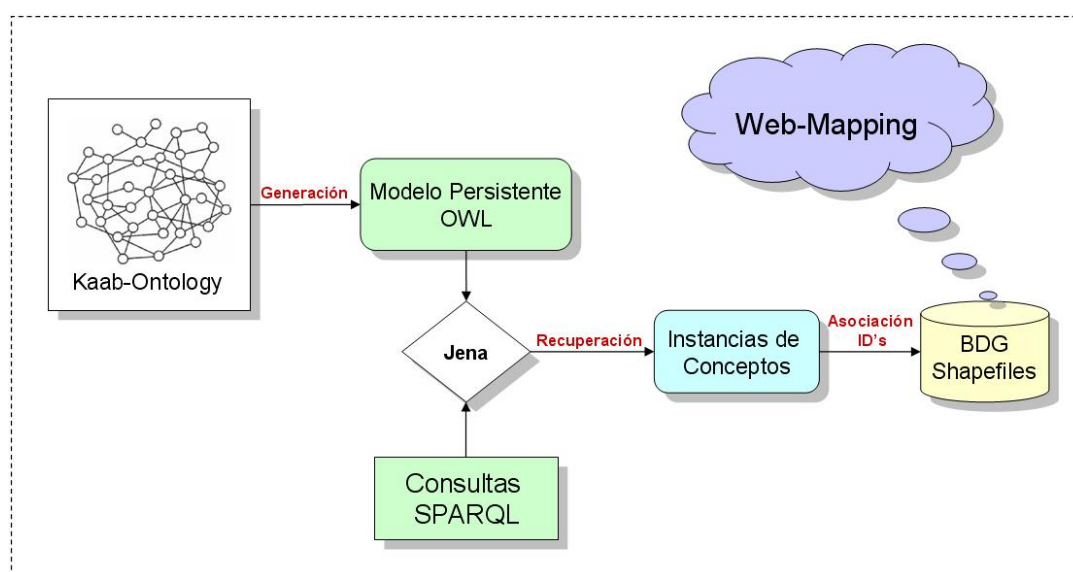


Figura 4.31. Diagrama general para la recuperación de instancias de conceptos geográficos y su representación en *web-mapping*

De acuerdo con la Figura 4.31, el proceso inicia con la transformación de la ontología de dominio geográfico a un modelo persistente en OWL. Esta tarea se realiza mediante el uso del editor Protégé y consiste básicamente en transformar las clases de entidades abstractas y los conceptos que heredan de estas clases a un formato tabular, en el cual por medio de SPARQL se puede tener acceso a todos y cada uno de los elementos de *Kaab-Ontology*.

Posteriormente, mediante la interfaz de Jena, es posible acceder al modelo persistente para obtener los recursos OWL transformados en el modelo tabular. En este caso se crea un modelo vacío para definir los recursos que serán almacenados, mediante la sintaxis: `OntModel m = ModelFactory.createOntologyModel()`. Este modelo que se crea es una

extensión del OWL, el cual proporciona capacidades adicionales para manejar datos fuente de la ontología.

Por otra parte, como Jena ofrece los métodos y clases para acceder en forma transparente a los recursos del OWL, es posible establecer un conjunto de consultas en SPARQL, las cuales consideren como atributos de valor, los conceptos traducidos del OWL al modelo persistente.

La estructura del SPARQL es similar a la del SQL estándar, por tanto las cláusulas esenciales para definir recuperación de datos son el `SELECT` y el `WHERE`. A diferencia del SQL, siempre es necesario considerar el parámetro de mapeo para realizar el análisis de cadenas en la recuperación de instancias. En este caso, se utiliza la búsqueda por cadenas, la cual está compuesta por tres elementos base: *sujeto*, *predicado* y *objeto* (ver Figura 4.32).

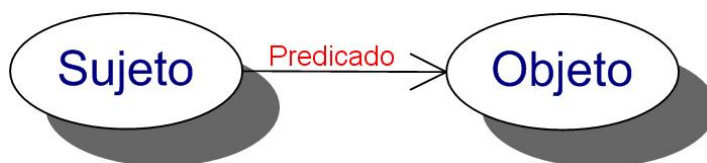


Figura 4.32. Elementos que componen una cadena de información recuperada con Jena

En este caso, todas las cadenas que se generen mediante Jena estarán formadas por una tripleta de estos tres elementos. Esto se debe a que es posible realizar mecanismos de inferencia, considerando el conocimiento reflejado en la ontología.

Ya que se tienen generadas las cadenas dentro del modelo, es necesario realizar la serialización, la cual se lleva a cabo mediante la instrucción `model.write(System.out)`. Posteriormente, se carga en memoria el esquema definido utilizando un operador de nativo de Jena `model.read(new InputStreamReader(in), "")`.

Por lo tanto, los recursos del modelo persistente de OWL no se encuentran ligados estáticamente con una clase de Java en particular; es decir, estos recursos pueden ser accedidos por otras interfaces que tengan una implementación orientada a vínculos de OWL. En este caso las implementaciones de los recursos deben estar asignadas de la siguiente forma:

```

<owl:Class rdf:ID="TurismoAcapulco">
</owl:Class>

<owl:Class rdf:ID="TurismoAcapulco">
  <rdf:type owl:Restriction />
</owl:Class>

```

Para la recuperación de instancias se han implementado un conjunto de consultas básicas, las cuales son estáticas. Esto se debe a que el propósito del trabajo es mostrar la forma en la cual es posible acceder a una ontología y recuperar por medio de conceptos, *individuos* que pertenezcan a una cierta clase. No obstante, uno de los trabajos a futuro consiste en definir y diseñar un sistema dinámico de consulta, el cual permita recuperar instancias de conceptos a través de una interfaz en lenguaje natural.

A continuación en la Tabla 4.19 se describe el esquema de consulta diseñado e implementado para recuperar instancias de conceptos geográficos, mediante una estructura basada en SPARQL. Esta consulta accede directamente a la ontología de aplicación de turismo (TurismoAcapulco), diseñada bajo la metodología propuesta en esta tesis; a su vez esta ontología fue implementada en lenguaje OWL, utilizando los métodos y librerías de Jenapara acceder en forma transparente al modelo persistente generado. El objeto de esta estructura es extraer datos de acuerdo con el criterio de búsqueda seleccionado.

Tabla 4.19. Estructura general para realizar consultas en una ontología en lenguaje OWL

```

import com.hp.hpl.jena.ontology.OntModel;
import com.hp.hpl.jena.ontology.OntModelSpec;
import com.hp.hpl.jena.query.QueryExecution;
import com.hp.hpl.jena.query.QueryExecutionFactory;
import com.hp.hpl.jena.query.QueryFactory;
import com.hp.hpl.jena.query.ResultSet;
import com.hp.hpl.jena.query.ResultSetFormatter;
import com.hp.hpl.jena.rdf.model.ModelFactory;
import com.hp.hpl.jena.util.FileManager;

public class Es3 extends Object {
    public static void main(String[] args) {
        // TODO Metodo stub auto-generado
        OntModel model = null;
        String ns = "http://www.owl-ontologies.com/Ontology1173811255.owl";

        //Crear un modelo utilizando como razonador OWL_MEM_RULE_INF
        model = ModelFactory.createOntologyModel( OntModelSpec.OWL_MEM_RULE_INF );

        //Abrir el archivo con la ontología
        java.io.InputStream in = FileManager.get().open( "C:/TurismoAcapulco.owl" );
        if (in == null) {

```

```

        throw new IllegalArgumentException("Archivo no encontrado");
    }

    //Leer el archivo RDF/XML
    model.read(in, "");

    //El siguiente código ejecuta una consulta SPARQL que devuelve todas
    //las instancias de Bares que presenta el Hotel Acapulco Diana
    String queryString =
        "PREFIX result:<http://www.owl-ontologies.com/Ontology1173811255.owl#>"+
        "SELECT ?Bares " +
        "WHERE "+
        "{ "+
        "  result:AcapulcoDiana result:hasA ?Bares . "+
        "}";

    com.hp.hpl.jena.query.Query query = QueryFactory.create(queryString);

    //Ejecutar la consulta y obtener los resultados
    QueryExecution qe = QueryExecutionFactory.create(query, model);

    try {
        ResultSet results = qe.execSelect();
        ResultSetFormatter.out(System.out, results, query) ;
    } finally { qe.close() ; }
}

```

En la Tabla 4.19, se puede apreciar que en color azul aparece la consulta en SPARQL, en donde se describe el modo para establecer la conexión directa al modelo persistente y establecer el mecanismo de especificación de OWL. Asimismo, se definen los conceptos que serán examinados para extraer las instancias que contenga.

La ventaja de este mecanismo de recuperación de datos es que el modelo de consulta es “*orientado a datos*”, por lo cual a través del significado de un elemento definido en un vocabulario y representado en un lenguaje, es posible extraer semánticamente instancias de conceptos relacionados al contexto de la ontología.

Ya que se tienen las instancias de conceptos, éstas son almacenadas en forma independiente en tablas, las cuales cuentan con un identificador único, el cual mapea directamente con el *shapefile* que contiene los objetos geográficos para poder llevar a cabo el proceso de vinculación.

Cabe señalar que el proceso de asignación de identificadores en la tabla de instancias de conceptos, con los objetos geográficos almacenados en un *shapefile*, es una tarea controlada; es decir, se conoce de antemano el nombre del identificador (*atributo*) que contiene el *shapefile*, por lo cual se asigna este mismo nombre de atributo a cada una de las instancias que se encuentran almacenadas en una tabla independiente. De igual forma, siempre existe una relación 1 a 1 con respecto a las instancias de la tabla con su correspondiente objeto geográfico. Por lo tanto, se realiza una unión de la tabla de instancias con respecto a la tabla del DBF, correspondiente al *shapefile* para visualizar los objetos geográficos que tienen referencia con las instancias.

Por otra parte, ya que se encuentran las instancias unidas por medio de un atributo de identificación único al *shapefile*, se procede entonces a realizar la representación espacial de las instancias con su correspondiente objeto geográfico. Para este propósito se muestran a continuación los casos de uso relacionados con esta operación.

En la Figura 4.33 se muestra el caso de uso para modificar la información de registro a visualizar, de acuerdo con alguna consulta de las definidas y datos recuperados del modelo persistente de OWL.

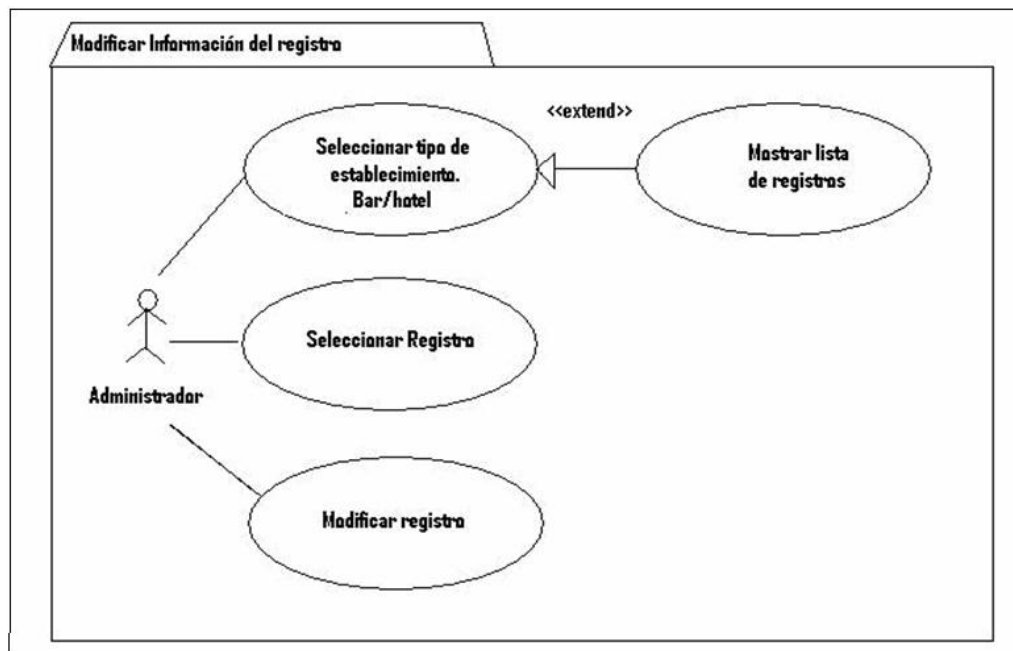


Figura 4.33. Caso de uso para modificar información del registro y contenido directo del *shapefile*

En la Figura 4.34 se muestra el caso de uso para visualizar un registro almacenado en un *shapefile*, de acuerdo con las instancias que corresponden a los objetos geográficos almacenados en esta capa.

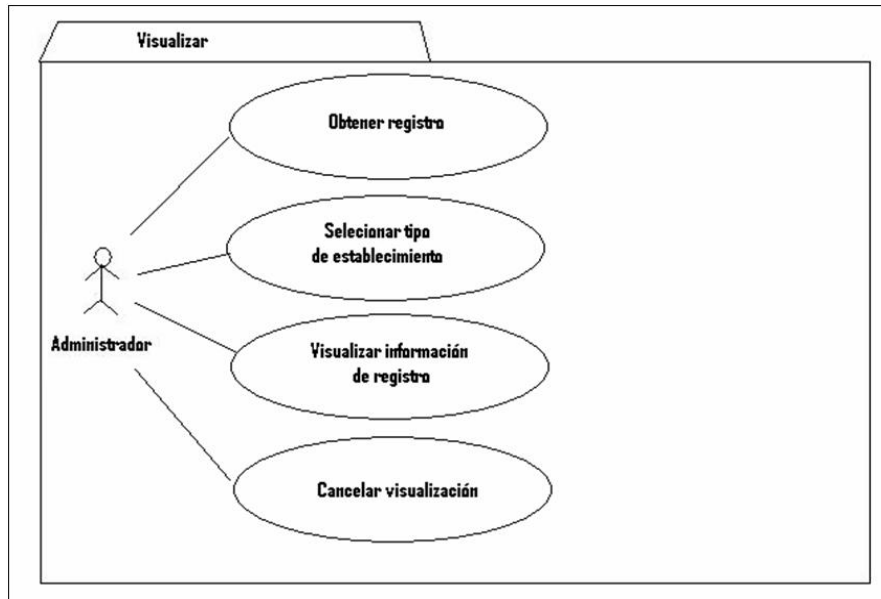


Figura 4.34. Caso de uso para visualizar un registro almacenado en un *shapefile*

En la Figura 4.35 se muestra el caso de uso para mostrar la consulta realizada en la aplicación *web-mapping*, en donde se accede directamente al *shapefile* para recuperar los datos.

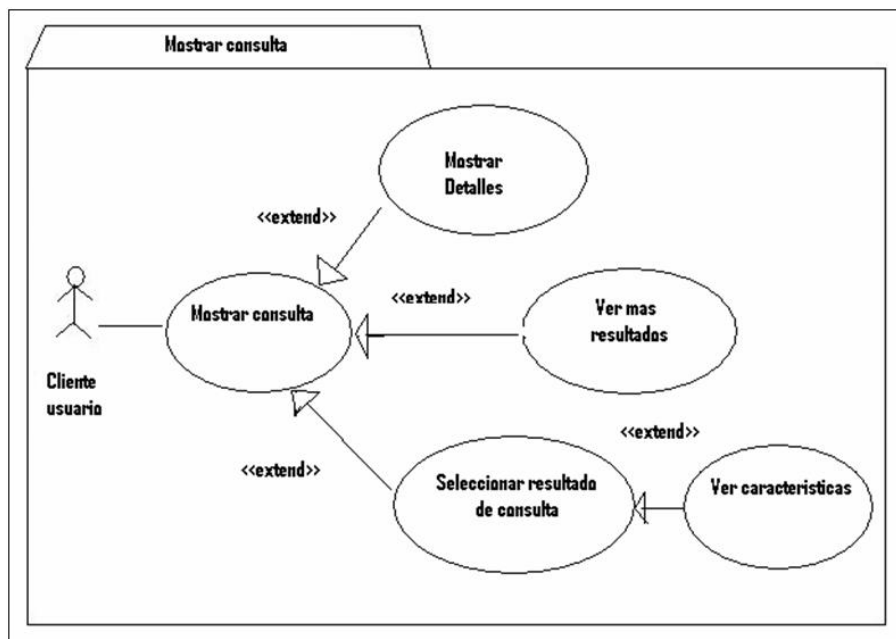


Figura 4.35. Caso de uso para mostrar consulta en la aplicación *web-mapping*

Por otra parte, la implementación del sistema de *web-mapping*, está basada en JSP (Java Server Pages – por sus siglas en inglés) y se utilizan *struts*³⁶ para la definición de los JSPs utilizados en el despliegue de la información geoespacial en la Web. Cabe señalar que se utiliza el servidor de mapas web ALOVMAP, el cual es una plataforma basada en Java y de código libre para publicar datos espaciales en la Web. En la Figura 4.36 se muestra un diagrama que refleja el proceso de publicación de datos geoespaciales almacenados en un *shapefile*, en donde éste contiene las instancias recuperadas de la consulta.

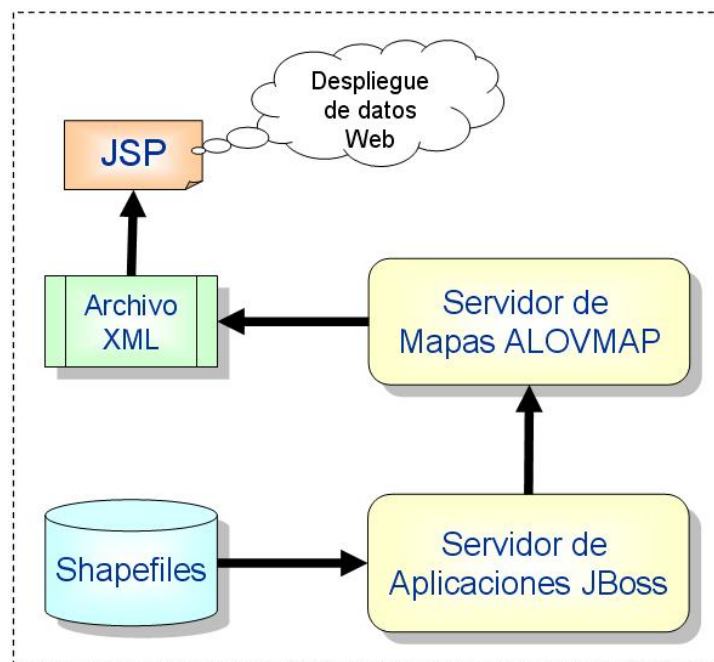


Figura 4.36. Diagrama para la publicación de datos geoespaciales en un *shapefile*

En la Figura 4.36 se puede observar que los datos geoespaciales se encuentran almacenados en un *shapefile*. Este archivo contiene la tabla de *instancias* de conceptos que se recuperan mediante una consulta en SPARQL del modelo persistente de OWL. Posteriormente, se utiliza el servidor de aplicaciones JBoss para montar la aplicación embebida en la Web. Además, mediante esta herramienta se implementaron las consultas de SPARQL, utilizando la API Jena de Java.

Posteriormente, se hizo la instalación del servidor de mapas ALOVMAP, el cual ofrece una API en Java para brindar las clases, métodos e interfaces para implementar la visualización de datos geoespaciales, a través de un formato *shapefile*. De igual forma, el

³⁶ Los *struts* son una estructura de trabajo que consiste en código libre y utilizado para construir aplicaciones basadas en la Web con Servlet/JSP. Este marco de desarrollo está basado en el Modelo-Vista-Controlador (MVC).

archivo de configuración para montar los mapas fue generado en XML; en donde se especifican las características espaciales de las capas de objetos geográficos que contiene el shapefile. En este caso, datos referentes al sistema de referencia, unidades del mapa, etc. La visualización del mapa se realiza mediante un archivo JSP, el cual contiene incrustado el mapa con algunas funciones básicas para su manipulación. En la Tabla 4.20 se describe un fragmento del contenido que presenta el archivo de configuración XML.

Tabla 4.20. Fragmento del archivo de configuración en XML

```
<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?>
<!DOCTYPE alov_project SYSTEM "alov_project.dtd" counter="no">

<project>
  name="Bahia"
  backcolor="200:64:32"
  zoomunits="km"
  zmin="0.5"
</project>

<domain>
  name="ZONA OESTE"
  full="yes"
  startup="yes"
  xmin="-79.31"
  ymin="4.60"
  xmax="-79.29"
  ymax="4.64"
</domain>

<map>
  name="Politico"
  index="m0"
</map>

<layer>
  name="calles de la Bahia"
  visible="yes"
  zmin="0.0"
  zmax="250.0"
  order="3"
</layer>

<dataset>
  direct="yes"
  url="Proyecto/shps/acapulco_calle_clip1.shp"
  full="no"
</dataset>

<symbol>
  fill="200:64:32"
  outline="10:255:10"
  filled="no"
  size="1"
</symbol> ...
```

De acuerdo con lo descrito anteriormente, se utiliza el Modelo-Vista-Controlador (MVC: Model-View-Controller – por sus siglas en inglés) para implementar la aplicación con base en tres herramientas: *Spring*, *Hibernate* y *Struts*. El MVC es un patrón de arquitectura de software que separa los datos de una aplicación, la interfaz de usuario, y la lógica de control en tres componentes distintos. El patrón MVC se utiliza en la aplicación *web-mapping*, donde la vista es la página HTML y el código que provee los datos

dinámicos a la página, el modelo de sistema manejador de base de datos, en este caso los *shapefiles* y el controlador representan la lógica de negocio. La descripción de este patrón es la siguiente:

- **Modelo.** Esta es la representación específica de la información geoespacial y atributiva con la cual el sistema opera. La lógica de datos asegura la integridad de éstos y permite derivar nuevos datos.
- **Vista.** Ésta presenta el modelo en un formato adecuado para interactuar, usualmente la interfaz de usuario.
- **Controlador.** Responde a eventos, usualmente acciones del usuario e invoca cambios en el modelo y probablemente en la vista.

Por lo tanto, la herramienta *Hibernate* está orientada al **Modelo** de la aplicación, auxiliando en las tareas de manejo de peticiones que son pasadas por el controlador; así como para indicar la tabla DBF asociada con el *shapefile* de donde se requiere extraer el objeto geográfico.

Los *Struts* están enfocados a la **Vista**, se utilizan para controlar el flujo de pantallas, así como la interfaz gráfica de usuario para desplegar las consultas, también se encarga de gestionar el archivo de configuración XML que recibe los parámetros del servidor de mapas ALOVMAP; así como el manejo de JSPs.

Por último *Spring* es el **Controlador** de lógico y funcional del sistema *web-mapping*. De igual forma, esta herramienta se utiliza para manejar el control de peticiones y gestión de código que interactúa entre las consultas y los elementos espaciales visualizados.

En la Tabla 4.21 se describe la forma en la cual se envían los atributos de la tabla DBF del *shapefile* como un archivo XML, en donde los datos recuperados son instancias de conceptos provenientes de la consulta SPARQL y coinciden con los objetos geográficos del *shapefile*.

Tabla 4.21. Envío de atributos de shapefile que contiene los objetos geográficos que coinciden con las instancias recuperadas de la consulta SPARQL

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>

<!DOCTYPE hibernate-mapping PUBLIC "-//hibernate/Hibernate.Mapping DTD//EN"
http://hibernate.sourceforge.net/hibernate-mapping-2.0.dtd>

<hibernate-mapping>
  <class name="com.checkingTour.persistence.domain.Hotel" table="Hotel">
    <id name="Idhotel">
      <generator class="native" />
    </id>

    <property name="cercania" column="Zona_nombreZona"/>
    <property name="cercaniaH" column="cercania"/>
    <property name="nombreHotel" column="nombreHotel"/>
    <property name="dirHotel" column="dirHotel"/>
    <property name="numHab" column="NumHab"/>
    <property name="numEstr" column="numEstr"/>
  </class>
</hibernate-mapping>
```

Posteriormente, es necesario realizar una unión de la clase generada en *Hibernate*, con los *Struts*; mediante un archivo en XML, el cual se encarga de realizar el mapeo del modelo con las peticiones y flujos de salida; así como con la obtención de datos geoespaciales del shapefile (ver Tabla 4.22).

Tabla 4.22. Archivo de configuración para vincular la implementación de *Hibernate* con *Struts*

```
<struts-config>
  <data-sources/>
  <form-beans>
    <form-bean name="queryHotelForm"
      type="com.checkingTour.web.hotel.queryHotelForm"/>
    <form-bean name="startRestaurantForm"
      type="com.checkingTour.web.restaurant.StartRestaurantForm"/>
    <form-bean name="startResForm"
      type="com.checkingTour.web.res.startResForm"/>
    <form-bean name="queryForm"
      type="com.checkingTour.web.query.queryForm"/>
    <form-bean name="showHotelForm"
      type="com.checkingTour.web.hotel.showHotelForm"/>
    <form-bean name="insertForm"
      type="com.checkingTour.web.insert.insertForm"/>
  </form-beans>

  <global-exceptions/>
  <global-forwards/>
  <action-mappings>
    <action attribute="queryHotelForm"
      input="/queryHotel.jsp" name="queryHotelForm"
      path="/queryHotel" scope="request"
      type="org.springframework.web.struts.DelegatingActionProxy"/>
  </action-mappings>...
</struts-config>
```

Por último se genera el archivo de configuración para la Web, el cual es pasado como parámetro al servidor de ALOVMAP para visualizar los datos geoespaciales contenidos en el *shapefile* en el sistema web-mapping. Este archivo puede ser consultado en el Anexo 2 de esta tesis.

Capítulo 5. Resultados Experimentales

5.1 Introducción

En esta sección se presentan los resultados obtenidos en esta tesis. Los resultados están orientados básicamente en la metodología de la ontología del dominio geográfico, proporcionando algunos ejemplos de fragmentos de ontologías para este dominio. La implantación de *Kaab-Ontology* fue realizada en Protégé 3.2.1, y además se utiliza la interfaz Jena¹ para acceder al editor de ontologías y recuperar conceptos para vincularlos con los datos geoespaciales.

De igual forma, se presentan dos casos de estudio basados en la ontología de dominio geográfico (*Kaab-Ontology*) para generar las ontologías de aplicación; en donde se recuperan datos geoespaciales considerando estas ontologías, basándose en conceptos y haciendo uso de la API Jena.

Finalmente, se describen ejemplos de representaciones de objetos geográficos, conceptualizándolos mediante *Kaab-Ontology* y generando sus vistas lógicas y funcionales a partir del esquema conceptual propuesto, obteniendo como resultado un diagrama de descripción simbólica; así como su correspondiente descripción semántica.

Esta descripción considera las relaciones que se encuentran explícitamente definidas en la ontología de dominio geográfico; en donde estas relaciones son esencialmente topológicas y geométricas.

Cabe señalar que tanto los esquemas conceptuales, como las descripciones semánticas; consideran las ontologías de aplicación para extraer los conceptos asociados a los objetos geográficos.

¹ Jena es un marco de trabajo de Java que se utiliza para construir aplicaciones de Web Semántica. Jena proporciona un ambiente de programación para RDF, RDFS, OWL y SPARQL. Además incluye un motor de inferencia basado en reglas.

5.2 Diseño de las ontologías

Para iniciar con la definición del desarrollo de la ontología, se requiere definir el dominio; es decir, es necesario responder a un conjunto de preguntas o *cuestionarios de competencia*, los cuales permiten describir la conceptualización de un dominio. Entre las preguntas esenciales que se formularon en este cuestionario se encuentran:

- ¿Cuál es el dominio que la ontología cubrirá?
 - Dominio geográfico.

- ¿Para qué se utilizará la ontología?
 - Para conceptualizar el dominio geográfico, y de éste poder generar ontologías de aplicación que permitan compartir e integrar datos geoespaciales.

- ¿Para qué tipos de preguntas la información de la ontología proporcionará respuestas?
 - Para preguntas orientadas a la recuperación de datos geográficos, en donde existan relaciones axiomáticas que permitan describir a esos objetos geográficos por medio de conceptos. Las preguntas están enfocadas a consultas de relaciones, de conceptos geográficos de mapeo exacto y de consultas con conceptos asociados.

- ¿Quién llevará a cabo el mantenimiento de la ontología?
 - El mantenimiento de la ontología se realiza con base en los cambios que puedan presentar los estándares de OpenGIS y de la norma ISO 19115².

De igual forma, para esta tesis se han considerado como fuente de información los diccionarios de datos del INEGI para el diseño de la ontología de dominio geográfico. Por lo tanto, la ontología de dominio está basada en estas especificaciones.

El objetivo esencial de estas ontologías es proporcionar una conceptualización del dominio geográfico, y a partir de éstas poder compartir e integrar información geoespacial

² La norma ISO 19115 es un estándar de metadatos para información geográfica, la cual ha sido establecida por el TC 211 on Geographic Information / Geomatics.

entre diversas comunidades de usuarios. Es importante notar que el proceso de desarrollo de las ontologías utiliza una mezcla o combinación de los procesos *top-down* y *bottom-up*; puesto que de acuerdo con la metodología desarrollada, no existe una relación axiomática única que permita definir conceptos de clases; sino que además existen las relaciones de pertenencia y de ejecución.

Cabe señalar que las relaciones establecidas en estas ontologías, con respecto a los objetos geográficos dependen básicamente de las especificaciones del INEGI (INEGI, 1993; INEGI, 1999). Las relaciones básicas que consideran estos modelos son del tipo topológicas. No obstante el esqueleto de la ontología permite agregar relaciones del tipo geométrico o temático; por medio de conceptos del tipo relación (C_R).

Asimismo, las relaciones axiomáticas de la metodología pueden considerarse como hipónimos³. En este caso, se dice que **A** *es-un hipónimo de B*, si existe una relación *es-un* entre **A** y **B**. En otras palabras, si **A** *es subtipo de B*, o bien si **A** *es una clase de B*. Por ejemplo, **río** *es subtipo de corriente de agua*, por lo cual **río** es *hipónimo* de **corriente de agua**; puesto que comparten propiedades tales como flujo, dirección entre otras. Sin embargo, en el sentido inverso de la relación **B** *es hiperónimo de A* (**corriente de agua** *es hiperónimo de río*).

Con base en la metodología propuesta para conceptualizar el dominio geográfico, se han generado dos conceptualizaciones diferentes: (1) referente al dominio geográfico y (2) referente a un dominio de aplicación. De acuerdo con el diccionario de datos del INEGI, se propone una estructura para clasificar y ordenar estos datos, lo cual arroja como resultado a *Kaab-Ontology*. Por cuestiones de simplificación esta ontología será denominada como O_K .

Por otra parte, la conceptualización del dominio de aplicación está relacionada intrínsecamente con el contexto del caso de estudio, el cual en este trabajo se enfoca a aspectos turísticos y topográficos del dominio geográfico. Esta ontología se denomina como O_A .

³ Un hipónimo es aquella palabra que posee todos los rasgos semánticos de otra más general; su hiperónimo es aquella palabra que agrega en su definición otros rasgos semánticos que lo diferencian de la segunda.

En este sentido, ambas ontologías deben estar relacionadas, una con respecto a la otra y viceversa. Por lo tanto, deben existir relaciones entre los conceptos de O_A , con los conceptos de O_K .

En este caso, se puede decir entonces que el concepto $a \in O_A$, el concepto $b \in G(a)$ y el concepto $c \in O_K$. Por lo tanto, $\forall a \exists c \ni b(es)c \in R_R$, esto indica que todos los conceptos de O_A se encuentran relacionados directamente mediante un mecanismo de herencia con algún concepto de O_K . Cabe señalar que $G(a)$ es la función de genealogía de a , la cual fue descrita en la sección 4.5.9; por otro lado, R_R es el conjunto de relaciones concretas o permisibles en la conceptualización (R_R ha sido definida en la sección 4.5.2).

5.2.1 Modelado de la ontología de dominio geográfico

En esta sección se presentan los elementos que componen a la ontología de dominio que ha sido diseñada. Esta ontología está compuesta por un conjunto de *clases de entidades abstractas*, las cuales posteriormente agrupan a un conjunto de *conceptos* que pueden ser del tipo *relación*, *clase* y *estándar*. Esta ontología fue diseñada en el Editor Protégé ver. 3.2.1 beta, bajo la metodología diseñada en el Capítulo 4.

Es importante aclarar que esta ontología de dominio geográfico está compuesta por todas las temáticas que maneja el INEGI (véase Sección 4.6). En otras palabras, el propósito de esta ontología es integrar información geoespacial y que ésta pueda recuperarse mediante el mapeo de un concepto con individuos o instancias que son representados por los objetos geográficos. El enriquecimiento de la ontología siempre estará determinado por la unión de un conjunto de ontologías de aplicación que pertenezcan al contexto geográfico.

En este sentido, las definiciones de etiquetas que representan entidades geográficas; así como la caracterización de éstas se realiza mediante la asignación de atributos que son considerados por las especificaciones del INEGI.

Si consideramos el ejemplo de un concepto estándar, denominado “camino”. De acuerdo con la especificación del INEGI, un “camino” contiene:

- Un **nombre** que es representado mediante una etiqueta con la cual se identifica al concepto.
- Una **definición** que proporciona la descripción mediante un vocabulario que da un significado al concepto.
- Un **conjunto de atributos** que son una colección de propiedades que califican cualitativamente al concepto tales como “tipo de camino” e “identificador de camino”.
- Un **dominio fijo** indica que un atributo puede tomar valores de una colección finita de diversas alternativas. Por ejemplo, para el concepto “*carretera*”, el dominio fijo “tipo de camino” solo puede tener un valor de dos posibles: “brecha” o “vereda”. En este sentido, el dominio fijo significa que su valor proviene de una especificación. Para la conceptualización del dominio geográfico, estos atributos representan una especialización de los conceptos. Sin embargo algunos otros dominios fijos como es el caso de “condición de construcción”, pueden ser utilizados por otros conceptos para poder contar con descripción semántica más rica.
- Un **dominio variable** indica que el valor del atributo puede tomarse de una colección de diferentes alternativas, por ejemplo el dominio “identificador de camino” representa una ocurrencia que se representa mediante un número secuencial.
- Una combinación hace referencia a qué mezcla de atributos de dominio fijo son válidas. En este caso, las combinaciones permisibles sirven como restricciones para un concepto. Por ejemplo, un “camino” del tipo “brecha” no puede tener un valor de dominio fijo como “número de carriles”.
- Un **conjunto de relaciones** que describen los vínculos u asociaciones que un concepto tiene con otro(s) concepto(s). Por ejemplo, para el caso de un “camino” se pueden tener las siguientes relaciones:

- **Camino Conecta Aeropuerto**
- **Camino Conecta Banco de material**
- **Camino Conecta Cementerio**
- **Camino Conecta Mina**
- **Camino Conecta Pozo de explotación**
- **Camino Conecta Ruta de embarcación**
- **Camino Conecta Calle**
- **Camino Conecta Camino**
- **Camino Conecta Carretera**
- **Camino Conecta Presa**
- **Camino Conecta Ruta de embarcación**
- **Camino Conecta Cementerio**
- **Camino Conecta Área urbana**
- **Camino Comparte Bordo**
- **Camino Comparte Presa**
- **Camino Comparte Puente**
- **Camino Comparte Área de cultivo**
- **Camino Comparte Área urbana**

Por otra parte, la ontología del dominio geográfico (*Kaab-Ontology*) esencialmente está compuesta por clases abstractas y conceptos del tipo clase. Sin embargo, ejemplos del manejo de las relaciones y restricciones entre las mismas será descrito en la sección 5.3.

En este sentido, las relaciones explícitas entre las clases de entidades abstractas y los conceptos clase y estándar son relaciones de existencia; en donde esta relación axiomática ha sido denominada como “*es*”. En la Figura 5.1 se muestra la jerarquía más básica que existe en *Kaab-Ontology*.

Asimismo, en la Figura 5.1 se puede observar que los conceptos que componen a *Kaab-Ontology*, son considerados clases dentro de la misma ontología. Por ejemplo, el concepto o clase padre es “**OWL: Thing**”, el cual a través de una relación “*es*” permite generar clases esenciales para conceptualizar los objetos del dominio geográfico. La clase “*entidad_geografica*” está compuesta por tres conceptos del tipo clase que envuelven al dominio geográfico, tales como “*fenómeno_geográfico*”, “*relación_geográfica*” y “*objeto_geográfico*”.

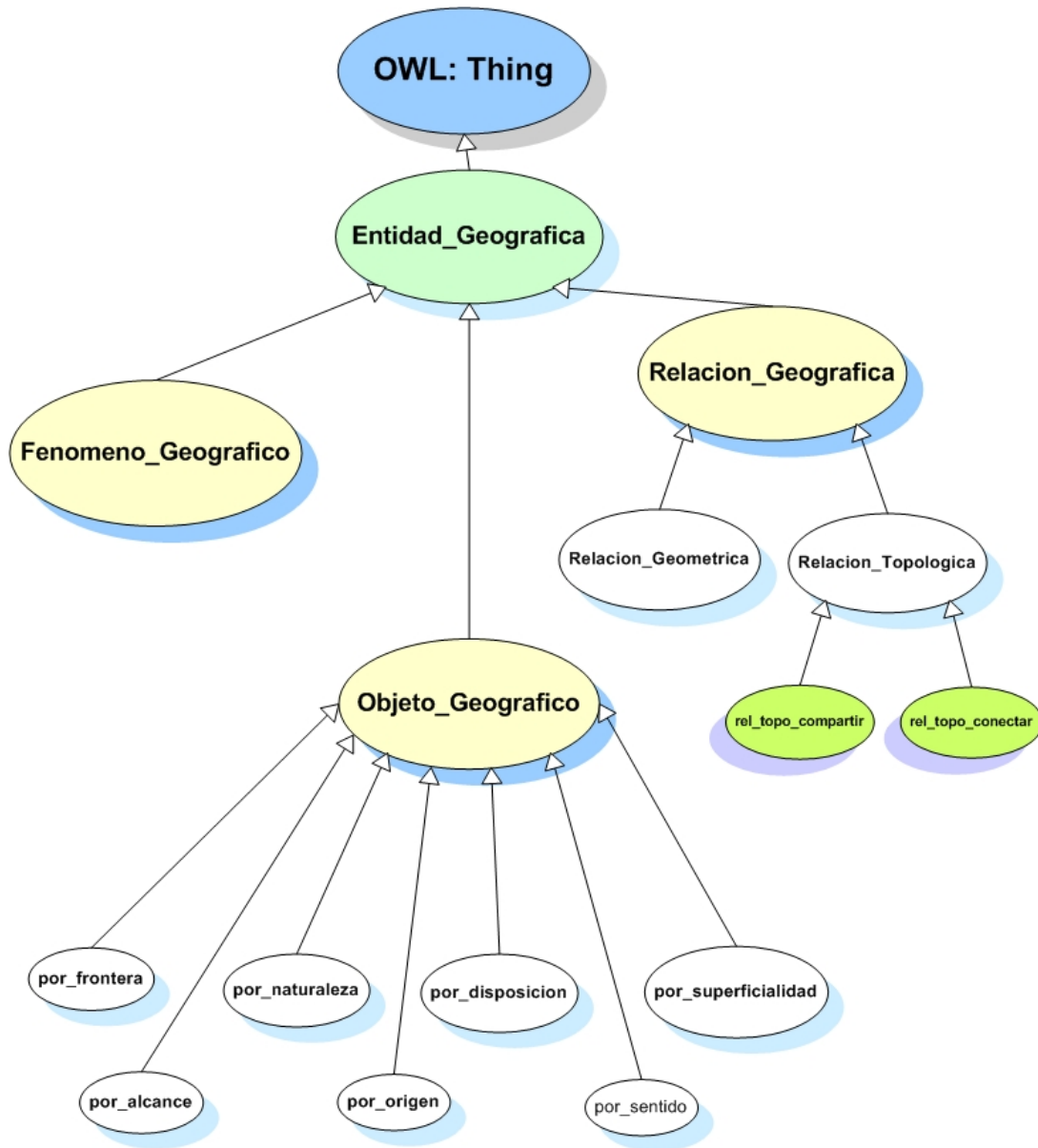


Figura 5.1. Jerarquía esencial de *Kaab-Ontology*

Cabe señalar que la relación de **existencia** “*es*” juega un rol vital en la *herencia* o especialización de otras clases para el caso de *Kaab-Ontology*, esto de acuerdo con las restricciones definidas en la sección 4.5.8; en donde se describe que una clase solo puede tener una relación de existencia; puesto que es necesario evitar las herencias redundantes y restringir aquellos términos que sirven para clasificar a los conceptos del tipo estándar.

Adicionalmente, se puede observar en la Figura 5.1 que la clase “*relacion_geografica*” está compuesta por dos clases abstractas “*relacion_geometrica*” y

“*relacion_topologica*”; las cuales a su vez están compuestas por un conjunto de conceptos del tipo relación, como es el caso de “*rel_topo_compartir*” y “*rel_topo_conectar*”.

Para el caso de *Kaab-Ontology* solo se consideran dos conceptos del tipo relación (ver Figura 5.1) “*rel_topo_conectar*” y “*rel_topo_compartir*”, de acuerdo con las especificaciones del INEGI.

No obstante, esta metodología permite agregar un mayor número de conceptos del tipo relación siempre y cuando éstas sean requeridas por el usuario. Por lo tanto, por convención para este trabajo todas las clases abstractas forman particiones completas.

De la misma forma, se puede observar en la Figura 5.1 que la clase “*relacion_geometrica*” no contiene conceptos del tipo clase; puesto que para los requerimientos del caso de estudio no se ha considerado la descripción explícita de estas relaciones. Sin embargo, estos conceptos pueden ser agregados a la ontología.

Por otro lado, es necesario proporcionar una definición con respecto a las clases esenciales que componen a *Kaab-Ontology*, las cuales son descritas en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1. Definición de los conceptos que representan clases esenciales en *Kaab-Ontology*

ENTIDAD BÁSICA	DEFINICIÓN
Entidad Geográfica	Elemento que ocupa una posición en el espacio, puede considerarse como una clase genérica con un registro de localización. Los elementos que componen una entidad son fenómeno geográfico, objeto geográfico y relación geográfica.

CLASE ESENCIAL	DEFINICIÓN
Fenómeno Geográfico	Es un factor esporádico que puede alterar el ambiente, como lo puede ser un huracán, una erupción volcánica o un terremoto. Cabe señalar que se considera fenómeno geográfico a cualquier cosa que pueda ser representada y descrita en forma cartográfica con algún método de representación.
Objeto Geográfico	Un objeto geográfico es una abstracción de un fenómeno del mundo real, se considera un elemento asociado con una localización relativa a la Tierra. Estos objetos pueden ocurrir en dos niveles: instancias y tipos. Una representación del mundo real puede ser pensada como un conjunto de objetos.

Relación Geográfica	Son vínculos que permiten definir el comportamiento que presentan los objetos geográficos con respecto a otros objetos. Además, permiten describir restricciones de los objetos geográficos al ser analizados y desplegados. Las relaciones son los elementos esenciales que describen y dan significado al contexto de los objetos geográficos.
----------------------------	--

CLASE ABSTRACTA	DEFINICIÓN
Relación Topológica	Son las relaciones entre objetos geográficos que son caracterizadas por ser invariantes a transformaciones geométricas del espacio, tales como traslación, rotación y escalamiento. Se utilizan para describir la conectividad de las primitivas geométricas que pueden derivarse de la geometría fundamental.
Relación Geométrica	Son las relaciones que proporcionan el significado de los objetos geográficos en una descripción cuantitativa, por medio de coordenadas y funciones matemáticas de las características espaciales de los objetos, incluyendo la dimensión, posición, tamaño, forma y orientación. Las funciones utilizadas para describir la geometría de un objeto dependen del tipo de sistema de referencia utilizado para definir la posición espacial. Las relaciones geométricas cambian cuando la información es transformada de un sistema de referencia a otro.

En la Figura 5.2 se muestran las particiones completas con respecto a las clases de entidades abstractas que componen a la clase *objeto geográfico*. En la misma Figura se puede observar que existe una relación de existencia (“es”) para mapear todos los elementos involucrados con esta clase.

Es importante hacer notar que la *semántica* de los objetos geográficos se encuentra realmente en las relaciones entre los mismos. No obstante, el complemento del vocabulario representado por un lenguaje de objetos geográficos, permite interpretar en forma adecuada el conjunto de relaciones permisibles R_r que pueden existir entre éstos.

Para este trabajo se consideran las relaciones tipificadas por el INEGI en sus diccionarios de datos (INEGI, 1993; INEGI, 1996; INEGI, 1999), las cuales han sido conceptualizadas por expertos de dominio y se consideran como la base para vincular diversos objetos geográficos entre sí.

Además, estas relaciones permiten identificar el *comportamiento* que pueden tener los objetos geográficos, acordes a un contexto específico en el que se encuentran inmersos.

En algunas ocasiones estas relaciones pueden considerarse como *implícitas*; sin embargo, en la mayoría de los casos estas relaciones deben ser *explícitas* para tener en forma clara la interpretación de éstas y dar un *significado concreto*⁴ a la conceptualización dada por los expertos.

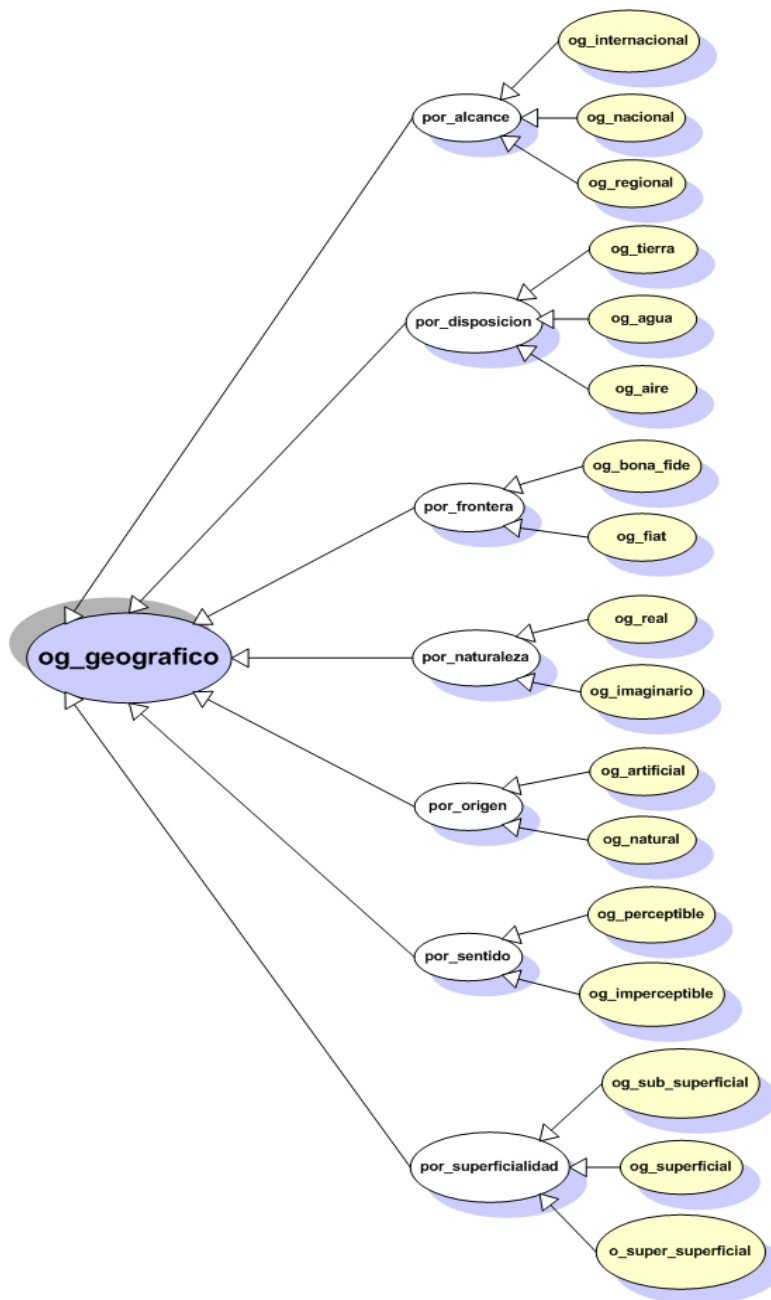


Figura 5.2. Partición de clases de entidades abstractas que componen a *og_geografico*

⁴ El hecho de decir un significado concreto significa no tener ambigüedad en la interpretación y representación explícita de las relaciones.

Como se mencionó anteriormente, las relaciones concebidas en *Kaab-Ontology* y basándose en la fuente del INEGI son: “*compartir*” y “*conectar*”. Estas relaciones han sido definidas como **conceptos tipo relación**⁵.

En *Kaab-Ontology* se utiliza un mapeo basado en una *relación ternaria*, la cual se ha denominado como **relación compuesta**. Este tipo de relación se describe de la siguiente forma: $a\rho b\pi c \in R_C$, donde $a, b, c \in C$; $\rho \in A_1$ y $\pi \in A_2$.

Para este caso, “*relacion_topologica*” cumple con una condición necesaria y suficiente para describir las relaciones de este tipo entre diversos objetos geográficos. Está vinculada por medio de la relación axiomática “*hace*” la cual pertenece al conjunto A_1 y se vincula con elementos del conjunto A_2 . La implantación de esta relación se basó en los siguientes hechos:

Existe una clase definida como “*elemento abstracto*”, la cual hereda clases por medio de la relación de existencia “*es*”, obteniendo así las clases “*relacion_atomica*” y “*relacion_compuesta*”.

La clase “*relacion_atomica*” está compuesta por las clases: “*preposiciones*” y “*relacion_basica*”. A su vez, cada una de estas clases contiene **conceptos del tipo relación**, los cuales se encargan de *poblar* las clases citadas anteriormente.

El poblado de estas clases se basa con las relaciones axiomáticas: $A_1 = \{es, tiene, hace\}$ y $A_2 = \left\{ \begin{array}{l} a, ante, bajo, con, contra, de, desde, en, entre, hacia, hasta, \\ para, por, según, sín, so, sobre, tras, junto_a, a_través_de \end{array} \right\}$ respectivamente.

De la misma forma, la clase “*relacion_compuesta*”, está conformada por las clases “*relacion_compleja*” y “*relacion_simple*”. Éstas últimas permiten realizar el mapeo ternario con objetos geográficos, de la forma descrita anteriormente.

En la Figura 5.3 se muestra la jerarquía de clases de “*elemento_abstracto*”, describiendo las relaciones definidas como clases y conceptos para *Kaab-Ontology*.

⁵ Para mayor detalle de la definición de un “concepto tipo relación”, véase la sección 4.5.6.

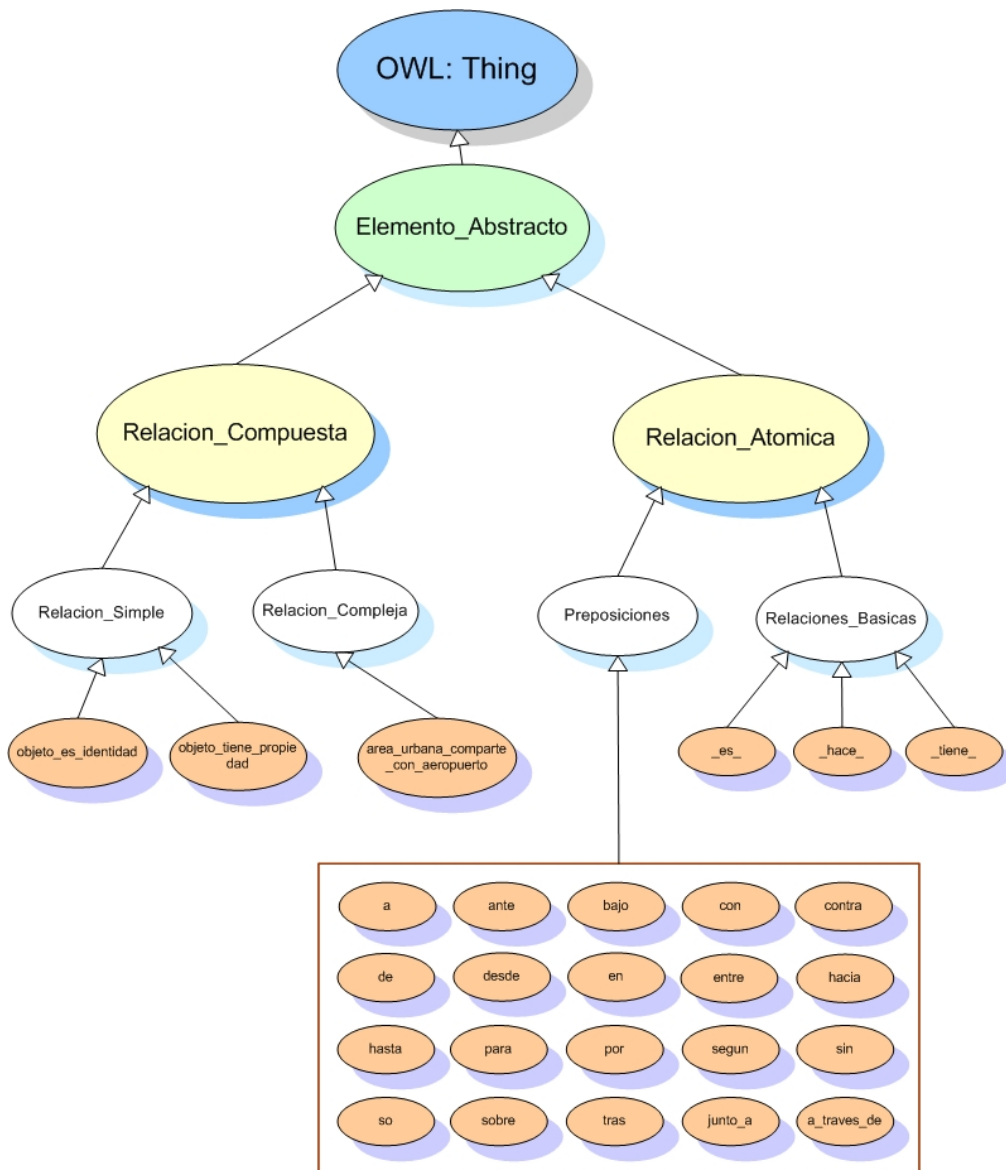


Figura 5.3. Jerarquía de clases de “*elemento_abstracto*”

Para implantar las *relaciones complejas* o *ternarias* se ha diseñado un *slot* denominado “*propiedades_de_relacion*”, el cual se muestra en la Figura 5.4. Este slot contiene objetos del tipo relación los cuales se mencionan a continuación:

- “**_origen_**”. Pertenece al dominio “*relacion_compleja*” y el rango⁶ sobre el cual actúa es “*entidad_geográfica*”.

⁶ El rango de los objetos del tipo relación se ha definido en Protégé 3.2.1, y éste indica el alcance que tiene un objeto hacia una clase; es decir, hace una referencia de todos los conceptos que pueden ser alcanzados para relacionarse con un objeto del tipo relación. Este rango se define al momento de establecer las restricciones de una clase en Protégé, de acuerdo con la estructura de la jerarquía generada.

- “**_preposicion_**”. Pertenece al dominio “*relacion_compleja*” y el rango sobre el cual actúa es “*entidad_geográfica*” y “*elemento_abstracto*”.
- “**_accion_**”. Pertenece al dominio “*relacion_compleja*” y el rango sobre el cual actúa es “*relacion_geográfica*”.
- “**_destino_**”. Pertenece al dominio “*relacion_compleja*” y el rango sobre el cual actúa es “*entidad_geográfica*”.
- “**_relacion_**”. Pertenece al dominio “*relacion_compleja*” y el rango sobre el cual actúa es “*entidad_geográfica*” y “*elemento_abstracto*”.

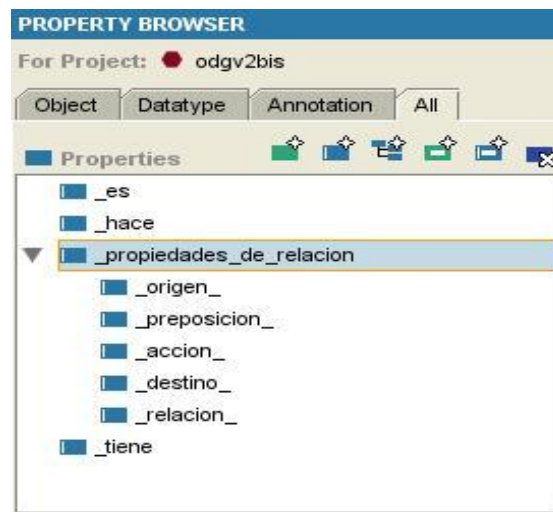


Figura 5.4. Slot utilizado para definir las relaciones que realizan el mapeo de las relaciones axiomáticas

Por lo tanto, tomando como base los objetos del tipo relación definidos en el *slot*, entonces para el caso de “*relacion_simple*” se debe cumplir lo siguiente:

“**objeto_geografico_es_identidad**”, la cual está asociada o pertenece directamente a la clase “*relacion_simple*” y se dice que $\forall _origen_ \Rightarrow objeto_geografico$, $\forall _relacion_ \Rightarrow _es_$ y $\forall _destino_ \Rightarrow entidad_geografica$.

En la Figura 5.5 se muestra un fragmento de *Kaab-Ontology*, mostrando una relación simple entre conceptos clase y conceptos estándar que ejemplifica lo anterior.

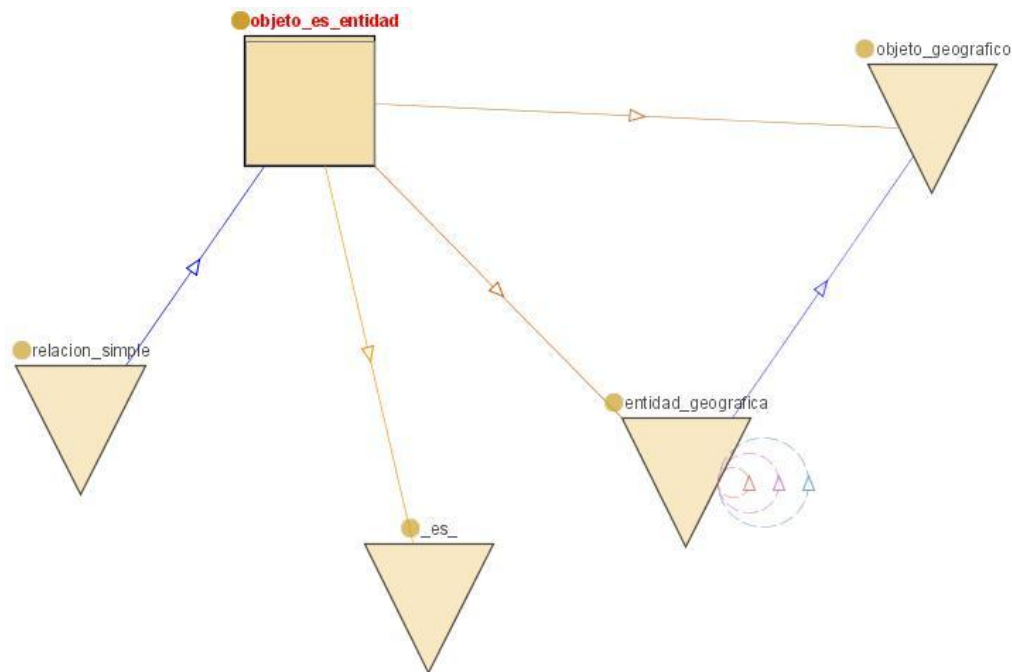


Figura 5.5. Ejemplo del mapeo de una relación simple entre conceptos clase y estándar

En la Figura 5.5 se puede observar que “*entidad_geografica*” tiene como subclase a “*objeto_geografico*”, en donde la relación se representa por una línea azul. Asimismo, “*objeto_es_identidad*” se relaciona para todo origen con “*objeto_geografico*”, describiendo una relación simple, en donde “*objeto_es_identidad*” es subclase de “*relacion_simple*”. Del mismo modo, “*_es_*” describe una relación axiomática básica que indica que todo “*objeto_es_identidad*”. Por otro lado, “*entidad_geografica*” contiene las tres relaciones axiomáticas básicas: “*es*”, “*tiene*” y “*hace*”; puesto que es una clase base que permite realizar todos los mapeos y operaciones posibles que describen al dominio geográfico.

Para el caso de “*relacion_compleja*”, la relación ternaria es almacenada como un individuo por cuestiones de implementación; con el objeto de describir este tipo de relación. Entonces, si se tiene como ejemplo: “**área urbana comparte con aeropuerto**”. La forma de describir este tipo de relación entre los tres tipos de conceptos: *área urbana* (**concepto estándar**), *comparte* (**concepto relación**) *con* (**relación axiomática**) y *aeropuerto* (**concepto estándar**) es cumpliendo las siguientes restricciones:

“**área_urbana_comparte_con_aeropuerto**” se encuentra definida en la clase “*relacion_compleja*”, a lo cual:

- $\forall _origen_ \Rightarrow \text{area_urbana},$
- $\forall _relacion_ \Rightarrow _hace_,$
- $\forall _accion_ \Rightarrow \text{rel_topo_compartir},$
- $\forall _preposicion_ \Rightarrow _con_,$
- $\forall _destino_ \Rightarrow \text{aeropuerto}$

De esta forma, se realiza el mapeo entre objetos geográficos utilizando una relación ternaria, tal como se describe en la sección 4.5.2.

En la Figura 5.6 se muestra un ejemplo de la relación compleja descrita anteriormente. Esta relación está basada en conceptos estándar y conceptos relación.

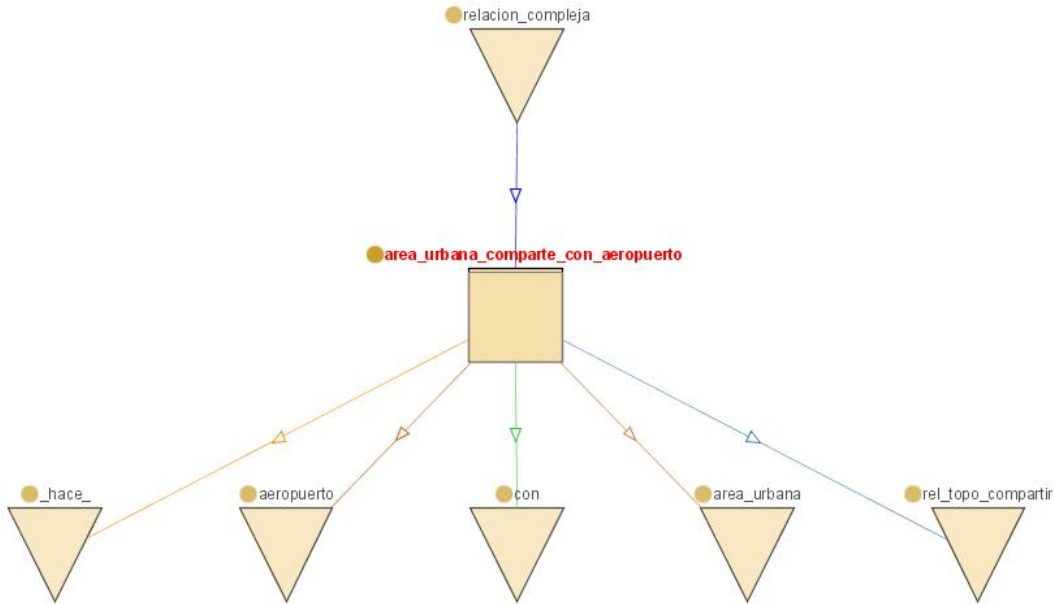


Figura 5.6. Mapeo de una relación ternaria entre conceptos estándar y relación

En la Figura 5.6 se puede observar que la clase “*relacion_compleja*” tiene como subclase a “*area_urbana_comparte_con_aeropuerto*”, esta relación cuenta con dos conceptos estándar, dos relaciones axiomáticas y un concepto del tipo relación. Todos los enlaces se describen con líneas de diferentes colores y se puede observar además, la representación de una relación compuesta originada por la metodología diseñada a partir de la forma $a\rho b\pi c \in R_c$.

Por lo tanto, si se desea describir ontológicamente las relaciones de instancias pertenecientes a conceptos estándar y relación, se tiene como ejemplo la instancia

“**relación_ternaria_12**”⁷, la cual está basada en el caso anterior, “**area_urbana_comparte_con_aeropuerto**”.

Entonces, si se tiene como instancia del concepto “**area_urbana**” a “*ciudad_de_mexico*” y como instancia de “**aeropuerto**” a “*a_mx_benito_juarez*”, estos individuos son descritos por medio de *objetos del tipo relación*. En este caso, se representan de la siguiente forma:

- `Relacion_ternaria_12 --- _origen_ --- > ciudad_mexico` (línea morada).
- `Relacion_ternaria_12 --- _accion_ --- > relacion_topologica_compartir` (línea gris). En este caso, el objeto de tipo relación considera explícitamente la relación axiomática “*hace*”, como medio de ejecución para describir acciones realizadas por los conceptos estándar.
- `Relacion_ternaria_12 --- _destino_ --- > a_mx_benito_juarez` (línea verde).

La representación descrita para relaciones compuestas entre instancias de conceptos estándar y conceptos del tipo relación, se muestra en la Figura 5.7.

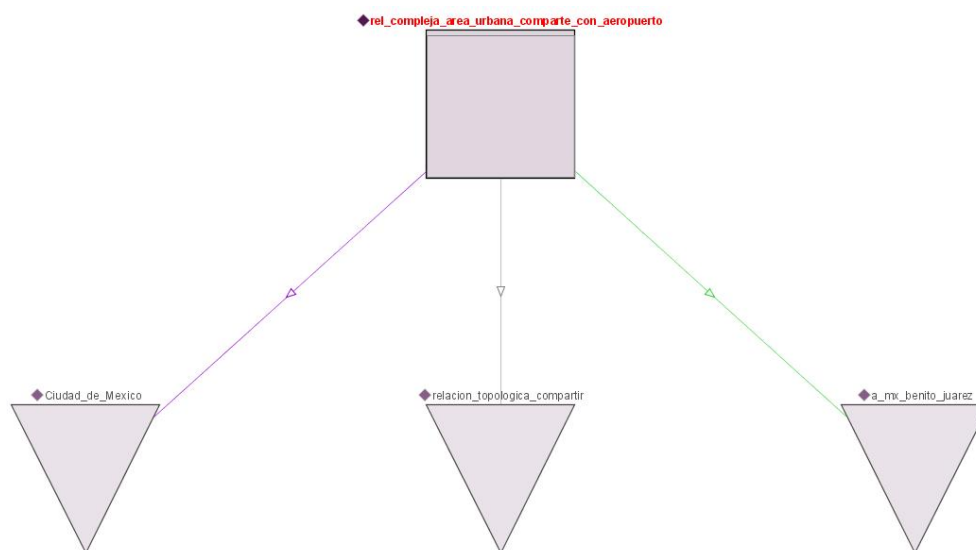


Figura 5.7. Relación compuesta entre instancias de conceptos

⁷ El término “**relación_ternaria_12**” es una etiqueta que representa una instancia de *Kaab-Ontology*, en donde “**_12**” indica el número de instancia que corresponde a “**área_urbana_comparte_con_aeropuerto**”.

Por último, existe otra clase denominada “*dominio_fijo*” que se encarga de contener clases de conceptos que derivan en *instancias*, los cuales permiten clasificar a otros conceptos que pertenecen y están asociados a las clases de entidades abstractas.

Las instancias contenidas en la clase “*dominio_fijo*” pueden ser consideradas como **atributos** o **propiedades** particulares de conceptos estándar. Esta clase hereda directamente de la superclase “**OWL: Thing**” (ver Figura 5.8).

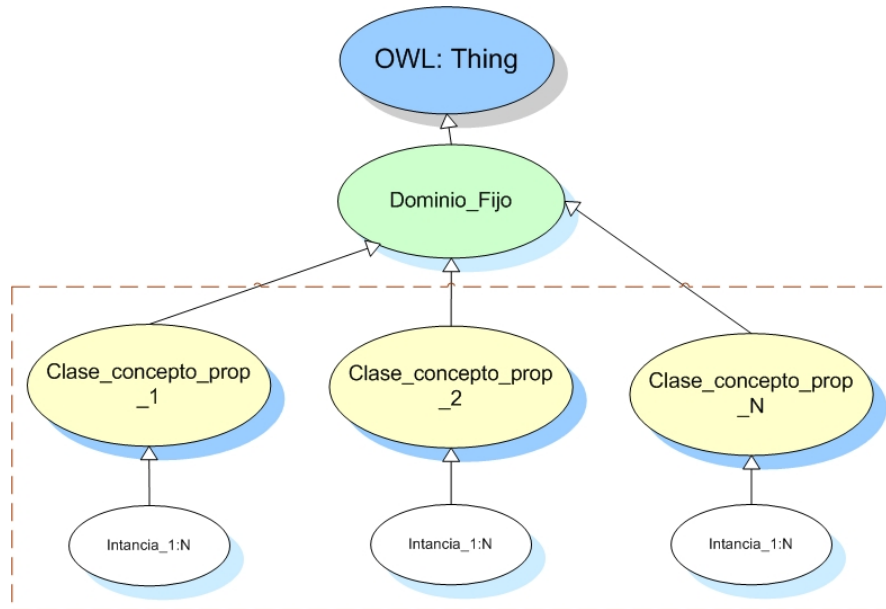


Figura 5.8. Jerarquía de la clase “*dominio_fijo*” en *Kaab-Ontology*

En la Figura 5.8 se puede observar que las clases que componen a “*dominio_fijo*”, son clases variables (elipses de color amarillo), puesto que éstas se determinan de acuerdo con la conceptualización dada; es decir, con base en el contexto o temática particular que un usuario de dominio experto desee representar ontológicamente; por lo tanto la clase de “*dominio_fijo*” crece con respecto a las ontologías de aplicación que se deseen contruir.

Posteriormente, las instancias⁸ de estas clases (elipses de color blanco), son **propiedades** o **atributos** que permiten calificar a los conceptos estándar con tipos más particulares, enriqueciendo la *semántica* de los mismos; puesto que se tiene mayor *granularidad* en la descripción del concepto al especializar éste o contando con mayor información al respecto del mismo.

⁸ En bases de datos, las instancias representan los renglones o individuos que componen una tabla y cuentan con un identificador único para diferenciarse del resto.

Por ejemplo, en las ontologías de aplicación (O_A) diseñadas a partir de la ontología de dominio geográfico (O_K) se tienen diversos *conceptos estándar*. Particularizando en el concepto estándar “carretera”, éste debe contener diversas características que permitan representar y describir ontológicamente todos sus conceptos, relaciones y propiedades asociadas al mismo. En este caso, la clase “dominio_fijo” contiene esas propiedades o atributos que describen al concepto, lo cual se muestra en la Figura 5.9.

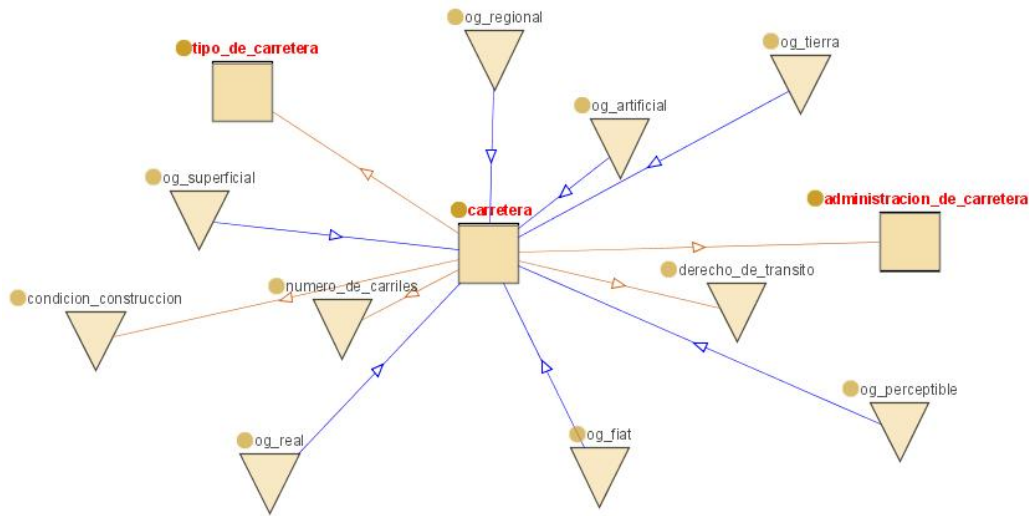


Figura 5.9. Descripción ontológica del concepto estándar “carretera”

En la Figura 5.9 se puede apreciar que el concepto “carretera” tiene **conceptos tipo clase** asociados o relacionados a él, tales como “og_regional”, “og_artificial”, “og_tierra”, “og_perceptible”, “og_fiat”, “og_real” y “og_superficial”. Estos conceptos se relacionan con el concepto carretera a través de la **relación de existencia “es”**. Las flechas en color azul representan esta relación; en términos de implementación la relación en el sistema indica una asociación que puede ser de “Clase – Jerarquía” denominada como “**has-subclass**”.

Sin embargo, esta notación indica la relación de existencia y por ejemplo, se puede leer: “**og_tierra has-subclass carretera**” o “**og_artificial has-subclass carretera**”; en otras palabras, “**carretera _es_ og_tierra**” y “**carretera _es_ og_artificial**”. De esta misma forma, se tiene una línea color café que representa una **relación de pertenencia “tiene”**, la cual indica que una “**carretera**” “*tiene*” conceptos que describen propiedades o atributos.

En este caso, los conceptos que describen a “**carretera**” son: “*tipo_de_carretera*” y “*administración_de_carretera*” (representados con letras en color rojo). Sin embargo, existen otros conceptos que describen propiedades como “*numero_de_carriles*”, “*condicion_construccion*” y “*derecho_de_transito*” que están asociados a otros conceptos y no solo al concepto “*carretera*”. En otras palabras, la descripción ontológica se lee de la siguiente forma:

- “ \forall **carretera** *tiene* \Rightarrow **administración_carretera**”,
- “ \forall **carretera** *tiene* \Rightarrow **tipo_de_carretera**”,
- “ \forall **carretera** *tiene* \Rightarrow **numero_de_carriles**”,
- “ \forall **carretera** *tiene* \Rightarrow **condicion_construccion**” y “ \forall **carretera** *tiene* \Rightarrow **derecho_de_transito**”.

En la Figura 5.10 se muestran las instancias referentes a las clases de conceptos que definen propiedades. Por ejemplo, para el concepto “*tipo_de_carretera*” se tienen las instancias: “**terracería**” y “**pavimentada**”. Para “*administración_de_carreteras*” se cuenta con: “**federal**”, “**concecionada**”, “**estatal**” y “**otro_tipo_de_administracion**”.

Estas instancias aparecen en color morado y la relación de implementación para éstas es “**has-instance**”; la cual describe una relación de pertenencia con respecto al concepto “*carretera*”.

De otra forma, la descripción ontológica para este caso es: “**administración_de_carretera** *has instance* **federal**” o “**tipo_de_carretera** *has instance* **pavimentada**”, a lo cual relacionado con el concepto “*carretera*” se tiene lo siguiente:

- “ \forall **carretera** *tiene* \Rightarrow **administración_carretera** --- *has instance* **federal**”
- “ \forall **carretera** *tiene* \Rightarrow **tipo_de_carretera** --- *has instance* **pavimentada**”

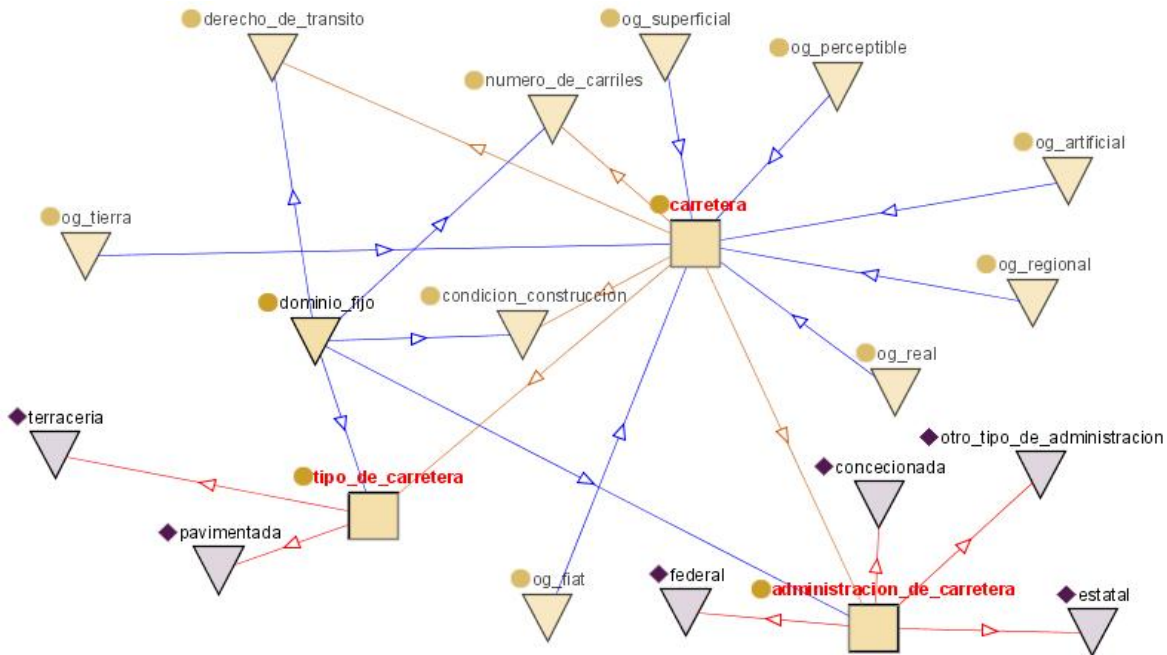


Figura 5.10. Descripción ontológica del concepto estándar “carretera” mostrando instancias de “dominio_fijo”

5.2.2 Modelado de las ontologías de aplicación

En esta sección se describen las ontologías de aplicación que fueron diseñadas con base en la metodología GEONTO – MET para *Kaab-Ontology*. Las ontologías de aplicación corresponden al contexto *topográfico* y *turístico*.

El editor utilizado para el diseño de éstas fue Protégé ver. 3.2.1. Cabe señalar que la especificación tomada como fuente para el diseño de las ontologías fueron los diccionarios de datos alfanuméricos del INEGI (INEGI, 1996; INEGI, 1999), bajo la formalización metodológica propuesta en el Capítulo 4 de esta tesis. El contenido descrito a continuación presenta como resultados principales el diseño de las ontologías, la descripción e implementación de las mismas.

5.2.2.1 Ontología de aplicación del contexto turístico

La ontología de aplicación del contexto turístico está compuesta por un conjunto de conceptos del tipo clase, estándar y relación. A continuación se describen los términos esenciales de esta ontología.

Con respecto a las clases esenciales que corresponden a este dominio y considerando la especificación del INEGI se presenta en la Figura 5.11 la jerarquía de clases que corresponde a esta ontología.

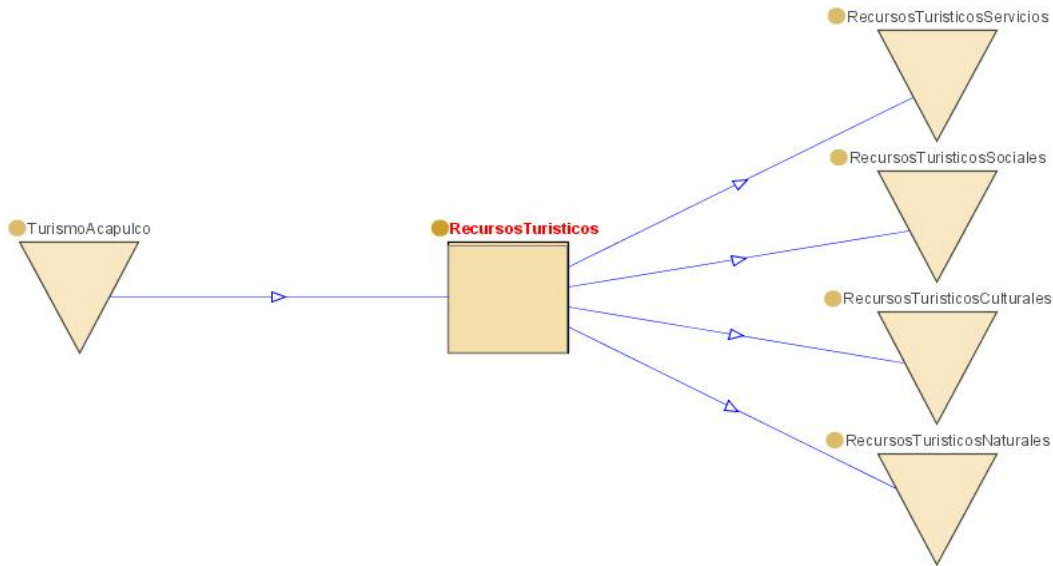


Figura 5.11. Jerarquía de clases que componen a la ontología del contexto turístico

Como se puede apreciar en la Figura 5.11, la jerarquía esencial de esta ontología está compuesta por el concepto clase “**TurismoAcapulco**”, el cual especializa una clase de entidad denominada “*RecursosTuristicos*”, en donde ésta genera clases de conceptos que agrupan a un conjunto de subclases y conceptos estándar. La partición de esta clase está compuesta por:

- “*RecursosTuristicosServicios*”
- “*RecursosTuristicosSociales*”
- “*RecursosTuristicosCulturales*”
- “*RecursosTuristicosNaturales*”

En este caso, la relación de existencia implementada en Protégé y representada por “**has-subclass**” (línea azul), determina una especialización dependiente de la clase “*RecursosTuristicos*”. En otras palabras la descripción ontológica de esta partición es de la siguiente forma:

- “**RecursosTuristicos has-subclass RecursosTuristicosServicios**”
 - “**RecursosTuristicos _es_ RecursosTuristicosServicios**”

- “**RecursosTuristicos** *has-subclass* **RecursosTuristicosSociales**”
 - “**RecursosTuristicos** *_es_* **RecursosTuristicosSociales**”
- “**RecursosTuristicos** *has-subclass* **RecursosTuristicosCulturales**”
 - “**RecursosTuristicos** *_es_* **RecursosTuristicosCulturales**”
- “**RecursosTuristicos** *has-subclass* **RecursosTuristicosNaturales**”
 - “**RecursosTuristicos** *_es_* **RecursosTuristicosNaturales**”

En la Tabla 5.2 se definen los significados correspondientes a cada uno de estos términos.

Tabla 5.2. Definición de conceptos de la jerarquía “*RecursosTuristicos*”

CLASE	DEFINICIÓN
<i>RecursosTuristicosServicios</i>	Instalación turística cuya finalidad es la de satisfacer alguno de los requerimientos básicos de los turistas.
<i>RecursosTuristicosSociales</i>	Recurso turístico utilizado para satisfacer requerimientos del turista y nativos del lugar, tales como centros comerciales, deportivos y recreativos.
<i>RecursosTuristicosCulturales</i>	Recurso turístico utilizado para satisfacer requerimientos de índole artístico y de historia correspondientes a cada lugar en particular.
<i>RecursosTuristicosNaturales</i>	Instalación turística asociada directamente a lugares creados por la naturaleza misma y que producen por sí mismos el objetivo real del turista para visitar lugares específicos.

En la Figura 5.12 se muestran los conceptos asociados a las clases de entidades descritas en la Tabla 5.2. Se puede apreciar en esta Figura que la relación de existencia para estos elementos es “**has-subclass**”.

Sin embargo, algunos de estos conceptos son subclases de conceptos que contienen conceptos estándar, lo cual ofrece una especialización más refinada en términos de una descripción ontológica.

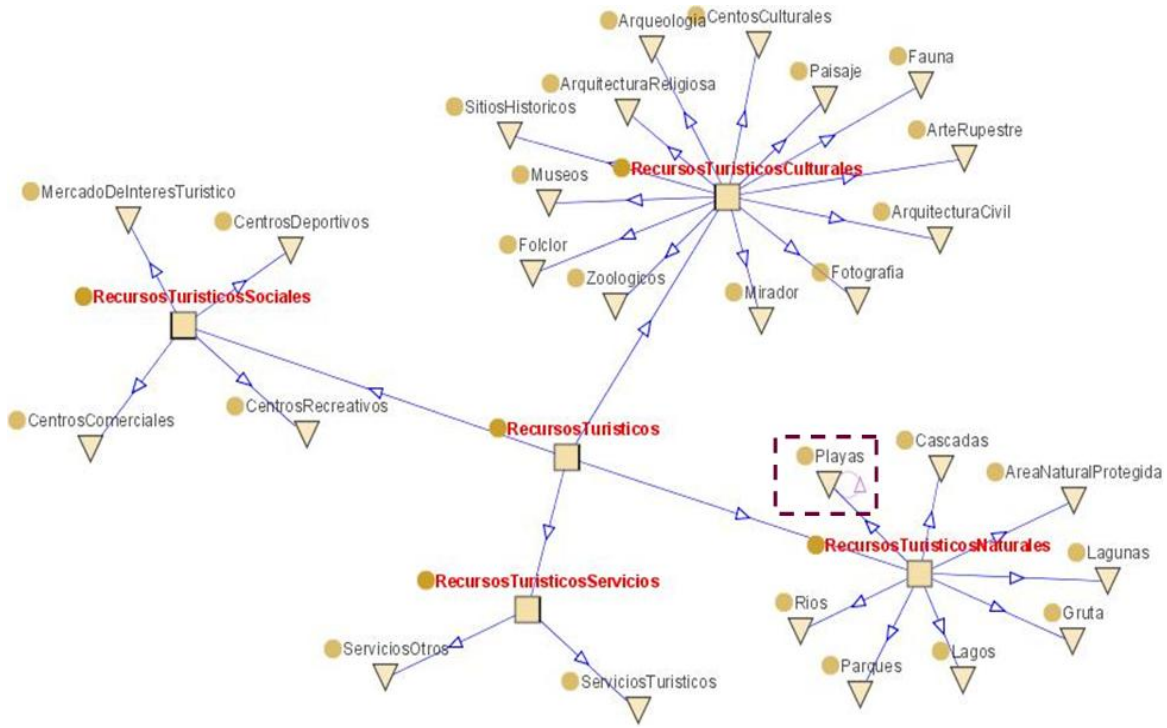


Figura 5.12. Conceptos especializados con respecto a las clases de entidades

En la Figura 5.12 también se puede observar que el concepto “Playas” (encerrado en un cuadro con líneas punteadas de color guinda) presenta una *relación anidada* y representada con un color morado; lo cual indica de acuerdo con el diseño de la ontología que $\exists \text{ playa} \text{ ---part_of--- Playas}$, siendo ésta una condición *necesaria* para determinar una asociación directa entre diversas instancias del concepto “Playas”.

De acuerdo con el diccionario de datos alfanumérico del INEGI (INEGI, 1999) y expertos de dominio, se tienen las descripciones con respecto a las definiciones que componen los conceptos estándar de la jerarquía de clases de la ontología del contexto turístico (ver Tablas 5.3 y 5.4) Las Tablas 5.5 y 5.6 fueron generadas con base en la conceptualización de expertos y éstas muestran los conceptos estándar especializados de conceptos del tipo clase.

Tabla 5.3. Definición de conceptos estándar que componen la jerarquía de la clase “*Recursos Turísticos Culturales*”

CLASE DE ENTIDAD	CONCEPTO ESTÁNDAR	SIGNIFICADO
Recursos Turísticos Culturales	<i>Arqueología</i>	Considera todos los monumentos prehispánicos en zonas y sitios que se encuentran explorados y restaurados.
	<i>Arquitectura Civil</i>	Construcción edificada originalmente para cumplir funciones administrativas, de servicios, producción habitacionales o de hornato, cuyos parámetros permiten establecer su uso recreativo.
	<i>Arquitectura Religiosa</i>	Construcción edificada originalmente para cumplir funciones de culto religioso, cuyas características permiten considerarlo como un atractivo turístico.
	<i>Arte Rupestre</i>	Manifestaciones artísticas tales como pinturas y petroglifos, realizados por culturas autóctonas sobre superficies rocosas.
	<i>Centros Culturales</i>	Lugar donde se realizan actividades culturales con fines recreativos.
	<i>Fauna</i>	Especies animales con valor recreativo, considerando también los sitios de reproducción y zonas que presentan concentraciones de fauna local.
	<i>Folclor</i>	Expresiones, costumbres y manifestaciones artísticas de nuestro pueblo transmitidas comúnmente en forma oral y con carácter tradicional.
	<i>Fotografía</i>	Reproducción fotográfica de los recursos turísticos más importantes.
	<i>Mirador</i>	Punto estratégico de un lugar desde el cual puede dominar el paisaje natural y/o urbano.
	<i>Museos</i>	Sitio acondicionado para el estudio y exposición de los avances científicos, las letras y artes liberales.
	<i>Paisaje</i>	Conjunto de características ambientales particulares de cualquier lugar que puede ser atractivo para el turista.
	<i>Sitios Históricos</i>	Lugar donde se llevó a cabo algún acontecimiento relevante para que el desarrollo pueda aprovecharse o contemplarse con fines educativos y recreativos.
	<i>Zoológicos</i>	Conjunto de instalaciones cuya infraestructura es apropiada para el confinamiento y exhibición de diferentes especies animales.

Tabla 5.4. Definición de conceptos estándar que componen la jerarquía de la clase “*RecursosTuristicosNaturales*”

CLASE DE ENTIDAD	CONCEPTO ESTÁNDAR	SIGNIFICADO
RecursosTuristicosNaturales	<i>AreaNaturalProtegida</i>	Zonas o Regiones destinadas para la conservación de sus recursos naturales.
	<i>Cascada</i>	Caída natural de agua localizada en un cambio brusco de pendiente del cause de una corriente.
	<i>Gruta</i>	Cavidad formada por la disolución de rocas calizas expuestas a la acción del agua, con presencia de cristalizaciones y formaciones propias de este fenómeno.
	<i>Lago</i>	Cuerpo de agua dulce o salada, más o menos extensa, que se encuentra alejada del mar, y asociada generalmente a un origen glaciar.
	<i>Laguna</i>	Denominación que recibe cualquier extensión natural de agua estancada, sea ésta dulce o salada. La diferencia con los lagos no es muy precisa, salvo que se supone que una laguna tiene menor extensión y profundidad. Las lagunas que se encuentran cercanas al litoral y están asociadas a un origen marino se llaman marismas.
	<i>Fauna</i>	Especies animales con valor recreativo, considerando también los sitios de reproducción y zonas que presentan concentraciones de fauna local.
	<i>Parques</i>	Terreno situado en el interior de una población que se destina a prados, jardines y arbolado sirviendo como lugar de esparcimiento y recreación.
	<i>Playas</i>	Costa o ribera arenosa en la cual se pueden realizar actividades tales como baños de sol, natación, canotaje, campamento, etc.
	<i>Ríos</i>	Corriente natural de agua que fluye con continuidad. Posee un caudal determinado y desemboca en el mar, en un lago o en otro río, en cuyo caso se denomina afluente.

Tabla 5.5. Definición de conceptos estándar que componen la jerarquía de la clase “*RecursosTuristicosServicios*”

CLASE DE ENTIDAD	CONCEPTO TIPO CLASE	CONCEPTOS ESTÁNDAR
RecursosTuristicosServicios	<i>ServiciosOtros</i>	Bancos, Bomberos, Escuelas[Privadas (Primarias, Secundarias, Preparatorias, Universidades), Publicas (Primarias, Secundarias, Preparatorias, Universidades)], Hospitales[Privados, Públicos], Policía[PoliciaBancaria, PoliciaDeCamino, PoliciaJudicial, PoliciaMunicipal, PoliciaPrivada]
	<i>ServiciosTuristicos</i>	AgenciasDeViajes, InformacionTuristica, OficinasdeCorreos, Servicios De Hospedaje[Hotel, TrailerParks], ServiciosDeRestaurante[Restaurante], TransporteTerrestre[Ferrocarriles, RentaAutos, TerminalesDeAutobuses], TransporteAereo[Aerolíneas, Aeropuertos (AeropuertosMilitares, AeropuertosPublicos)], TransporteMaritimo[TerminalMaritima, Transbordador]

Tabla 5.6. Definición de conceptos estándar que componen la jerarquía de la clase “*RecursosTuristicosSociales*”

CLASE DE ENTIDAD	CONCEPTO TIPO CLASE	CONCEPTOS ESTÁNDAR
RecursosTuristicosSociales	<i>CentrosComerciales</i>	Mercados[MercadosArtesanias, MercadosOtros], PlazasComerciales
	<i>CentrosDeportivos</i>	ArenasBoxYLucha, ClubDeGolf, Estadios, JaiAlai, SitiosParaBuceo, SitiosParaNavegacion, SitiosParaPescaDeportiva
	<i>CentrosRecreativos</i>	CentrosRecreativosFamiliares[Acuarios, Albercas, Billares, Cafes, Cines, Palenques, ParquesAcuaticos, PistasPatinaje, PlazaToros], CentrosRecreativosVariedad[Bares, Cantabares, Discotecas, Nocturnos], MercadosDe InteresTuristico

Cabe señalar que la conceptualización de un dominio de aplicación está relacionada directamente con el *contexto* del *caso de estudio*. Para este apartado referente al ámbito turístico, la ontología de aplicación diseñada ha sido denominada como O_A y la ontología del dominio geográfico (*Kaab-Ontology*) como O_K .

Estas ontologías deben estar relacionadas una con respecto a la otra; es decir, conceptos de O_A tienen un mapeo hacia O_K y viceversa. Para tal efecto, las clases de entidades abstractas juegan un rol preponderante para este mapeo. La forma en que se relacionan conceptos de O_A con O_K , es a través de la **relación de existencia “es”**, la cual permite identificar, clasificar y ordenar conceptos de ontologías de aplicación con *Kaab-Ontology*. En la Figura 5.13 se puede apreciar este tipo de asociación.

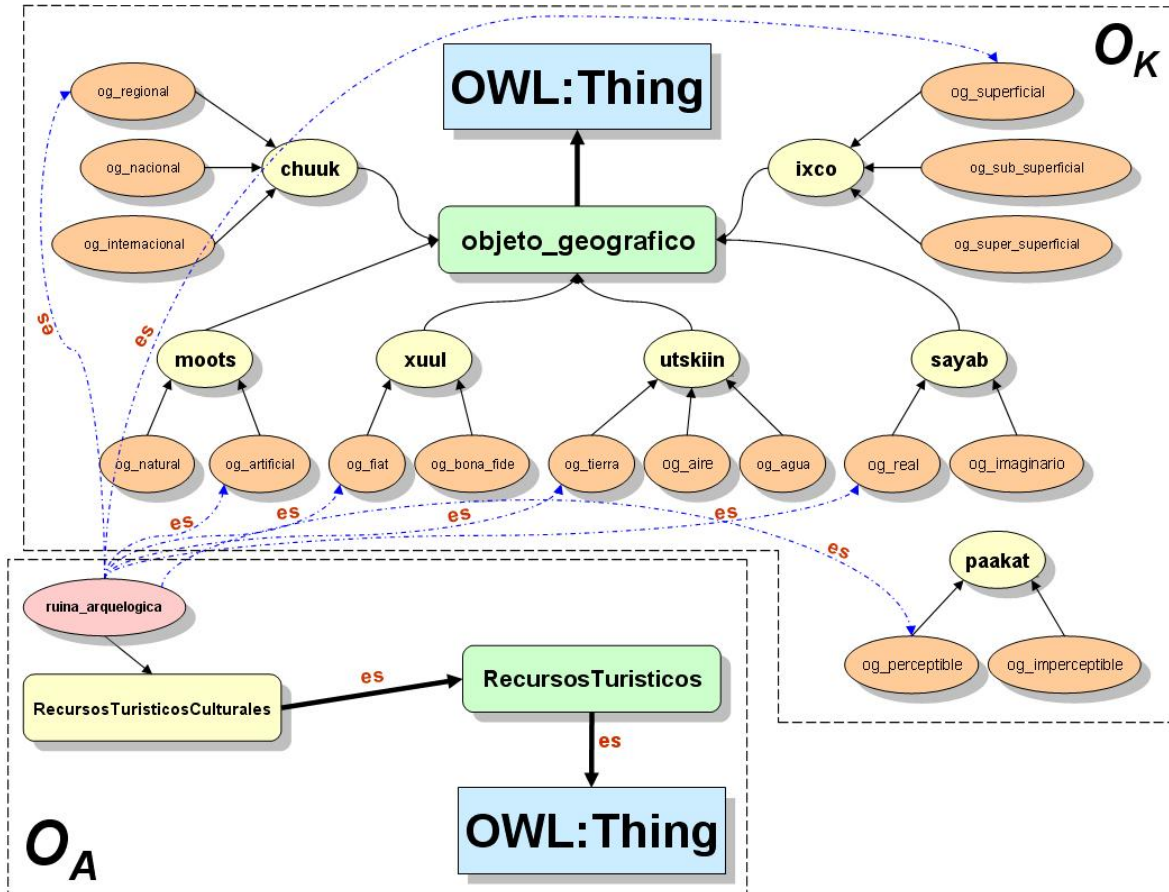


Figura 5.13. Relación de conceptos de O_A con respecto a las clases de entidades abstractas de O_K

Como se aprecia en la Figura 5.13⁹ se utiliza la relación axiomática “es” para mapear O_A con respecto a O_K . El mapeo se encarga de vincular a conceptos estándar, como es el caso de “ruina_arqueologica” con respecto a una subclase perteneciente a una clase de entidad abstracta como son “chuuk”, “ixco”, “moots”, “xuul”, “utskiin”, “sayab” y “paakat”.

⁹ Cabe señalar que por cuestiones de espacio solo se colocó un concepto estándar (ruina_arqueologica) perteneciente al contexto turístico; también se omitieron algunas otras clases que componen a O_A .

En el caso anterior, solo se muestra la forma en la cual se asocian ambas ontologías. Sin embargo, existen a su vez las relaciones axiomáticas “*tiene*” que se encargan de describir y conceptualizar las propiedades que un concepto estándar puede tener, y “*hace*” que se encarga de definir las acciones o habilidades que pueden efectuarse entre diversos conceptos estándar. Como se definió en la sección 4.5.4 una **habilidad** para el dominio geográfico se encarga de vincular conceptos con otros, por medio de sus relaciones geográficas, las cuales son representadas en *Kaab-Ontology* como conceptos del tipo relación.

Por lo tanto, al momento en que se describen las relaciones que posee un concepto que representa un objeto geográfico, se está definiendo su existencia, un conjunto de propiedades que lo describen y sus habilidades para asociarse y definir algún tipo de comportamiento con otros conceptos (objetos geográficos).

De acuerdo con lo anterior, la *existencia* de un concepto se da por medio de un *vocabulario* que representa a un *lenguaje*, con su respectiva *definición*, al cual se le asigna una *etiqueta* que le proporciona una *identidad* dentro de la ontología, para formar parte o ser *miembro* de alguna *subclase* de la jerarquía de *Kaab-Ontology*.

Por ejemplo, para el caso del concepto “*ArquitecturaCivil*”, se muestra en la Figura 5.14 las relaciones axiomáticas de existencia¹⁰ con respecto a las subclases de “*og_geografico*”.

A su vez, también se puede observar que existen conceptos más particulares que sirven para contar con mayor riqueza *semántica* de acuerdo con la especialización de un concepto como es el caso del concepto estándar “*Acueducto*”, el cual contiene “*superficial*” y “*subterráneo*” como conceptos especializados de él que también son generados por medio de una relación de existencia.

¹⁰ En la Figura 5.14 la relación axiomática de existencia “*es*” se representa por medio de un “*triángulo*”.

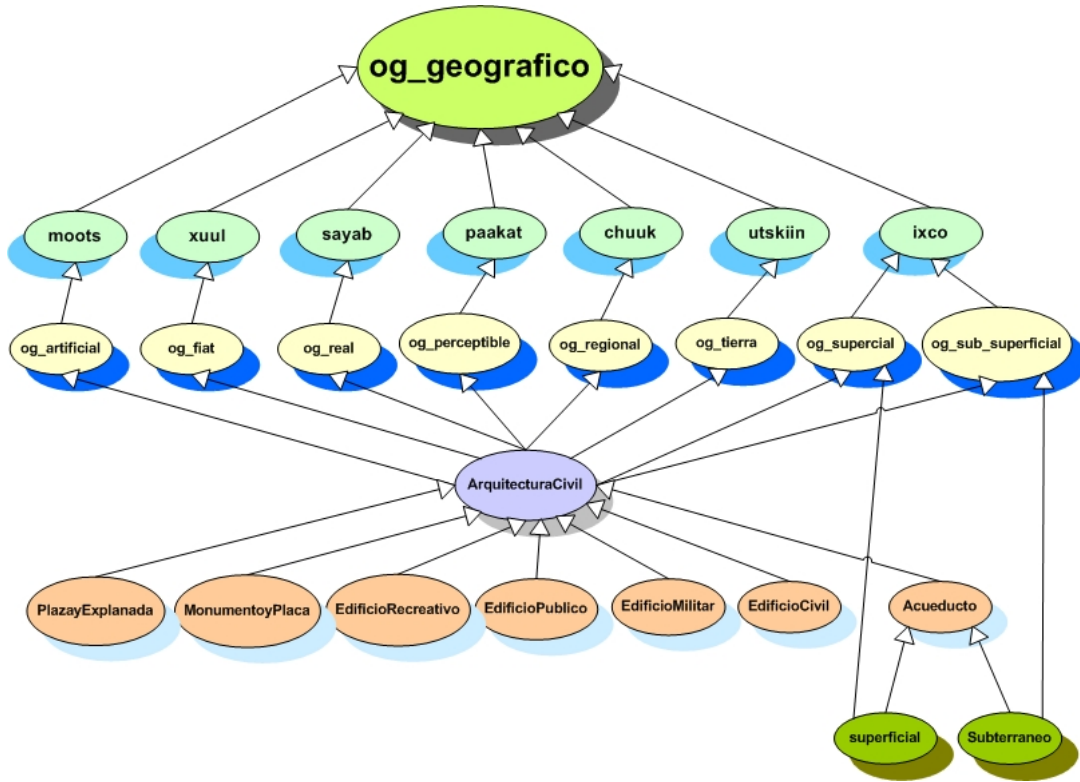


Figura 5.14. Generación del concepto “*ArquitecturaCivil*” en la ontología de aplicación, utilizando la relación axiomática “*es*”. La relación es representada por medio de un triángulo

De acuerdo con lo descrito anteriormente acerca de la clase de “*dominio_fijo*”, ésta describe los *atributos* que un concepto estándar posee. En este caso, los atributos de un dominio fijo, basándose en la especificación de INEGI que corresponden con clases de la conceptualización, necesitan generar conceptos más particulares.

No obstante, existen atributos que no cumplen con esta condición; es decir, atributos de dominio variable y de dominio fijo que no corresponden con las clases deben ser tratados como *propiedades* de conceptos. En este caso, como se define en la sección 4.5.3 es necesario generar un concepto que describa este tipo de atributos y agregarlos al concepto estándar, por medio de la relación de pertenencia “*tiene*”.

Por ejemplo, si se tiene la clase denominada “*condicion_construccion*”, la cual pertenece a “*dominio_fijo*”. Esta clase refleja las **propiedades** que los conceptos pueden tener. Asimismo, “*condicion_construccion*” tiene como instancias a: “*en_construccion*”, “*en_operacion*” y “*fuera_de_uso*”, en donde éstas pueden describir a la instancia de un concepto en particular de otra clase, tal como es el caso para los conceptos de “*EdificioRecreativo*”, “*EdificioPublico*”, “*EdificioMilitar*”, “*EdificioCivil*” y

“Acueducto”. Por lo tanto, mediante la relación de pertenencia¹¹ se establecen las descripciones de las propiedades de un concepto (ver Figura 5.15).

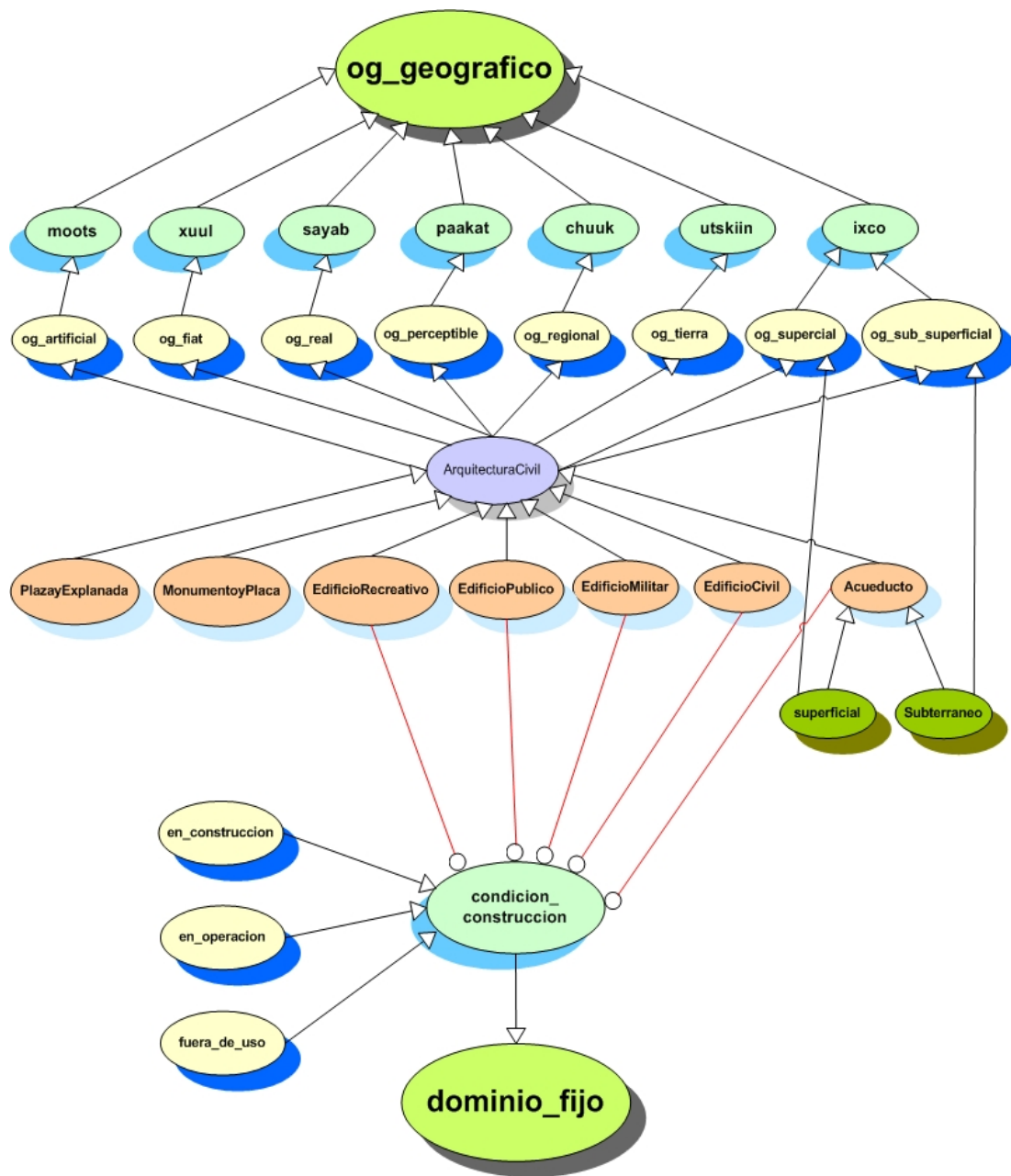


Figura 5.15. Asignación de propiedades a conceptos a través de la relación axiomática de pertenencia “*tiene*”. En este caso la propiedad es “*condicion_construccion*” que pertenece a “*dominio_fijo*”, en donde esta propiedad se asigna a diversos conceptos tales como “*EdificioRecreativo*”, “*EdificioPublico*”, “*EdificioMilitar*”, “*EdificioCivil*” y “*Acueducto*”. La relación de pertenencia de la propiedad se representa por medio de un círculo y líneas rojas

¹¹ En la Figura 5.15 la relación axiomática de pertenencia “*tiene*” se representa por medio de un “*circulo*”.

Con respecto a las propiedades que conciernen a un dominio variable, existe la clase “*dominio_variable*”, la cual es heredada de “*OWL:Thing*”. El objeto de esta clase es coleccionar atributos que presentan valores simples en forma numérica. Por ejemplo, en la Figura 5.16 se presenta el atributo “*id_arquitectura_civil*”, el cual se considera una propiedad variable; puesto que la frecuencia de sus valores representa instancias de conceptos en la ontología de aplicación. La implementación de esta *propiedad* se define a través de un concepto estándar.

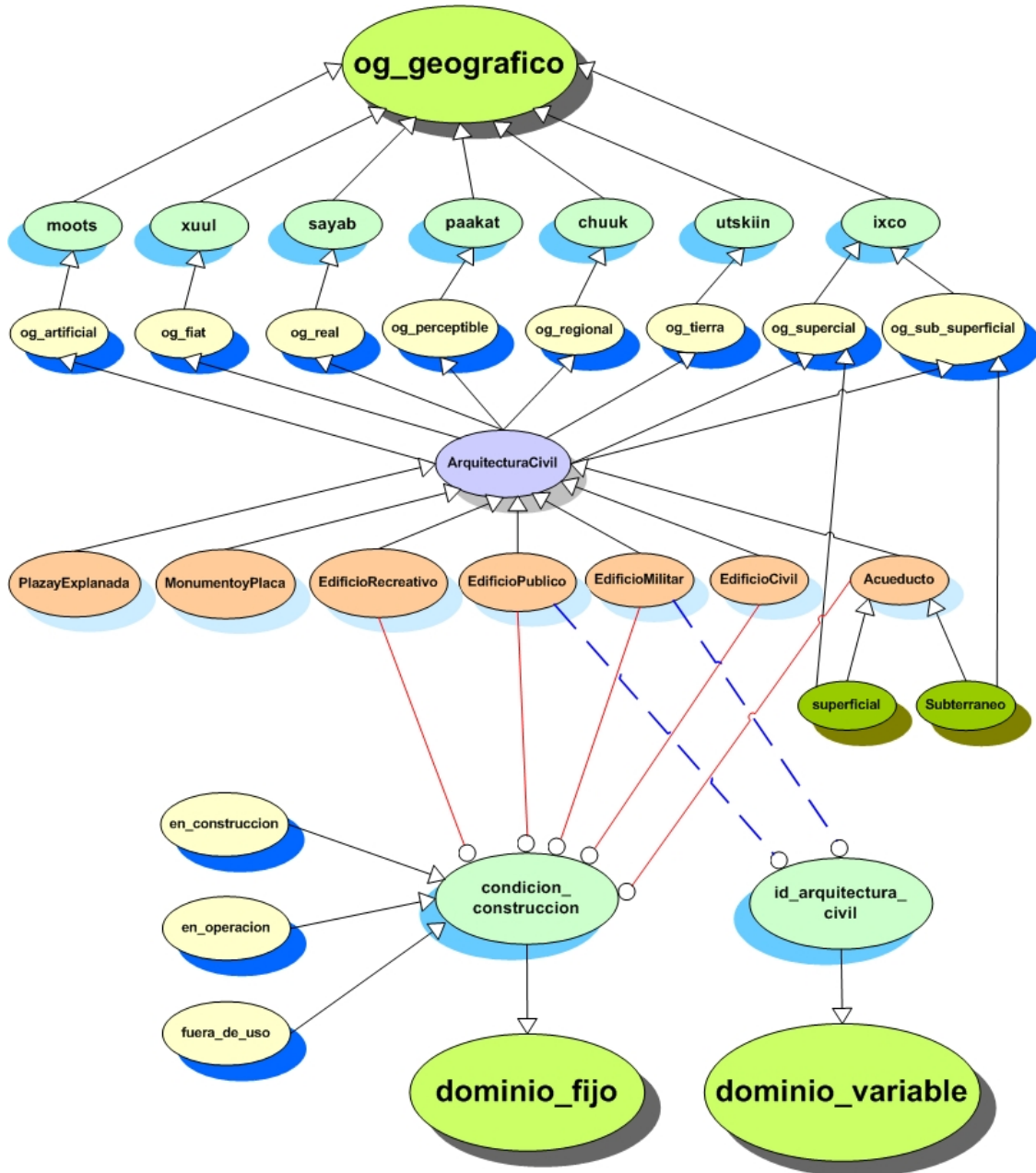


Figura 5.16. Asignación de la propiedad “*id_arquitectura_civil*” de un “*dominio_variable*” a un concepto en la ontología de aplicación. La relación de la propiedad es representada por medio de un círculo y con líneas azules punteadas

Por otro lado, existe la relación axiomática “*hace*”, la cual se utiliza para definir las habilidades y acciones que pueden realizar los objetos geográficos representados por conceptos.

Esta relación opera directamente con conceptos del tipo relación. Para el caso de la conceptualización diseñada, solo se consideran las relaciones topológicas “*compartir*” y “*conectar*” definidas en las especificaciones del INEGI.

De acuerdo con la definición de la relación axiomática “*hace*”, ésta se encuentra descrita en una forma ternaria, a la que se le ha denominado como *relación compuesta* y es utilizada para mapear conceptos estándar y describir su vínculo mediante conceptos del tipo relación y relaciones axiomáticas del tipo “*preposición*”.

Con el uso de esta forma de relacionar a los conceptos, se pueden utilizar particiones en la jerarquía con mayor *granularidad*; con el objeto de describir con mayor riqueza semántica las *habilidades* que los conceptos pueden tener. Por ejemplo, sea el caso de los conceptos relación “*rel_topo_compartir*” y “*rel_topo_conectar*”. Estos conceptos pueden contener particiones que definan qué tanto estas relaciones actúan sobre los conceptos para describir las habilidades de los conceptos geográficos, por medio de propiedades más particulares que componen a cada partición de los conceptos relación mencionados (ver Figura 5.17).

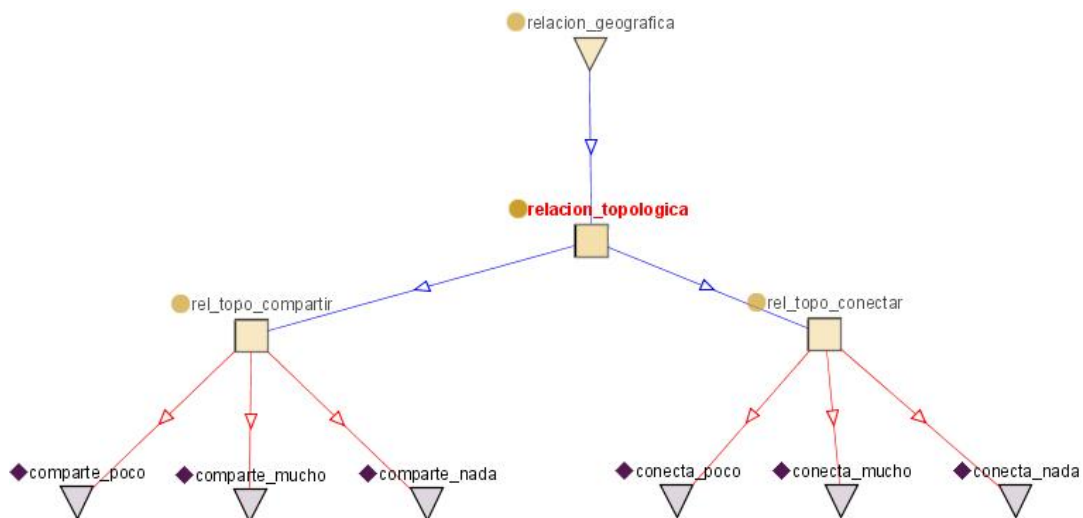


Figura 5.17. Partición que contienen los conceptos relación “*rel_topo_compartir*” y “*rel_topo_conectar*”

De igual forma, se puede observar en la Figura 5.17 que conceptos tales como “*comparte_poco*”, “*comparte_mucho*” y “*comparte_nada*” son representados como instancias de conceptos relación dentro de la ontología. Las líneas en color rojo, representan instancias del concepto y las líneas de color azul describen subclases.

Para ejemplificar el manejo de la relación axiomática “*hace*” se tiene lo siguiente: “**Hotel conecta con Playa**”. Ahora, la forma establecida para conceptualizar o describir ontológicamente esta habilidad se representa así: “**Hotel (*hace*) conectar (*con*) Playa**”.

En este caso (**Hotel**) y (**Playa**) son conceptos estándar; (**hace**) es una relación axiomática que pertenece al conjunto A_1 ; y (**con**) es una relación axiomática del tipo preposicional que pertenece al conjunto A_2 . La forma en la cual se implementa este tipo de descripción en la ontología se muestra en la Figura 5.18.

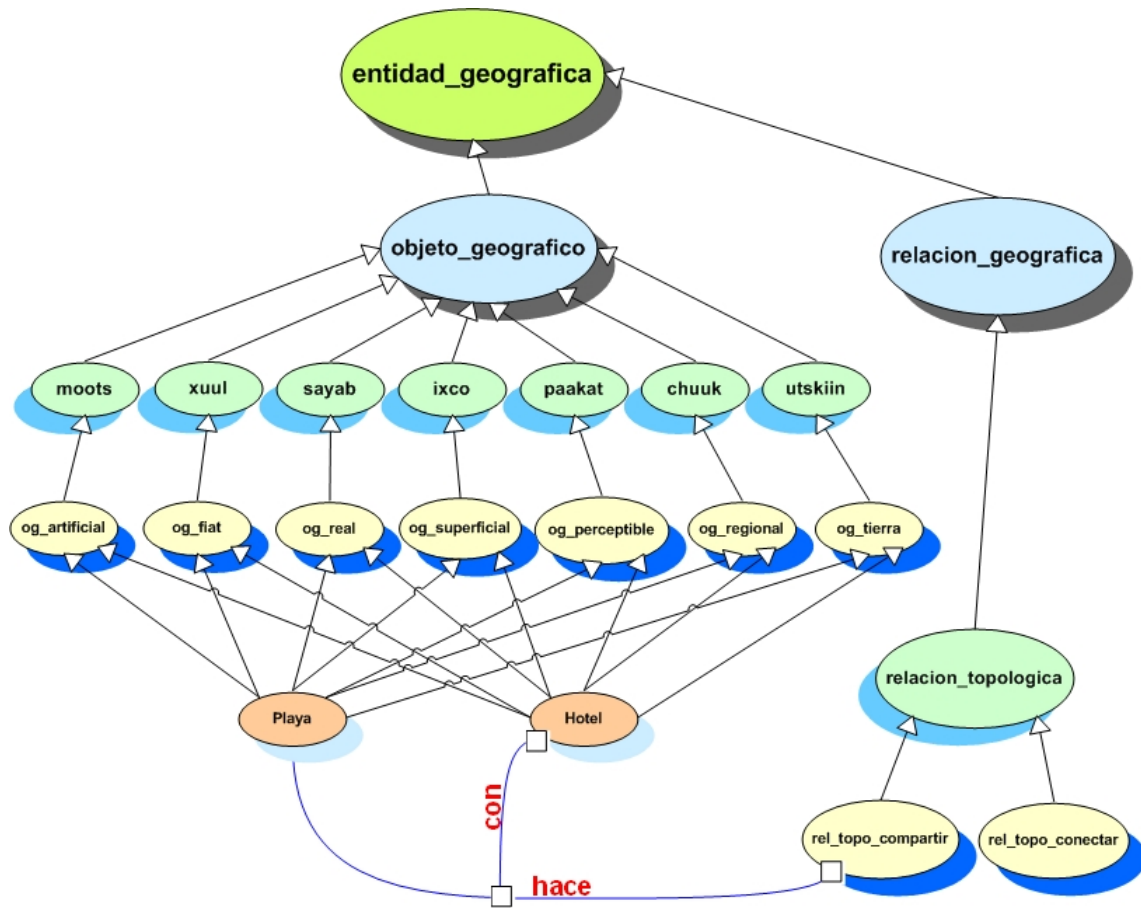


Figura 5.18. Definición de habilidades entre dos conceptos estándar, utilizando la relación axiomática “*hace*” y la relación del tipo preposición “*con*”. La relación “*hace*” se representa por medio de un cuadrado y con línea de color azul

Es importante comentar que la metodología desarrollada para generar la ontología de dominio geográfico permite agregar nuevos conceptos del tipo relación, dentro de la clase pertinente para este fin. Por ejemplo, para la clase “*relacion_topologica*”, pueden considerarse relaciones tales como “**contenido**”, “**intersecta**”, “**sobrepone**”, entre otras; las cuales pueden determinarse de acuerdo con la aplicación o caso de estudio que se defina.

Por otra parte, en forma independiente a las relaciones esenciales que se definen en *Kaab-Ontology*; existen otro tipo de relaciones específicas al contexto de la ontología de aplicación (para este caso el contexto turístico) que han sido definidas con el objeto de recuperar instancias de conceptos estándar. En la Figura 5.19 se muestra el *slot* de relaciones definidas en la ontología de aplicación.

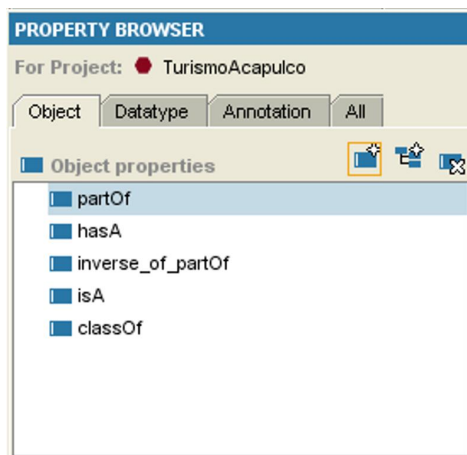


Figura 5.19. Slot de relaciones para la ontología de aplicación del contexto turístico

De la misma manera, se han definido diversos tipos de datos que operan como *relaciones de contexto*¹², las cuales aplican directamente en un dominio; además se establece el rango que describe un tipo de dato; así como un conjunto de valores permitidos. Las *relaciones de contexto* son utilizadas para recuperar datos mediante consultas, las cuales pueden ser pragmáticamente comparadas a una consulta en SQL; por lo cual, este tipo de relaciones han sido implementadas en SPARQL.

Por ejemplo, en la Figura 5.20 se tiene la relación de contexto “*tipoCentro*”, ésta tiene como tipo de dato un “*string*” y los valores permitidos son: “*Recreativo*”, “*Deportivo*”, “*Comercial*” y “*Mercado*”.

¹² Una *relación de contexto* se encarga de describir conceptos bajo el orden de un conjunto de valores que son permitidos en el dominio.

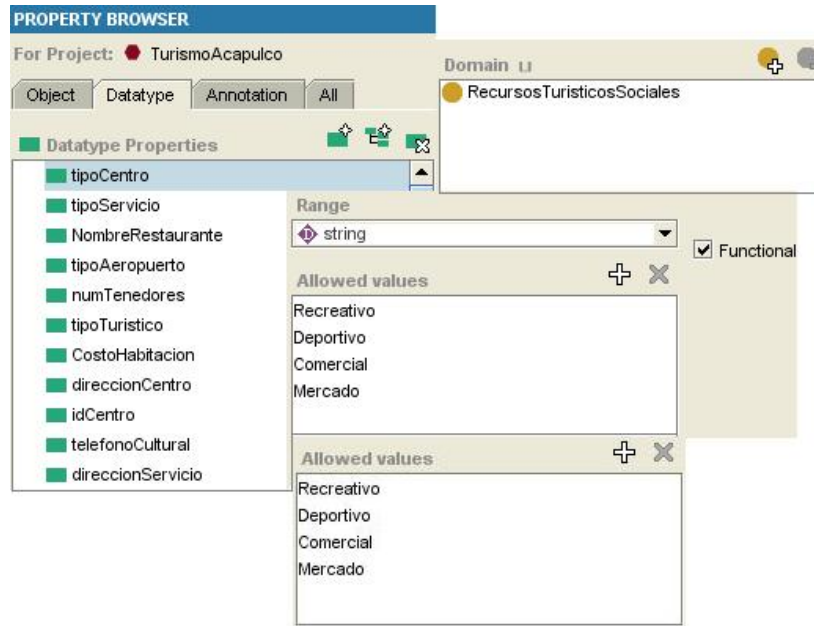


Figura 5.20. Definición de relaciones que describen valores atributivos para instancias de un concepto estándar

Es importante destacar que este tipo de relaciones sirven para recuperar instancias correspondientes a conceptos estándar como por ejemplo:

El concepto **“CentroComercial”** tiene como instancia **“GaleríaDelHotelCostaClub”**, el cual tiene como relación de contexto a **“tipoCentro”** cuyo valor atributivo es **“Comercial”**, entre otros (ver Tabla 5.7). En términos tabulares se tiene la siguiente información:

Tabla 5.7. Información tabular de la instancia **“GaleríaDelHotelCostaClub”** que pertenece al concepto **“CentroComercial”**

INSTANCIA	IDCENTRO	DGRCENTRO	TELEFONOCENTRO	DIRECCIONCENTRO	TIPOCENTRO	NOMBRECENTRO
GaleríaDelHoteCostaClub	2	David Martinez Vidrio	485 90 50 ext.3125	Av. C. Miguel Alemán, Fte. H. Fiesta Americana	Comercial	Galería del Hotel Costa Club

De igual forma, se ha implementado en Protégé un conjunto de relaciones de contexto almacenadas en un *slot* del tipo relación. Estas relaciones pueden utilizarse para hacer consultas que recuperen instancias de un concepto de la ontología.

Por ejemplo, si se tiene el concepto **“Hotel”** y se desean recuperar las instancias de de este concepto, de acuerdo con algún criterio de consulta, es necesario acceder al *slot* de relaciones y seleccionar la relación contextual; en este caso si se trata de la relación **“CostoHabitacion”**, entonces se puede utilizar algún operador definido como tipo primitiva

para este tipo de relación dentro del *slot* y se realiza la consulta. En la Figura 5.21 se muestran las instancias correspondientes al concepto “Hotel” de la ontología de aplicación.

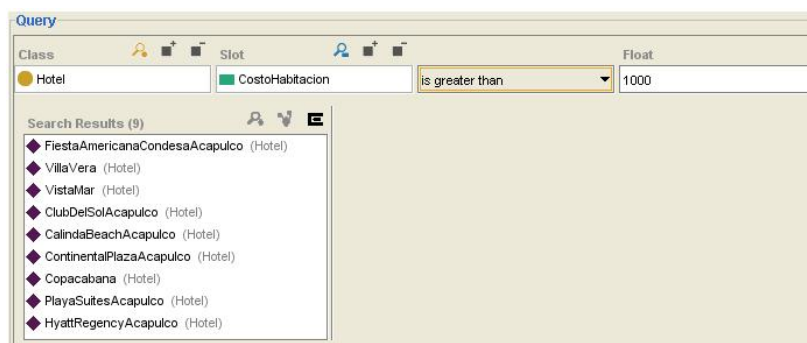


Figura 5.21. Instancias del concepto “Hotel” recuperadas de la ontología con un criterio mayor a 1,000

En el ejemplo de la Figura 5.21 se puede observar que para el concepto “Hotel”, se ha elegido una relación de contexto “CostoHabitacion” y se utiliza un operador numérico para recuperar las instancias; en donde el costo de habitación de hotel sea superior a \$1,000.00 pesos; recuperando únicamente 9 instancias que cumplen con este criterio.

Ahora, si se invierte el operador numérico y se elige que se recuperen las instancias del concepto “Hotel”, cuyo costo por habitación sea menor a \$1,000.00 pesos, se tiene como resultado un conjunto de 121 instancias recuperadas¹³ (ver Figura 5.22).

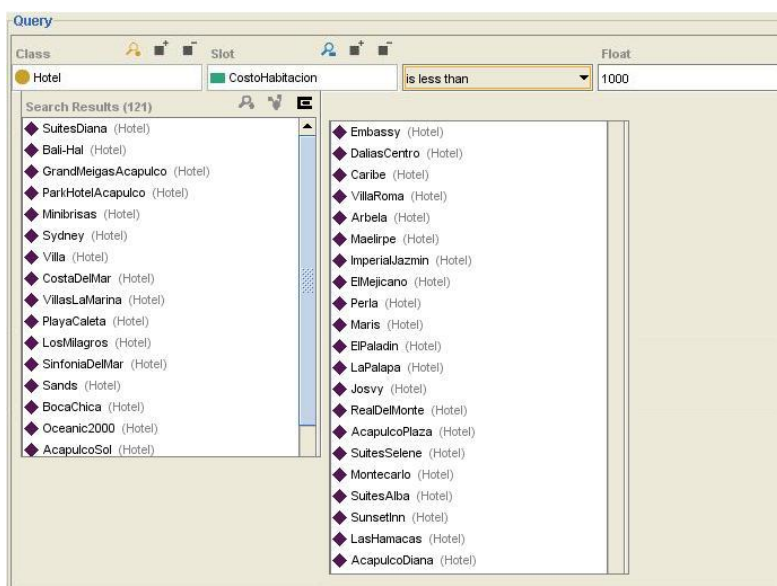


Figura 5.22. Instancias del concepto “Hotel” recuperadas de la ontología con un criterio menor a 1,000

¹³ Por cuestiones de espacio no se colocan en la Figura 5.22 las 121 instancias recuperadas de la consulta.

5.2.2.2 Ontología de aplicación del contexto topográfico

La ontología de aplicación del contexto topográfico está compuesta por un conjunto de conceptos del tipo clase, estándar y relación. A continuación se describen los conceptos esenciales que integran esta ontología, así como su definición y las relaciones de estos conceptos con otros (ver Tabla 5.8). Esta tabla ha sido generada tomando como base el diccionario de datos del INEGI (INEGI, 1999); en conjunto con el conocimiento de los expertos de dominio.

Tabla 5.8. Definición de conceptos y relaciones que componen la ontología del contexto topográfico

CONCEPTO	DEFINICIÓN	RELACIONES
<i>Acueducto</i>	Conducto artificial empleado para transportar agua potable.	Acueducto Conecta Instalación de bombeo Acueducto Conecta Manantial Acueducto Conecta Tanque de agua Acueducto Conecta Acueducto Acueducto Conecta Canal Acueducto Conecta Canal Acueducto Conecta Cuerpo de agua Acueducto Conecta Estanque Acueducto Conecta Instalación de bombeo Acueducto Conecta Instalación diversa Acueducto Conecta Tanque de agua Acueducto Comparte Túnel
<i>Aeropuerto</i>	Área con instalaciones permanentes que sirven para la administración y servicios propios de la navegación aérea.	Aeropuerto Conecta Camino Aeropuerto Conecta Carretera Aeropuerto Conecta Camino Aeropuerto Conecta Carretera Aeropuerto Comparte Calle Aeropuerto Comparte Camino Aeropuerto Comparte Carretera Aeropuerto Comparte Área de cultivo Aeropuerto Comparte Área urbana Aeropuerto Comparte Área verde urbana
<i>Área de cultivo</i>	Terreno con presencia de actividades humanas, realizadas para la obtención de productos vegetales.	Área de cultivo Comparte Canal Área de cultivo Comparte Camino Área de cultivo Comparte Carretera Área de cultivo Comparte Corriente de agua Área de cultivo Comparte Límite Área de cultivo Comparte Vía férrea Área de cultivo Comparte Aeropuerto Área de cultivo Comparte Área urbana Área de cultivo Comparte Canal Área de cultivo Comparte Cementerio Área de cultivo Comparte Cuerpo de agua Área de cultivo Comparte Instalación diversa Área de cultivo Comparte Instalación industrial Área de cultivo Comparte Terreno sujeto a inundación Área de cultivo Comparte Vegetación densa
<i>Área natural protegida</i>	Área con protección oficial, en la que el ambiente original no ha sido alterado significativamente por la actividad del hombre.	Área natural protegida Comparte Carretera Área natural protegida Comparte Límite Área natural protegida Comparte Vía férrea Área natural protegida Comparte Área natural protegida
<i>Área urbana</i>	Área donde existe un agrupamiento de construcciones permanentes, de acuerdo con una traza urbana, a la que se le asocia un nombre.	Área urbana Conecta Calle Área urbana Conecta Camino Área urbana Conecta Carretera Área urbana Conecta Vía férrea Área urbana Comparte Bordo Área urbana Comparte Calle Área urbana Comparte Camino Área urbana Comparte Canal

		<p>Área urbana Comparte Carretera Área urbana Comparte Corriente de agua Área urbana Comparte Instalación portuaria Área urbana Comparte Límite Área urbana Comparte Vía férrea Área urbana Comparte Área de cultivo Área urbana Comparte Canal Área urbana Comparte Cementerio Área urbana Comparte Cuerpo de agua Área urbana Comparte Instalación diversa Área urbana Comparte Instalación industrial Área urbana Comparte Instalación portuaria Área urbana Comparte Rasgo arqueológico Área urbana Comparte Terreno sujeto a inundación Área urbana Comparte Vegetación densa</p>
<i>Área verde urbana</i>	Área urbana con vegetación, dedicada al esparcimiento, decoración, conservación, etc.	<p>Área verde urbana Comparte Calle Área verde urbana Comparte Aeropuerto Área verde urbana Comparte Área urbana Área verde urbana Comparte Cementerio Área verde urbana Comparte Cuerpo de agua Área verde urbana Comparte Instalación diversa Área verde urbana Comparte Instalación industrial</p>
<i>Arrecife / Bajo</i>	Región del fondo marino que por su poca profundidad representa un peligro para la navegación marítima.	
<i>Banco de material</i>	Yacimiento donde es posible explotar diversos materiales, empleados en actividades industriales y de la construcción.	
<i>Bordo</i>	Obra hecha generalmente de tierra que sirve para la captación y el almacenamiento de agua.	<p>Bordo Conecta Bordo Bordo Conecta Corriente de agua Bordo Comparte Calle Bordo Comparte Camino Bordo Comparte Carretera Bordo Comparte Cuerpo de agua Bordo Comparte Área urbana</p>
<i>Calle</i>	Vialidad definida para el tránsito vehicular o peatonal.	<p>Calle Conecta Calle Calle Conecta Camino Calle Conecta Carretera Calle Conecta Área urbana Calle Conecta Vía férrea Calle Comparte Bordo Calle Comparte Puente Calle Comparte Túnel Calle Comparte Aeropuerto Calle Comparte Área urbana Calle Comparte Área verde urbana Calle Comparte Cementerio Calle Comparte Instalación deportiva y recreativa Calle Comparte Instalación diversa Calle Comparte Instalación industrial Calle Comparte Instalación portuaria</p>
<i>Camino</i>	Vía de comunicación terrestre a nivel del suelo, generada a base de desmonte, o tránsito continuo.	<p>Camino Conecta Aeropuerto Camino Conecta Banco de material Camino Conecta Cementerio Camino Conecta Mina Camino Conecta Pozo de explotación Camino Conecta Ruta de embarcación Camino Conecta Calle Camino Conecta Camino Camino Conecta Carretera Camino Conecta Presa Camino Conecta Ruta de embarcación Camino Conecta Cementerio Camino Conecta Aeropuerto Camino Conecta Área urbana Camino Comparte Bordo Camino Comparte Presa</p>

		<p>Camino Comparte Puente Camino Comparte Área de cultivo Camino Comparte Área urbana Camino Comparte Cementerio</p>
<i>Canal</i>	<p>Cauce artificial abierto empleado para irrigación, transporte de aguas residuales o conducción en sistemas de abastecimiento o en sistemas de generación de energía eléctrica.</p>	<p>Canal Conecta Instalación de bombeo Canal Conecta Manantial Canal Conecta Tanque de agua Canal Conecta Acueducto Canal Conecta Canal Canal Conecta Corriente de agua Canal Conecta Canal Canal Conecta Cuerpo de agua Canal Conecta Estanque Canal Conecta Tanque de agua Canal Comparte Puente Canal Comparte Túnel Canal Comparte Área de cultivo Canal Comparte Instalación de bombeo Canal Comparte Instalación diversa Canal Comparte Área urbana Canal Conecta Acueducto Canal Conecta Canal Canal Conecta Corriente de agua Canal Comparte Área de cultivo Canal Comparte Área urbana Canal Comparte Cuerpo de agua Canal Comparte Estanque Canal Comparte Instalación de bombeo Canal Comparte Instalación diversa Canal Comparte Salina Canal Comparte Tanque de agua Canal Comparte Vegetación densa</p>
<i>Carretera</i>	<p>Vía de comunicación terrestre cuya estructura consta de un terraplén, obras de arte y revestimiento, para tránsito de vehículos.</p>	<p>Carretera Conecta Aeropuerto Carretera Conecta Banco de material Carretera Conecta Caseta de peaje Carretera Conecta Cementerio Carretera Conecta Mina Carretera Conecta Pozo de explotación Carretera Conecta Ruta de embarcación Carretera Conecta Vado Carretera Conecta Calle Carretera Conecta Camino Carretera Conecta Carretera Carretera Conecta Ruta de embarcación Carretera Conecta Vía férrea Carretera Conecta Aeropuerto Carretera Conecta Área urbana Carretera Conecta Cementerio Carretera Conecta Instalación diversa Carretera Conecta Instalación industrial Carretera Comparte Bordo Carretera Comparte Instalación portuaria Carretera Comparte Presa Carretera Comparte Puente Carretera Comparte Túnel Carretera Comparte Vado Carretera Comparte Aeropuerto Carretera Comparte Área natural protegida Carretera Comparte Área urbana Carretera Comparte Cementerio Carretera Comparte Instalación diversa Carretera Comparte Instalación industrial Carretera Comparte Área urbana</p>
<i>Caseta de peaje</i>	<p>Construcción sobre una carretera donde se paga el derecho de tránsito de vehículos.</p>	<p>Caseta de peaje Conecta Carretera</p>
<i>Cementerio</i>	<p>Sitio destinado para la inhumación.</p>	<p>Cementerio Conecta Camino Cementerio Conecta Carretera Cementerio Conecta Camino Cementerio Conecta Carretera</p>

		Cementerio Comparte Calle Cementerio Comparte Camino Cementerio Comparte Carretera Cementerio Comparte Área de cultivo Cementerio Comparte Área verde urbana Cementerio Comparte Área urbana
<i>Conducto</i>	Tubería usada para transportar fluidos (excepto agua) y sólidos en suspensión.	Conducto Conecta Pozo de explotación Conducto Conecta Instalación de bombeo Conducto Conecta Conducto Conducto Conecta Instalación de bombeo
<i>Corriente de agua</i>	Flujo de agua que depende de la precipitación pluvial y/o afloramiento de aguas subterráneas.	Corriente de agua Conecta Corriente que desaparece Corriente de agua Conecta Entrada a gruta Corriente de agua Conecta Manantial Corriente de agua Conecta Planta generadora Corriente de agua Conecta Rápido Corriente de agua Conecta Ruta de embarcación Corriente de agua Conecta Salto de agua Corriente de agua Conecta Bordo Corriente de agua Conecta Canal Corriente de agua Conecta Corriente de agua Corriente de agua Conecta Presa Corriente de agua Conecta Canal Corriente de agua Conecta Cuerpo de agua Corriente de agua Comparte Límite Corriente de agua Comparte Área de cultivo Corriente de agua Comparte Área urbana
<i>Corriente que desaparece</i>	Punto en el que una corriente de agua deja de fluir superficialmente.	Corriente que desaparece Conecta Corriente de agua
<i>Cuerpo de agua</i>	Extensión de agua limitada por tierra.	Cuerpo de agua Conecta Acueducto Cuerpo de agua Conecta Canal Cuerpo de agua Conecta Corriente de agua Cuerpo de agua Conecta Curva de nivel Cuerpo de agua Conecta Instalación portuaria Cuerpo de agua Conecta Rápido Cuerpo de agua Conecta Ruta de embarcación Cuerpo de agua Conecta Salto de agua Cuerpo de agua Comparte Bordo Cuerpo de agua Comparte Instalación portuaria Cuerpo de agua Comparte Límite Cuerpo de agua Comparte Presa Cuerpo de agua Comparte Área de cultivo Cuerpo de agua Comparte Área urbana Cuerpo de agua Comparte Área verde urbana Cuerpo de agua Comparte Canal Cuerpo de agua Comparte Cuerpo de agua Cuerpo de agua Comparte Instalación portuaria Cuerpo de agua Comparte Malpais Cuerpo de agua Comparte Pantano Cuerpo de agua Comparte Salina Cuerpo de agua Comparte Terreno sujeto a inundación Cuerpo de agua Comparte Vegetación densa Cuerpo de agua Comparte Zona arenosa
<i>Curva de nivel</i>	Línea imaginaria que une puntos con la misma elevación con respecto al nivel medio del mar, empleada para representar el relieve del terreno.	Curva de nivel Conecta Curva de nivel Curva de nivel Conecta Cuerpo de agua
<i>Depósito de desechos</i>	Lugar destinado para la recepción de productos de desecho doméstico, industrial y minero.	
<i>Edificación</i>	Construcción permanente, que sirve para vivienda, usos culturales, de servicios, etc.	
<i>Entrada a gruta</i>	Acceso a una cavidad natural subterránea.	Entrada a gruta Conecta Corriente de agua
<i>Estanque</i>	Depósito de agua a cielo abierto, hecho generalmente de mampostería.	Estanque Conecta Acueducto Estanque Conecta Canal Estanque Conecta Separador Estanque Comparte Canal
<i>Estructura elevada</i>	Construcción conspicua en el terreno.	

<i>Fango</i>	Área con lodo, originado por depósitos fluviales o de mar y constituido por partículas finas, como arcilla disuelta, mezcladas con materiales orgánicos y/o minerales.	
<i>Faro /radiofaro /vor</i>	Instalación empleada para orientación en la navegación marítima o aérea.	
<i>Instalación de bombeo</i>	Instalaciones empleadas para el bombeo y control de petróleo y sus derivados, o de agua en la red de conducción.	Instalación de bombeo Conecta Acueducto Instalación de bombeo Conecta Canal Instalación de bombeo Conecta Conducto Instalación de bombeo Conecta Acueducto Instalación de bombeo Conecta Conducto Instalación de bombeo Comparte Canal Instalación de bombeo Comparte Canal
<i>Instalación de comunicación</i>	Instalaciones empleadas en los medios de comunicación para la transmisión y/o recepción de ondas electromagnéticas.	Instalación de comunicación Conecta Línea de comunicación
<i>Instalación deportiva o recreativa</i>	Área acondicionada, con carácter permanente, para la práctica de actividades deportivas o recreativas.	Instalación deportiva o recreativa Comparte Área urbana Instalación deportiva o recreativa Comparte Calle Instalación deportiva o recreativa Comparte Carretera Instalación deportiva o recreativa Comparte Instalación deportiva o recreativa Instalación deportiva o recreativa Comparte Vía férrea
<i>Instalación diversa</i>	Área que contiene un conjunto de edificaciones destinadas a diferentes usos, exceptuando el industrial y habitacional.	Instalación diversa Conecta Vía férrea Instalación diversa Conecta Acueducto Instalación diversa Conecta Calle Instalación diversa Conecta Canal Instalación diversa Conecta Carretera Instalación diversa Comparte Calle Instalación diversa Comparte Carretera Instalación diversa Comparte Vía férrea Instalación diversa Comparte Área de cultivo Instalación diversa Comparte Área urbana Instalación diversa Comparte Área verde urbana Instalación diversa Comparte Canal
<i>Instalación industrial</i>	Área que contiene edificaciones e instalaciones destinadas para la actividad industrial.	Instalación industrial Conecta Carretera Instalación industrial Conecta Vía férrea Instalación industrial Comparte Calle Instalación industrial Comparte Carretera Instalación industrial Comparte Vía férrea Instalación industrial Comparte Área de cultivo Instalación industrial Comparte Área verde urbana Instalación industrial Comparte Instalación industrial Instalación industrial Comparte Instalación deportiva o recreativa
<i>Instalación portuaria</i>	Obra construida en la orilla o dentro de un cuerpo de agua para dar protección y/o permitir atracar embarcaciones.	Instalación portuaria Conecta Instalación portuarias Instalación portuaria Conecta Cuerpo de agua Instalación portuaria Conecta Instalación portuaria Instalación portuaria Comparte Carretera Instalación portuaria Comparte Cuerpo de agua Instalación portuaria Comparte Área urbana Instalación portuaria Conecta Instalación portuaria Instalación portuaria Comparte Calle Instalación portuaria Comparte Vía férrea Instalación portuaria Comparte Área urbana Instalación portuaria Comparte Cuerpo de agua
<i>Límite</i>	Línea común divisoria entre dos países, estados y/o municipios.	Límite Conecta Mojonera Límite Comparte Área de cultivo Límite Comparte Área urbana Límite Comparte Corriente de agua Límite Comparte Cuerpo de agua Límite Comparte Malpais Límite Comparte Pantano Límite Comparte Vegetación densa Límite Comparte Zona arenosa
<i>Lindero</i>	Línea empleada para indicar las principales delimitaciones visibles en el terreno y que pueden coincidir, sin ningún carácter legal, con líneas que	

	conforman propiedades, parcelas, instalaciones, manzanas, etc.	
<i>Línea de comunicación</i>	Cable o cables empleados para la comunicación telefónica o telegráfica.	Línea de comunicación Conecta Instalación de comunicación Línea de comunicación Conecta Línea de comunicación Línea de comunicación Comparte Línea de comunicación Línea de comunicación Comparte Línea de transmisión
<i>Línea de transmisión</i>	Conjunto de cables, generalmente aéreos, empleados para conducción de energía eléctrica.	Línea de transmisión Conecta Planta generadora Línea de transmisión Conecta Subestación eléctrica Línea de transmisión Conecta Línea de transmisión Línea de transmisión Conecta Planta generadora Línea de transmisión Conecta Subestación eléctrica Línea de transmisión Comparte Línea de comunicación
<i>Lumbrera</i>	Pozo abierto que permite el acceso al Drenaje Profundo de la Ciudad.	
<i>Malpais</i>	Terreno de superficie escabrosa de origen volcánico basáltico.	Malpais Comparte Cuerpo de agua Malpais Comparte Terreno sujeto a inundación Malpais Comparte Vegetación densa Malpais Comparte Zona arenosa
<i>Manantial</i>	Flujo continuo de agua que brota del terreno en forma natural.	Manantial Conecta Acueducto Manantial Conecta Canal Manantial Conecta Corriente de agua
<i>Mina</i>	Excavación o área de la que se extraen minerales de interés económico.	Mina Conecta Camino Mina Conecta Carretera
<i>Mojonera</i>	Monumento o construcción en el terreno que en conjunto definen un límite internacional.	Mojonera Conecta Límite
<i>Muro de contención</i>	Construcción que impide el desbordamiento de agua sobre un terreno.	
<i>Nieve perpetua</i>	Masa de nieve y hielo de dimensiones variables, presente todo el año, en la parte alta de algunas montañas.	
<i>Pantano</i>	Terreno con agua estancada, de poca profundidad y fondo cenagoso, que puede presentar vegetación hidrófila.	Pantano Comparte Cuerpo de agua Pantano Comparte Límite Pantano Comparte Terreno sujeto a inundación Pantano Comparte Vegetación densa
<i>Pista de aviación</i>	Lugar destinado para el despegue y aterrizaje de aviones.	Pista de aviación Conecta Pista de aviación
<i>Pista de carreras</i>	Vía especialmente acondicionada para competencias de carreras de automóviles, galgos o caballos, establecidas permanentemente y de uso regular.	Pista de carreras Conecta Pista de carreras
<i>Planta generadora</i>	Instalación para producir energía eléctrica.	Planta generadora Conecta Corriente de agua Planta generadora Conecta Línea de transmisión Planta generadora Conecta Línea de transmisión Planta generadora Comparte Presa
<i>Pozo de explotación</i>	Perforación vertical realizada con maquinaria, para la extracción de hidrocarburos en su estado natural.	Pozo de explotación Conecta Camino Pozo de explotación Conecta Carretera Pozo de explotación Conecta Conducto
<i>Presa</i>	Obra que sirve para captar, almacenar y controlar el agua de una cuenca natural y que consta de una cortina y un vertedor de demasías.	Presa Conecta Camino Presa Conecta Corriente de agua Presa Comparte Camino Presa Comparte Carretera Presa Comparte Cuerpo de agua Presa Comparte Planta generadora
<i>Puente</i>	Estructura que permite el paso de una vía de comunicación terrestre o un canal sobre un obstáculo natural o artificial.	Puente Comparte Calle Puente Comparte Camino Puente Comparte Canal Puente Comparte Carretera Puente Comparte Vía férrea
<i>Punto acotado</i>	Punto con elevación respecto al nivel medio del mar, obtenido por métodos fotogramétricos y usado para complementar la representación del relieve del terreno.	
<i>Rápido</i>	Sección de una corriente o cuerpo de agua donde se incrementa la velocidad y turbulencia del agua.	Rápido Conecta Corriente de agua Rápido Conecta Cuerpo de agua

<i>Rasgo arqueológico</i>	Lugar en donde se han encontrado manifestaciones culturales prehispánicas.	Rasgo arqueológico Conecta Camino Rasgo arqueológico Conecta Carretera Rasgo arqueológico Conecta Camino Rasgo arqueológico Conecta Carretera Rasgo arqueológico Comparte Camino Rasgo arqueológico Comparte Área de cultivo Rasgo arqueológico Comparte Área urbana Rasgo arqueológico Comparte Carretera Rasgo arqueológico Comparte Vegetación densa
<i>Roca</i>	Estructura escarpada que emerge de la superficie del mar.	
<i>Ruta de embarcación</i>	Ruta sobre el agua que sigue una embarcación que regularmente transporta vehículos y pasajeros.	Ruta de embarcación Conecta Camino Ruta de embarcación Conecta Carretera Ruta de embarcación Conecta Corriente de agua Ruta de embarcación Conecta Camino Ruta de embarcación Conecta Carretera
<i>Ruta de funicular / teleférico</i>	Ruta terrestre o aérea, preestablecida entre dos puntos, que sigue un vehículo movido por un sistema de tracción.	
<i>Salina</i>	Lugar donde se explota sal de origen evaporítico.	Salina Conecta Separador Salina Comparte Cuerpo de agua Salina Comparte Terreno sujeto a inundación Salina Comparte Zona arenosa
<i>Salto de agua</i>	Caída de una corriente o cuerpo de agua donde el terreno tiene un desnivel repentino.	Salto de agua Conecta Corriente de agua Salto de agua Conecta Cuerpo de agua
<i>Separador</i>	Obra que se utiliza para dividir en secciones un estanque acuícola, un estanque de sedimentación o una salina artificial.	Separador Conecta Estanque Separador Conecta Salina
<i>Subestación eléctrica</i>	Instalación para regular o modificar el voltaje en una red de suministro eléctrico.	Subestación eléctrica Conecta Línea de transmisión Subestación eléctrica Conecta Línea de transmisión
<i>Tanque</i>	Depósito cerrado utilizado para almacenar combustibles u otros fluidos de tipo industrial.	
<i>Tanque de agua</i>	Depósito cerrado utilizado para almacenar agua.	Tanque de agua Conecta Acueducto Tanque de agua Conecta Canal Tanque de agua Conecta Acueducto Tanque de agua Conecta Canal Tanque de agua Comparte Canal
<i>Terreno sujeto a inundación</i>	Terreno bajo inundado temporalmente hasta que la infiltración y/o evaporación lo desecan.	Terreno sujeto a inundación Comparte Área natural protegida Terreno sujeto a inundación Comparte Cuerpo de agua Terreno sujeto a inundación Comparte Límite Terreno sujeto a inundación Comparte Malpais Terreno sujeto a inundación Comparte Pantano Terreno sujeto a inundación Comparte Salina Terreno sujeto a inundación Comparte Zona arenosa
<i>Túnel</i>	Excavación subterránea, abierta artificialmente a través de un obstáculo, para dar paso a una vía de comunicación terrestre o a un acueducto.	Túnel Conecta Túnel Túnel Comparte Acueducto Túnel Comparte Calle Túnel Comparte Canal Túnel Comparte Carretera Túnel Comparte Vía férrea
<i>Vado</i>	Parte baja en una carretera que permite el paso de una corriente de agua.	Vado Conecta Carretera Vado Comparte Carretera
<i>Vegetación densa</i>	Lugar con gran cobertura de vegetación predominantemente arbórea.	Vegetación densa Comparte Área de cultivo Vegetación densa Comparte Área urbana Vegetación densa Comparte Cuerpo de agua Vegetación densa Comparte Límite Vegetación densa Comparte Malpais Vegetación densa Comparte Pantano Vegetación densa Comparte Rasgo arqueológico Vegetación densa Comparte Zona arenosa
<i>Vía férrea</i>	Vía de comunicación terrestre, cuya estructura consta de un terraplén y dos rieles paralelos fijados mediante	Vía férrea Conecta Calle Vía férrea Conecta Carretera Vía férrea Conecta Vía férrea

	durmientes, para el tránsito de trenes.	Vía férrea Conecta Instalación diversa Vía férrea Conecta Instalación industrial Vía férrea Conecta Área urbana Vía férrea Comparte Instalación portuaria Vía férrea Comparte Túnel Vía férrea Comparte Puente Vía férrea Comparte Área natural protegida Vía férrea Comparte Área urbana Vía férrea Comparte Instalación diversa Vía férrea Comparte Instalación industrial
<i>Zona arenosa</i>	Terreno cubierto con material granular suelto (arena).	Zona arenosa Comparte Canal Zona arenosa Comparte Límite Zona arenosa Comparte Cuerpo de agua Zona arenosa Comparte Malpaís Zona arenosa Comparte Salina Zona arenosa Comparte Terreno sujeto a inundación Zona arenosa Comparte Vegetación densa Zona arenosa Comparte Zona arenosa

Con respecto a las clases esenciales que corresponden a la ontología de aplicación del contexto topográfico, éstas son presentadas en la Figura 5.23.

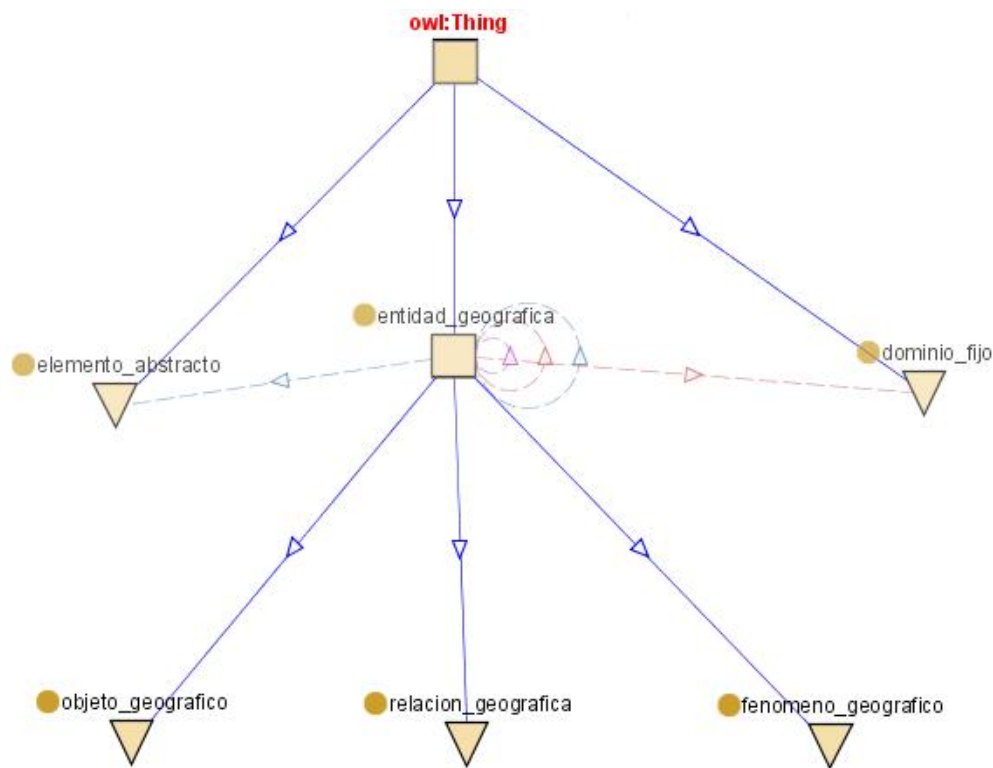


Figura 5.23. Jerarquía de clases de la ontología de aplicación del contexto topográfico

En la Figura 5.23, se puede apreciar que existen tres clases principales: “*elemento_abstracto*”, “*entidad_geografica*” y “*dominio_fijo*”. Estas clases presentan una relación de existencia (representadas en línea con triángulo de color azul) a partir de **OWL:Thing**, la cual en términos de implementación para cada clase en Protégé, las relaciones se describen de la siguiente forma:

- *“elemento_abstracto”*: OWL:Thing --- has subclass → elemento_abstracto
- *“dominio_fijo”*: OWL:Thing --- has subclass → dominio_fijo
- *“entidad_geografica”*: OWL:Thing --- has subclass → entidad_geografica

Posteriormente, la clase *“entidad_geográfica”* está compuesta por tres subclases esenciales: *“objeto_geografico”*, definiéndose con la relación `entidad_geografica --- has subclass → objeto_geografico`, la clase *“relacion_geografica”* con la relación `entidad_geografica --- has subclass → relacion_geografica` y la clase *“fenómeno_geografico”* con la relación `entidad_geografica --- has subclass → fenomeno_geografico`, las cuales se representan con línea azul y un triángulo.

Como se puede observar en la misma Figura, la clase *“entidad_geografica”* cuenta con relaciones que afectan a todo el **dominio**. En este caso, la relación de dominio entre *“entidad_geografica”* y *“elemento_abstracto”* es una relación de habilidad o ejecución, la cual se denota de la siguiente forma: `entidad_geografica --- _hace (Domain>Range)→ elemento_abstracto`, la cual se representa con una línea azul claro.

Para la relación de dominio entre *“entidad_geografica”* y *“dominio_fijo”* la relación es de pertenencia: `entidad_geografica --- _tiene (Domain>Range)→ dominio_fijo`, ésta se representa con línea de color rosa.

De igual forma, *“entidad geográfica”* debe relacionarse consigo misma, entonces cuenta con los tres tipos de relaciones axiomáticas, las cuales se definen como sigue: Para la relación *“es”* (representada en línea de color morado) se tiene `entidad_geografica --- _es (Domain>Range)→ entidad_geografica`, para la relación *“tiene”* (línea de color rosa) sería `entidad_geografica --- _tiene (Domain>Range)→ entidad_geografica` y para la relación *“hace”* se tiene: `entidad_geografica --- _hace (Domain>Range)→ entidad_geografica` (representada por línea de color azul claro).

De esta manera es cómo se definen las relaciones en *Kaab-Ontology*. Además, es necesario hacer estas descripciones de la ontología para determinar qué tipo de conceptos geográficos serán coleccionados en la misma y cómo deben relacionarse con las clases de la ontología.

Los conceptos geográficos del contexto topográfico, inciden directamente en las clases de entidades abstractas que están definidas en la clase “*objeto_geografico*”.

En la Figura 5.24 se pueden apreciar las clases de entidades abstractas que integran la partición de “*objeto_geografico*”; así como los *conceptos clase* que agrupan a los conceptos geográficos (conceptos estándar) del contexto topográfico que también forman particiones únicas.

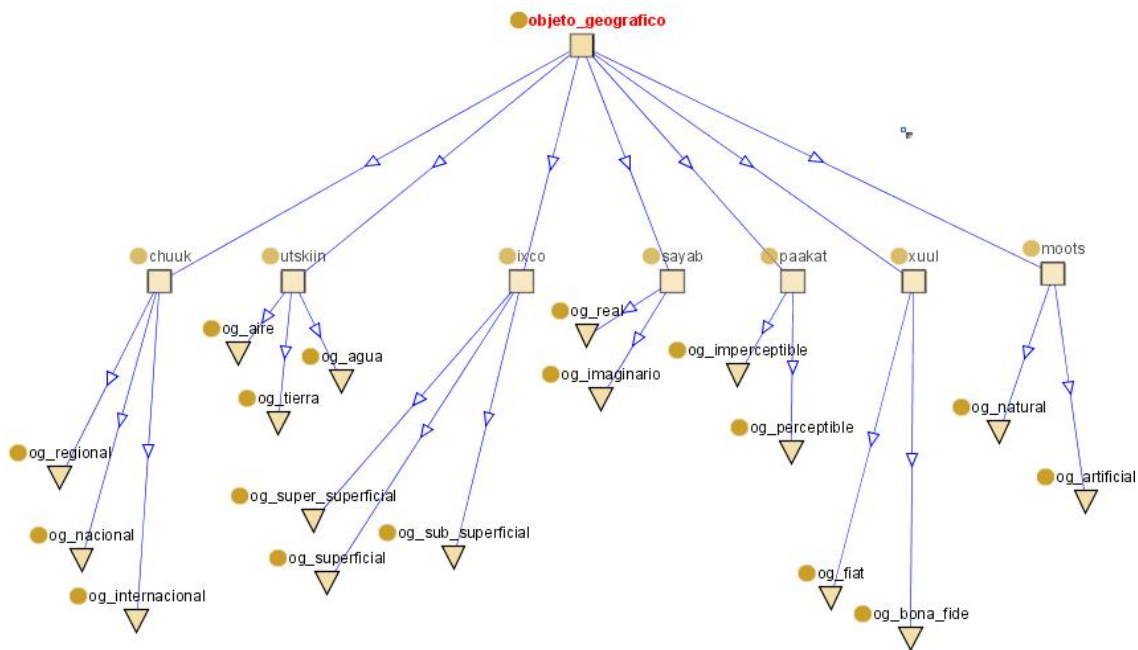


Figura 5.24. Jerarquía de clases de “*objeto_geografico*”

A continuación se mostrarán los conceptos geográficos y cómo éstos se relacionan con los conceptos del tipo clase.

Por lo tanto, se presentan los conceptos estándar del contexto topográfico en cada una de las subclases que componen a las clases de entidades abstractas; puesto que la cantidad de conceptos no permite una visualización apropiada de cada uno de ellos.

Por ejemplo, para el caso de los conceptos que son objetos geográficos nacionales (“*og_nacional*”) se tienen los siguientes (ver Figura 5.25). En el Anexo 2 se presenta la ontología completa de aplicación del contexto topográfico.

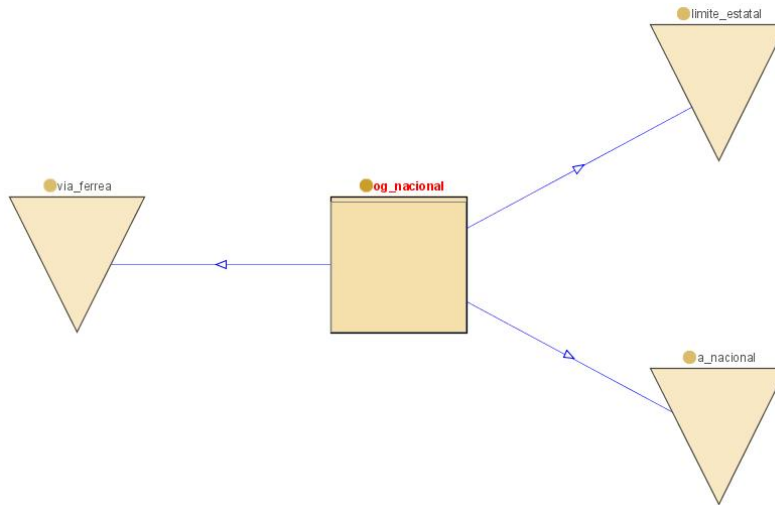


Figura 5.25. Conceptos geográficos del contexto topográfico que pertenecen a la subclase “og_nacional”, la cual forma parte de la partición de la clase de entidad abstracta “chuuk”

Ahora, para la subclase “og_internacional” se tienen los siguientes conceptos geográficos (ver Figura 5.26).

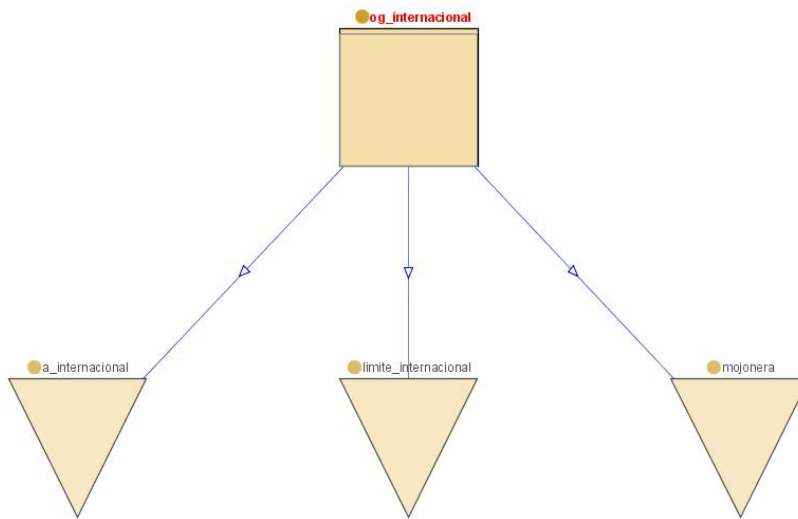


Figura 5.26. Conceptos geográficos del contexto topográfico que pertenecen a la subclase “og_internacional”, la cual forma parte de la partición de la clase de entidad abstracta “chuuk”

Por último, la subclase “og_regional”, contiene los siguientes conceptos (ver Figura 5.27).

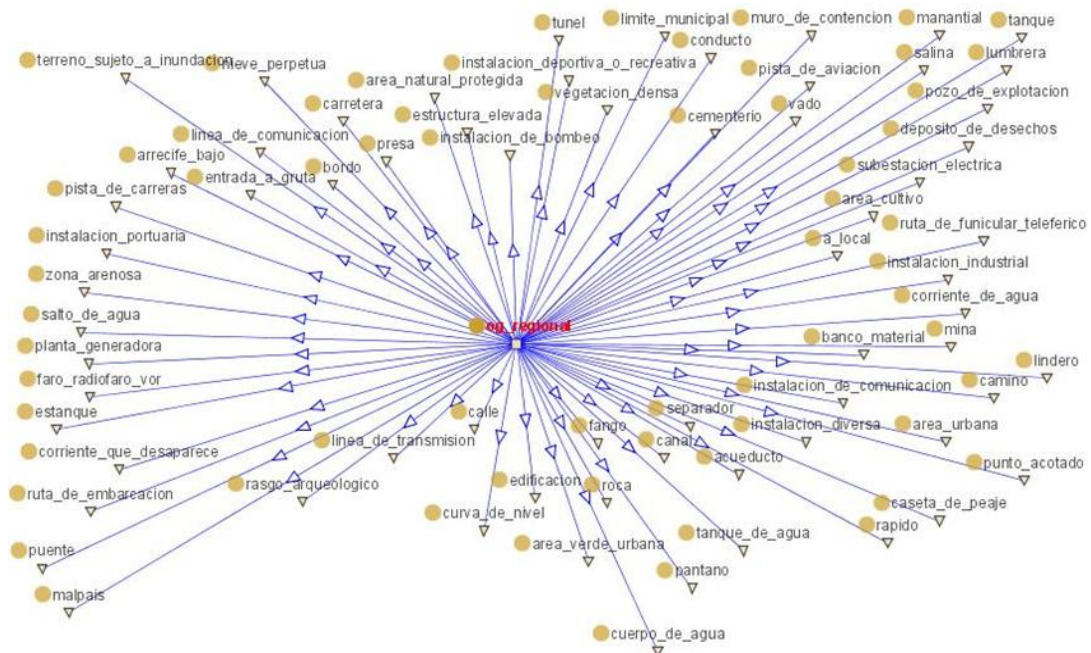


Figura 5.27. Conceptos geográficos del contexto topográfico que pertenecen a la subclase “og_regional”, la cual forma parte de la partición de la clase de entidad abstracta “chuk”

De igual forma, con respecto a los conceptos geográficos que pertenecen a la clase de entidad abstracta “utskiin”, éstos se encuentran coleccionados en las subclases “og_tierra”, “og_aire” y “og_agua”. En las Figuras 5.28, 5.29 y 5.30 se muestra lo anterior.

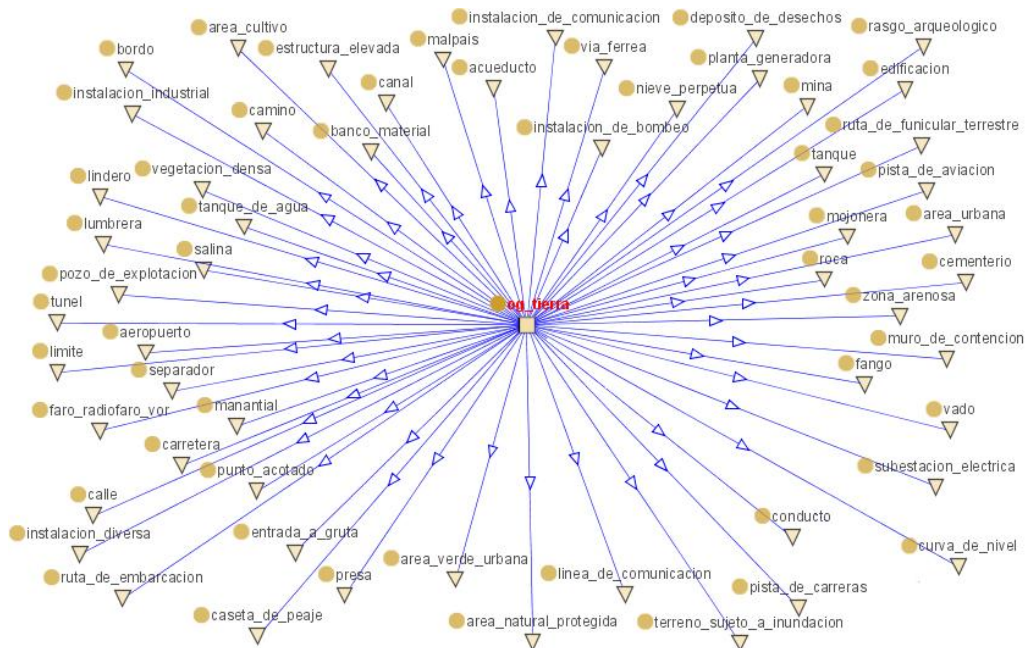


Figura 5.28. Conceptos geográficos del contexto topográfico que pertenecen a la subclase “og_tierra”, la cual forma parte de la partición de la clase de entidad abstracta “utskiin”

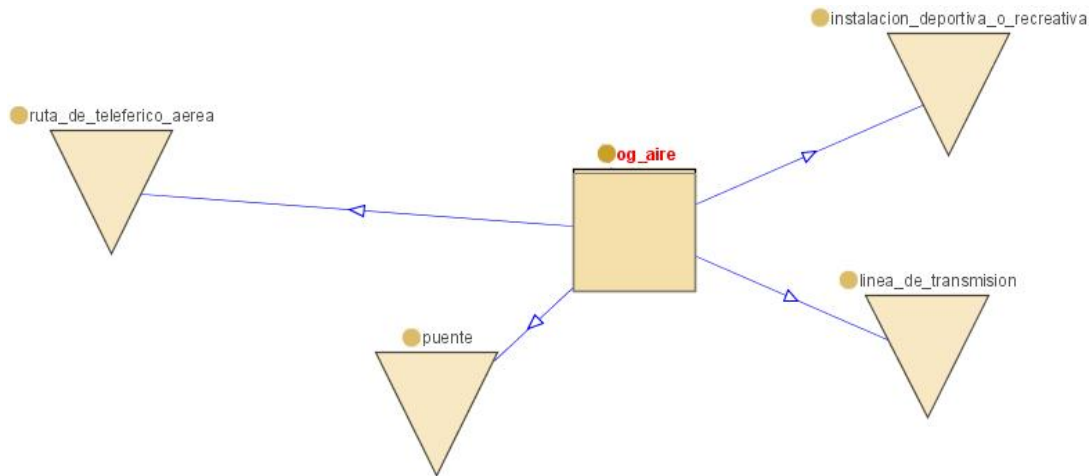


Figura 5.29. Conceptos geográficos del contexto topográfico que pertenecen a la subclase “og_aire”, la cual forma parte de la partición de la clase de entidad abstracta “utskiin”

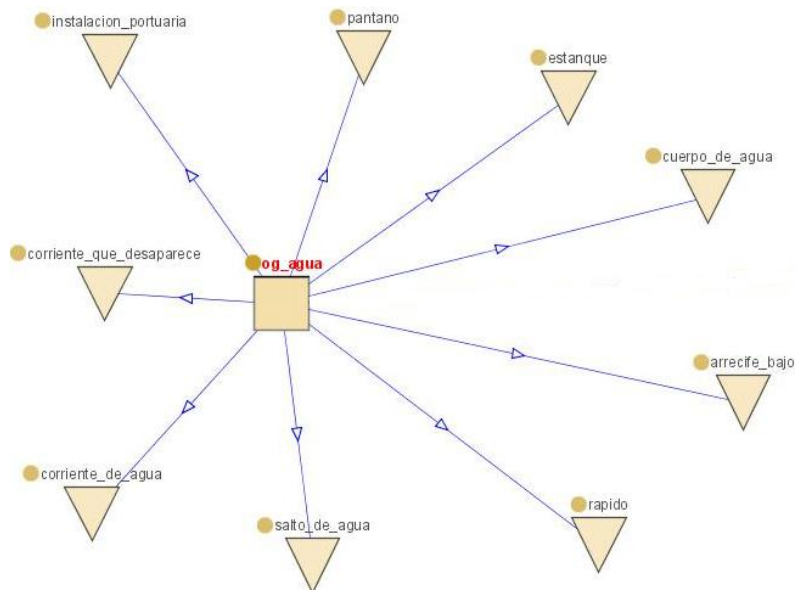


Figura 5.30. Conceptos geográficos del contexto topográfico que pertenecen a la subclase “og_agua”, la cual forma parte de la partición de la clase de entidad abstracta “utskiin”

Del mismo modo, los conceptos geográficos que pertenecen a la clase de entidad abstracta “ixco”, éstos se encuentran coleccionados en las subclases “og_superficial”, “og_sub_superficial” y “og_super_superficial”.

En las Figuras 5.31, 5.32 y 5.33 se muestran cómo se clasifican y coleccionan estos conceptos.

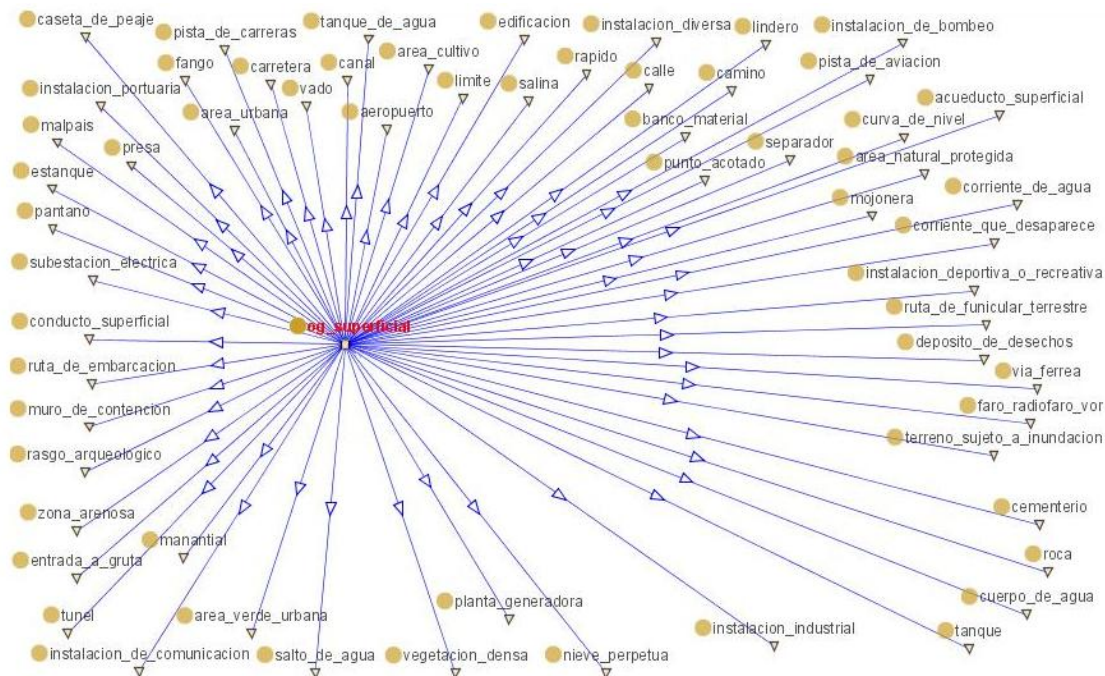


Figura 5.31. Conceptos geográficos del contexto topográfico que pertenecen a la subclase “og_superficial”, la cual forma parte de la partición de la clase de entidad abstracta “ixco”

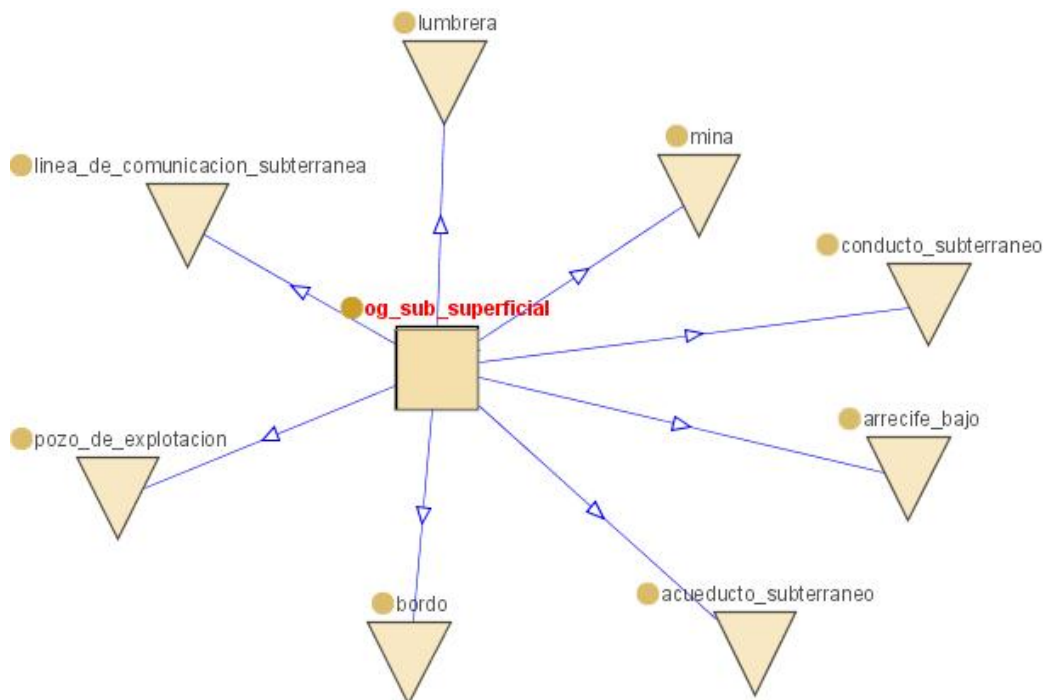


Figura 5.32. Conceptos geográficos del contexto topográfico que pertenecen a la subclase “og_sub_superficial”, la cual forma parte de la partición de la clase de entidad abstracta “ixco”

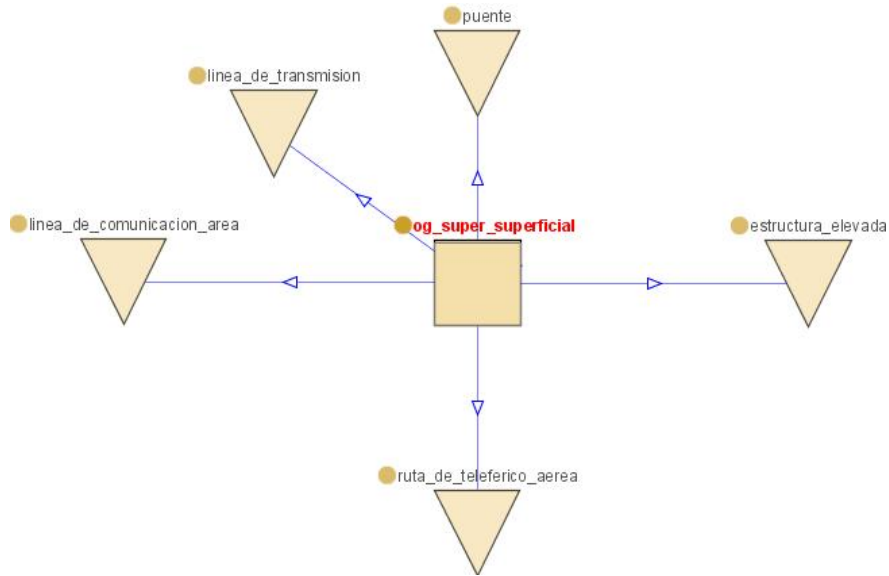


Figura 5.33. Conceptos geográficos del contexto topográfico que pertenecen a la subclase “og_super_superficial”, la cual forma parte de la partición de la clase de entidad abstracta “ixco”

Con respecto a los conceptos geográficos que pertenecen a la clase de entidad abstracta “sayab”, éstos se encuentran almacenados en las subclases “og_real” y “og_imaginario”. En las Figuras 5.34 y 5.35 se muestran cómo se clasifican y coleccionan estos conceptos.

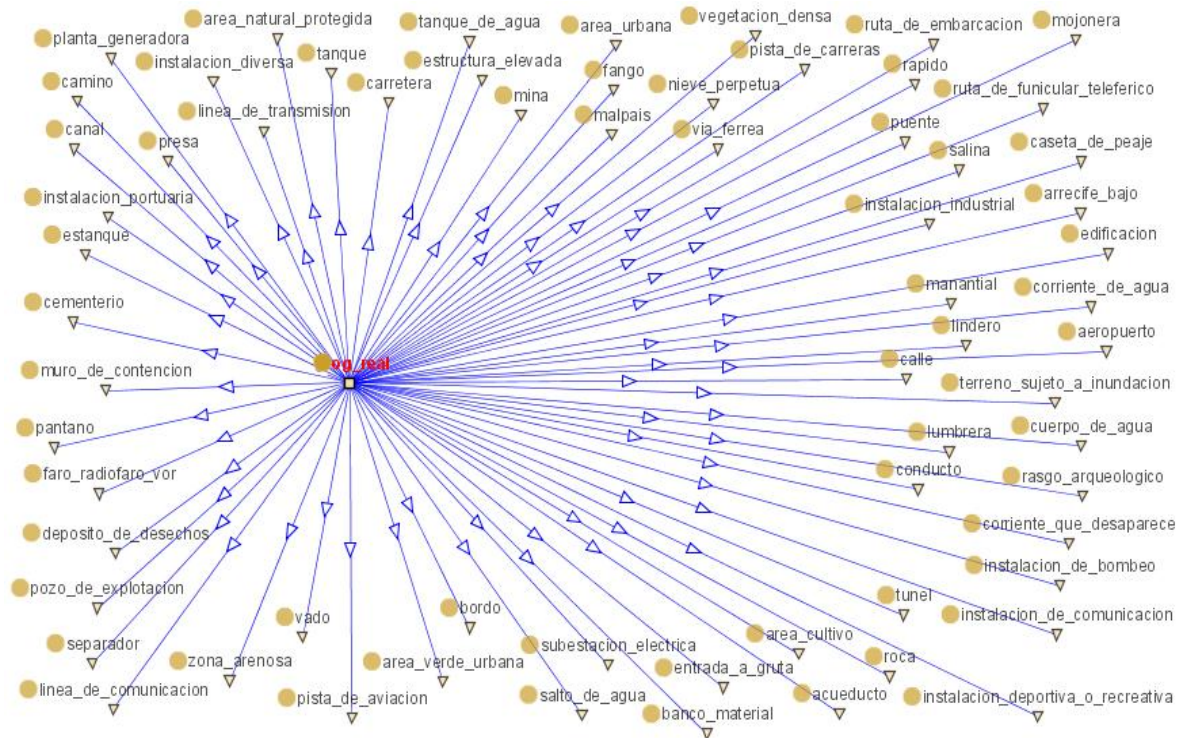


Figura 5.34. Conceptos geográficos del contexto topográfico que pertenecen a la subclase “og_real”, la cual forma parte de la partición de la clase de entidad abstracta “sayab”

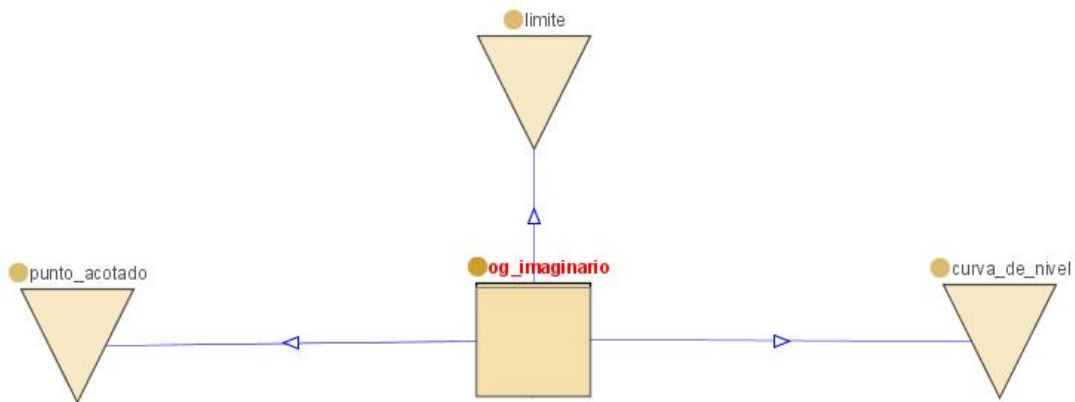


Figura 5.35. Conceptos geográficos del contexto topográfico que pertenecen a la subclase “*og_imaginario*”, la cual forma parte de la partición de la clase de entidad abstracta “*sayab*”

Ahora, con referencia a los conceptos geográficos que integran las subclases “*og_perceptible*” y “*og_imperceptible*”, las cuales forman la partición de la clase de entidad abstracta “*paakat*”; estos conceptos se muestran en las Figuras 5.36 y 5.37.

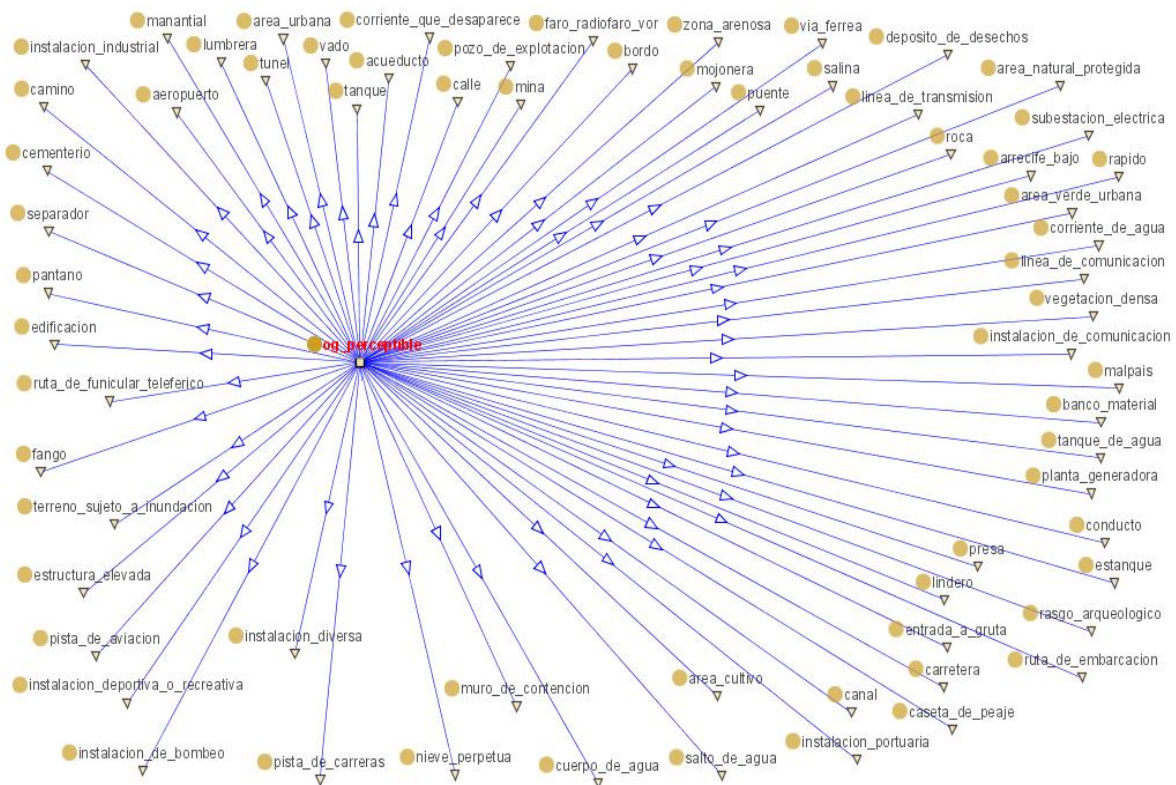


Figura 5.36. Conceptos geográficos del contexto topográfico que pertenecen a la subclase “*og_perceptible*”, la cual forma parte de la partición de la clase de entidad abstracta “*paakat*”

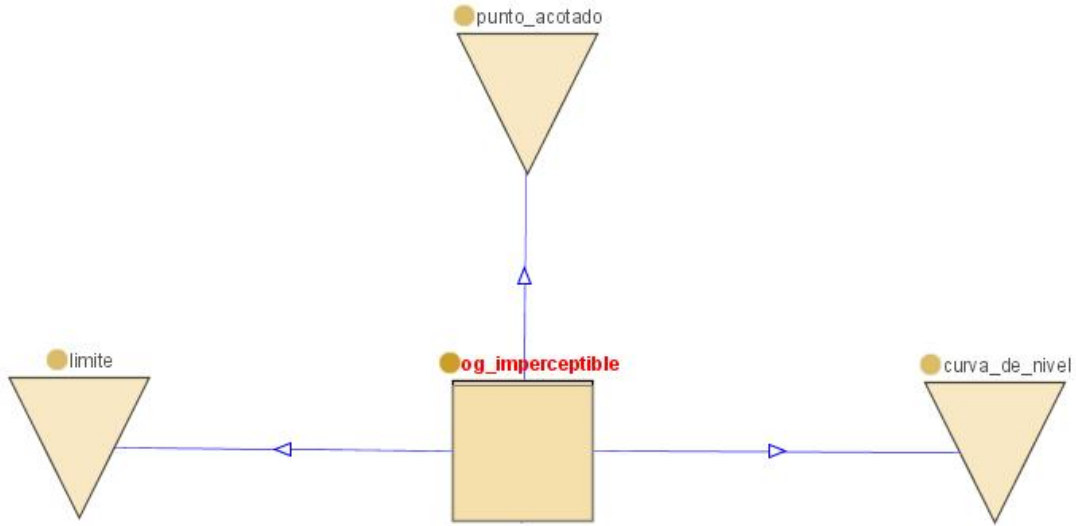


Figura 5.37. Conceptos geográficos del contexto topográfico que pertenecen a la subclase “og_imperceptible”, la cual forma parte de la partición de la clase de entidad abstracta “paakat”

Por otro lado, en las Figuras 5.38 y 5.39 se muestran los conceptos geográficos que pertenecen a las subclases “og_fiat” y “og_bona_fide”, las cuales forman la partición de la clase de entidad abstracta “xuul”.

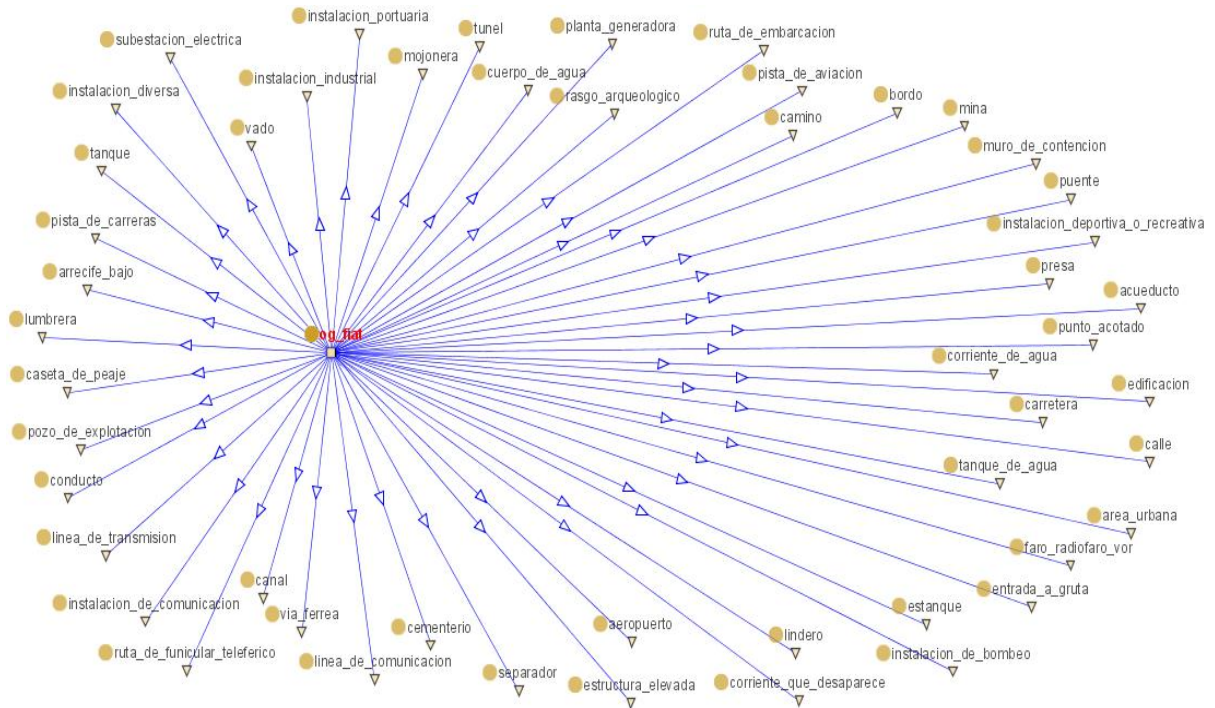


Figura 5.38. Conceptos geográficos del contexto topográfico que pertenecen a la subclase “og_fiat”, la cual forma parte de la partición de la clase de entidad abstracta “xuul”

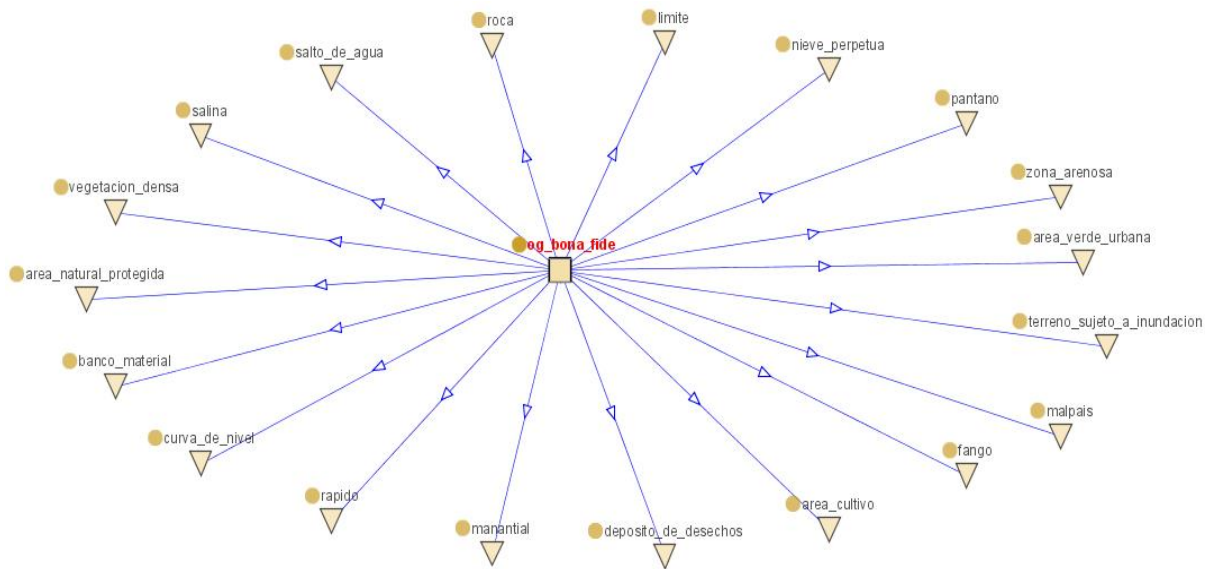


Figura 5.39. Conceptos geográficos del contexto topográfico que pertenecen a la subclase “*og_bona_fide*”, la cual forma parte de la partición de la clase de entidad abstracta “*xuul*”

Por último, en las Figuras 5.40 y 5.41 se muestran los conceptos geográficos que se localizan en las subclases “*og_artificial*” y “*og_natural*” que componen o forman parte de la partición de la clase de entidad abstracta “*moots*”.

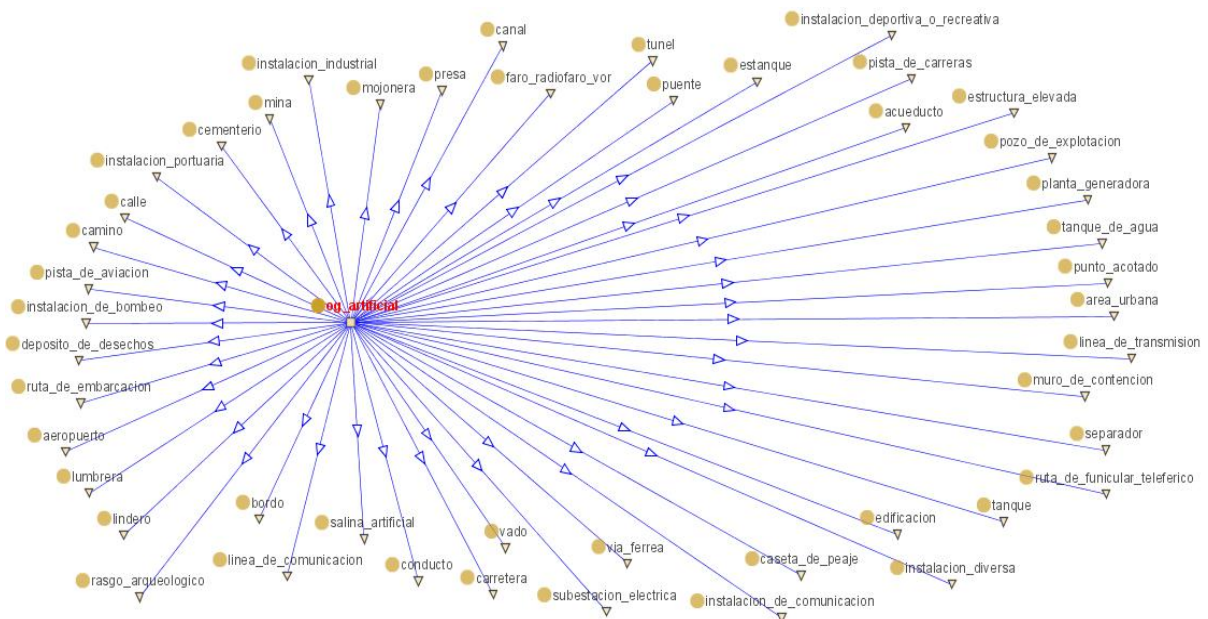


Figura 5.40. Conceptos geográficos del contexto topográfico que pertenecen a la subclase “*og_artificial*”, la cual forma parte de la partición de la clase de entidad abstracta “*moots*”

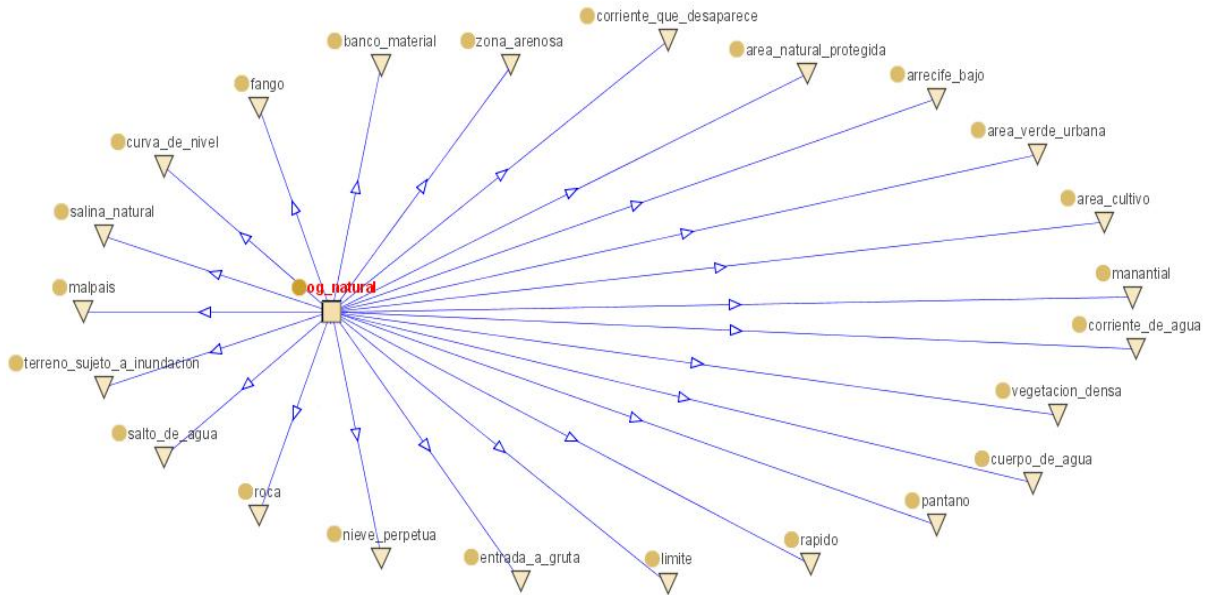


Figura 5.41. Conceptos geográficos del contexto topográfico que pertenecen a la subclase “og_natural”, la cual forma parte de la partición de la clase de entidad abstracta “moots”

Cabe señalar que todos los conceptos geográficos que componen el contexto topográfico, de acuerdo con la conceptualización del INEGI, han sido considerados en esta ontología. Además, los conceptos están coleccionados dentro de las clases de entidades abstractas definidas en *Kaab-Ontology*. Cada uno de los conceptos topográficos se mapea con una subclase que forma parte de la partición de cada clase de entidad abstracta. La relación utilizada para realizar este mapeo es la relación de existencia “es”.

Por otra parte, es necesario mostrar el uso de la **relación axiomática de pertenencia** “tiene” en la ontología de aplicación del contexto topográfico. Para este caso se considera la clase denominada “dominio_fijo”, la cual está compuesta por un conjunto de conceptos que se encargan de describir las **propiedades** de un concepto geográfico; a su vez estos conceptos están poblados por medio de **instancias** que reflejan propiedades específicas para los conceptos geográficos.

En la Figura 5.42 se puede apreciar la **relación de pertenencia** que existe entre la clase “entidad_geografica” y “dominio_fijo”, la cual es una relación de **dominio** sobre **rango** que mapea de cualquier elemento que pueda tener una *entidad geografica* hacia un *dominio predeterminado* (representada por línea rosa de mayor grosor). En otras palabras, “toda entidad geografica tiene una **propiedad** que se describe dentro de uno o más dominios preestablecidos”. De la misma forma se aprecian todos los conceptos que componen a la clase “dominio_fijo”.

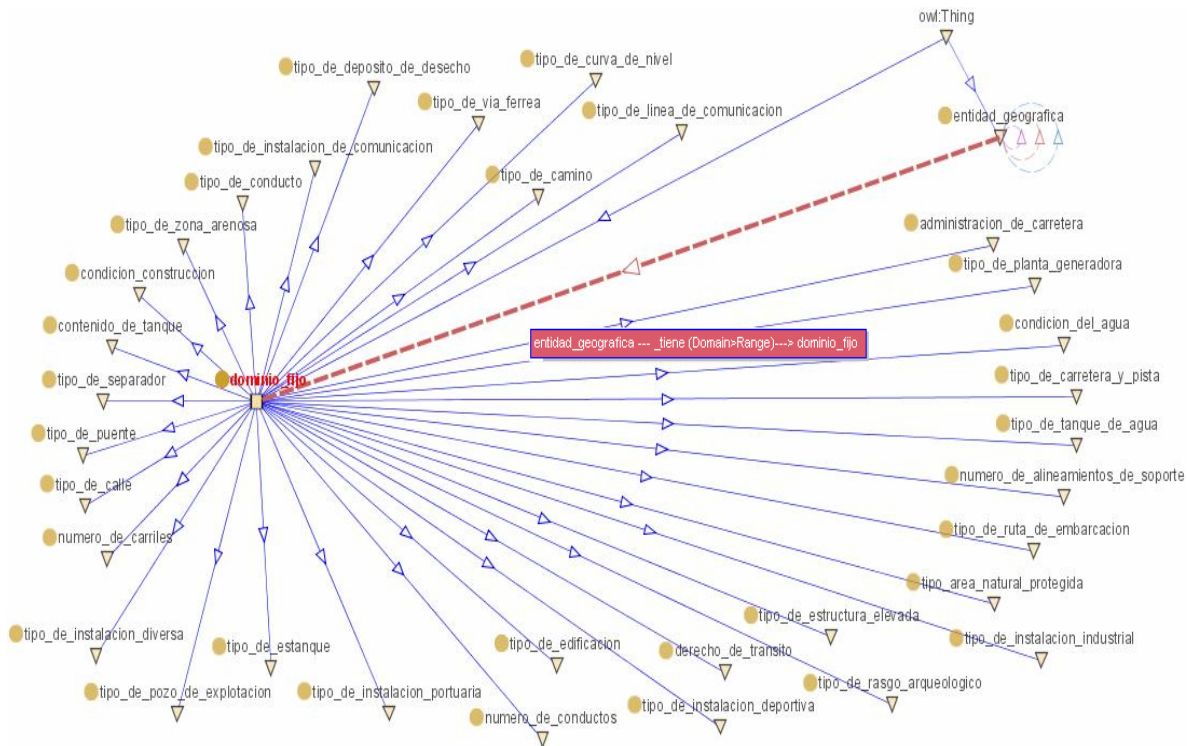


Figura 5.42. Relación axiomática de pertenencia “tiene” entre la clase “entidad_geografica” y “dominio_fijo”

En la Figura 5.43 se muestran algunas de las instancias que representan propiedades particulares de algunos conceptos que componen a la clase “dominio_fijo”. La relación de pertenencia aquí es implementada a través de “has instance”.

Por ejemplo, se puede observar que el concepto “tipo_de_instalacion_de_comunicacion” es una propiedad que describe a un concepto geográfico, en donde ésta tiene como instancias o propiedades particulares a: “torre_de_microondas”, “antena_de_television”, “antena_de_radio”, “estacion_terrestre_de_comunicaciones”, “antena_de_microondas_de_telefonia”, “repetidora_de_fibra_optica” y “otro_tipo_de_instalacion_de_telecomunicacion”.

De la misma manera, se tienen otros conceptos como “tipo_de_curva_de_nivel”, la cual contiene instancias como: “depression” y “otro_tipo_de_curva_de_nivel”.

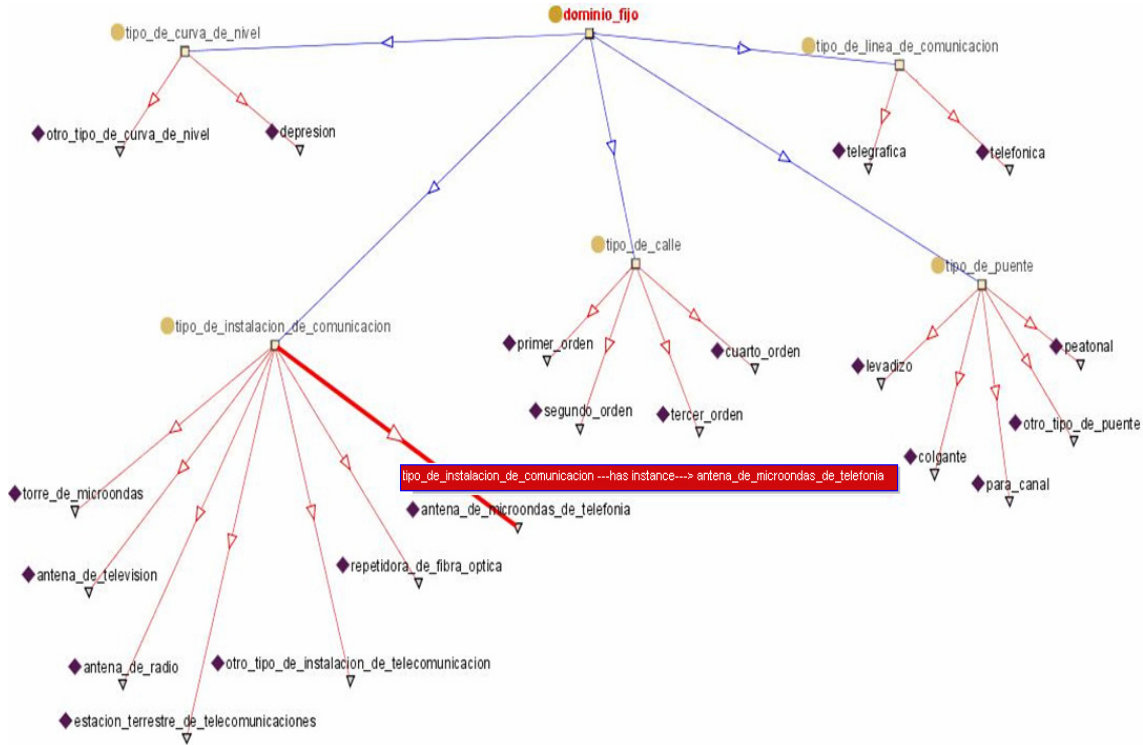


Figura 5.43. Instancias que representan propiedades más especializadas de los conceptos que describen propiedades o atributos y componen a la clase “dominio_fijo” y que se utilizan para describir propiedades de los conceptos geográficos

Ya que se ha mostrado el uso de la **relación axiomática de pertenencia**; ahora se presentarán algunos fragmentos de la ontología de aplicación, solo considerando algunos conceptos de la misma. Esto se debe a cuestiones de claridad en cuanto al espacio disponible en la hoja para representar y percibir en forma más clara los resultados.

En la Figura 5.44 se muestra la descripción ontológica completa del concepto topográfico “carretera”. En esta descripción se pueden observar las relaciones de **pertenencia** y el tipo de restricción utilizada para definir qué atributos de la clase “dominio_fijo” le corresponden. Asimismo, se presenta la relación de **existencia** con respecto a la asociación o mapeo de este concepto dentro de *Kaab-Ontology*.

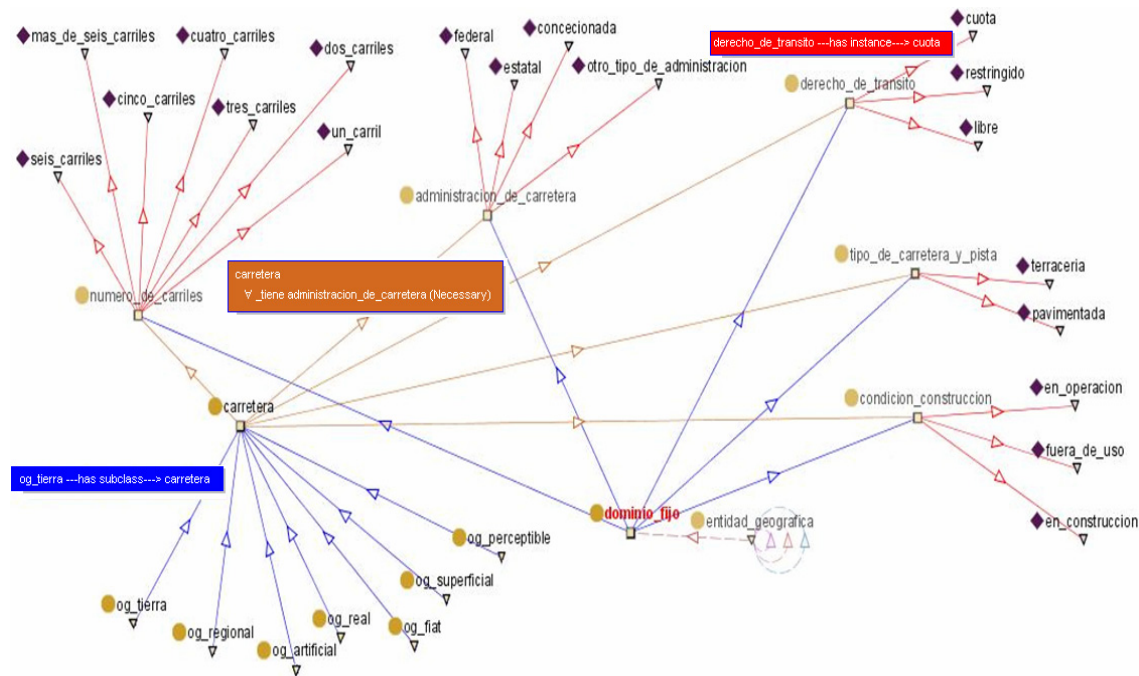


Figura 5.44. Descripción ontológica del concepto “carretera”, haciendo uso de la relación axiomática de pertenencia “*tiene*” para conocer las propiedades vinculadas al concepto. Además, se presentan las subclases a las cuales pertenece el concepto, por medio de la relación axiomática “*es*”

En la Figura 5.44, se puede observar que se tienen las propiedades que describen al concepto “carretera”, las cuales están definidas por medio de la relación “**tiene**” y utilizan una restricción como relación de pertenencia en la ontología para determinar siempre que \forall carretera *tiene* administración_de_carretera, sirviendo ésta como una condición necesaria para obtener una de sus propiedades. Esta relación aparece representada en color naranja.

Lo mismo ocurre para la relación de existencia “**es**”, la cual indica que el concepto carretera es un concepto que pertenece a la subclase “og_tierra”. La relación es denotada og_tierra --- has subclass → carretera. Esta relación se representa gráficamente con línea de color azul. Por último, cada una de las **propiedades** que pertenecen a “dominio_fijo” contiene **instancias**, como el caso de “derecho_de_transito” que define a “cuota”, “restringido” y “libre” como instancias de esta propiedad. La relación queda expresada como derecho_de_transito --- has instance → cuota.

En la Figura 5.45 se muestra otro ejemplo, en donde se describe ontológicamente a cada uno de los conceptos que se relacionan y asocian con el concepto topográfico “conducto”.

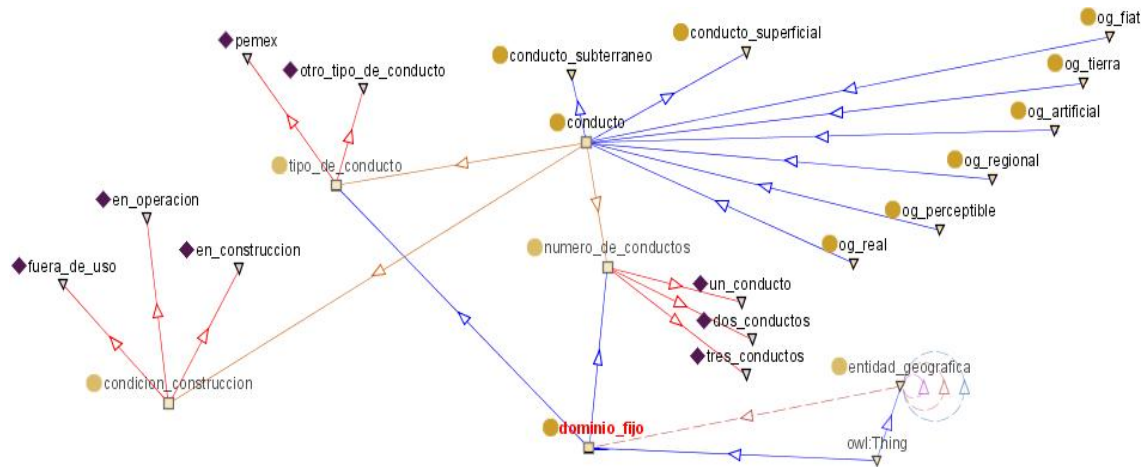


Figura 5.45. Descripción ontológica del concepto “conducto”, haciendo uso de la relación axiomática de pertenencia “tiene” para conocer las propiedades vinculadas al concepto. Además, se presentan las subclases a las cuales pertenece el concepto, por medio de la relación axiomática “es”

En la Figura 5.46 se muestran las propiedades e instancias que describen al concepto “puente”, por medio de la relacion axiomática de pertenencia; al mismo tiempo se presentan las clases a las cuales el concepto existe o es definido a través de la relación axiomática de existencia.

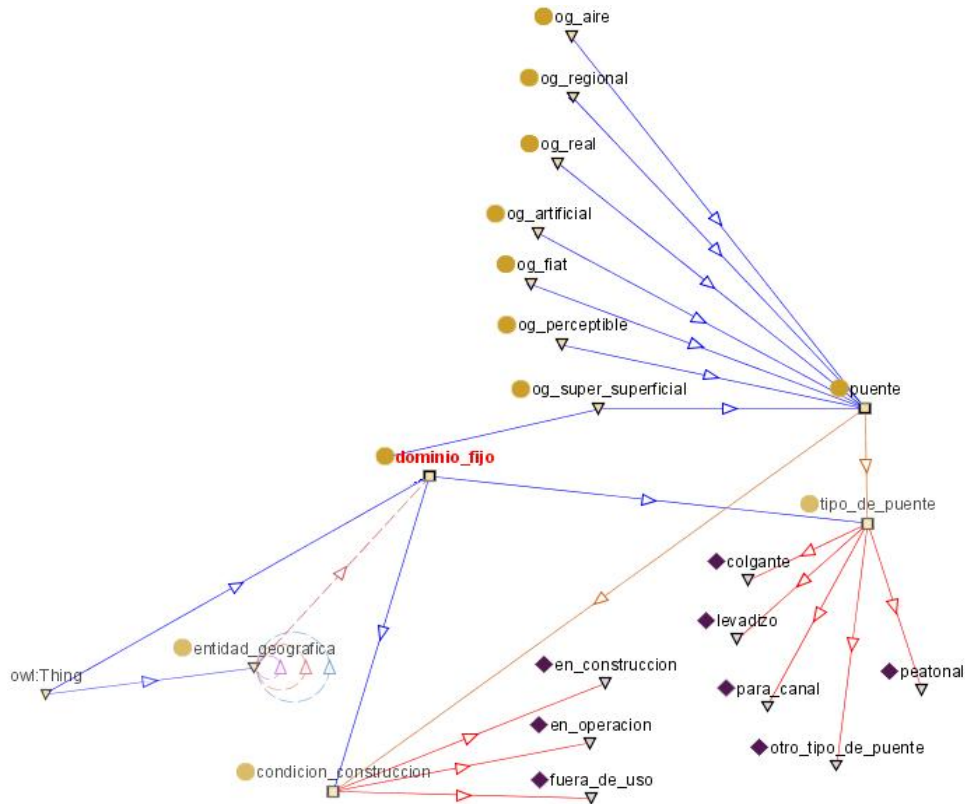


Figura 5.46. Descripción ontológica del concepto “puente”, haciendo uso de la relación axiomática de pertenencia “tiene” para conocer las propiedades vinculadas al concepto. Además, se presentan las subclases a las cuales pertenece el concepto, por medio de la relación axiomática “es”

Por otro lado, ya que se ha demostrado el uso de las relaciones axiomáticas “*es*” y “*tiene*”. Ahora se procede a describir las habilidades que presentan los conceptos geográficos de este contexto, utilizando la forma compuesta definida anteriormente, la cual maneja el conjunto de relaciones axiomáticas de las “*preposiciones*” y de la relación “*hace*”.

Para este caso se utilizan las relaciones topológicas “*compartir*” y “*conectar*” definidas por el INEGI para este contexto, las cuales se establecen como conceptos relación en *Kaab-Ontology*.

A continuación se describen algunas de las habilidades del concepto estándar “*carretera*”; basándose en restricciones de la forma compuesta implementada en la ontología.

- **Carretera conecta con Aeropuerto** (ver Figura 5.47).

- o `carretera (_hace_) rel_topo_conectar (_con_) aeropuerto`



Figura 5.47. Descripción formal basada en restricciones para ejemplificar habilidades del concepto “*carretera*” con el concepto “*aeropuerto*”

- **Carretera conecta con Área Urbana** (ver Figura 5.48).

- o `carretera (_hace_) rel_topo_conectar (_con_) area_urbana`



Figura 5.48. Descripción formal basada en restricciones para ejemplificar habilidades del concepto “*carretera*” con el concepto “*área urbana*”

- **Carretera comparte con Túnel** (ver Figura 5.49).
 - *carretera* (**_hace_**) *rel_topo_compartir* (**_con_**) *tunel*

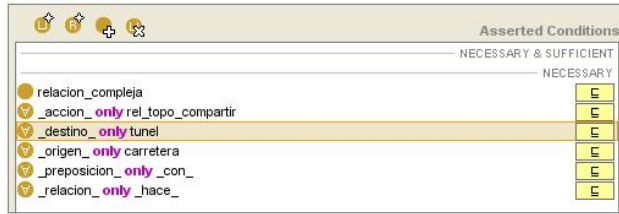


Figura 5.49. Descripción formal basada en restricciones para ejemplificar habilidades del concepto “carretera” con el concepto “túnel”

- **Carretera comparte con Puente** (ver Figura 5.50).
 - *carretera* (**_hace_**) *rel_topo_compartir* (**_con_**) *puente*

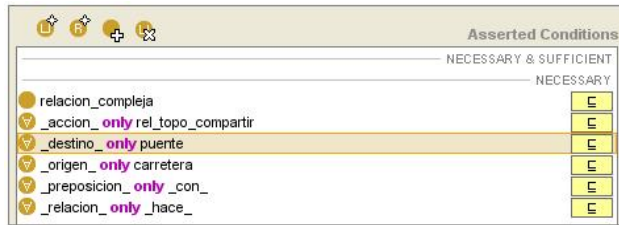


Figura 5.50. Descripción formal basada en restricciones para ejemplificar habilidades del concepto “carretera” con el concepto “puente”

En la Figura 5.51 se describen las habilidades definidas para el concepto estándar “carretera conecta con aeropuerto”, utilizando la forma de relación compuesta.

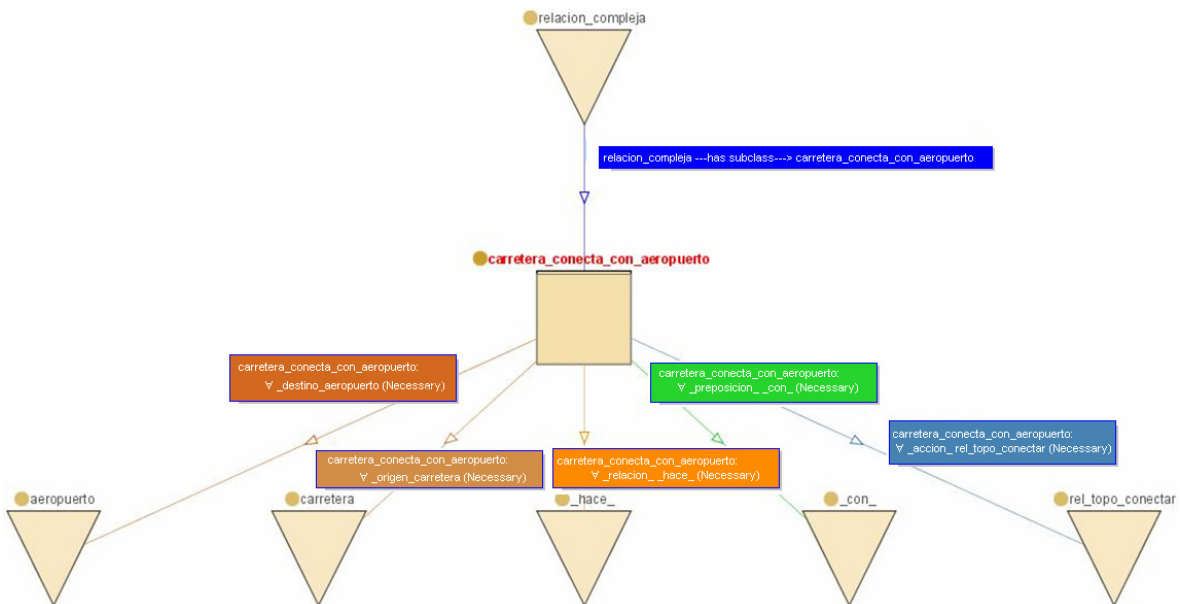


Figura 5.51. Descripción ontológica de habilidades, utilizando la relación axiomática “hace” y la preposición “con” para el mapeo “carretera” conecta con “aeropuerto”

En la Figura 5.51 se puede observar que para describir la relación compleja entre “carretera” y “aeropuerto” se hace uso del slot denominado “propiedades_de_relacion”, el cual está compuesto por objetos del tipo relación. Por lo tanto, éstos son utilizados para describir las restricciones de los conceptos estándar, conceptos relación y relaciones axiomáticas. En este caso se obtiene lo siguiente:

- relacion_compleja --- has subclass → carretera_conecta_con_aeropuerto
- \forall _origen_ carretera (Condición Necesaria)
- \forall _destino_ aeropuerto (Condición Necesaria)
- \forall _relacion_ _hace_ (Condición Necesaria)
- \forall _preposicion_ _con_ (Condición Necesaria)
- \forall _accion_ rel_topo_conectar (Condición Necesaria)

En la Figura 5.52 se describen las habilidades definidas para el concepto estándar “carretera conecta con área urbana”, utilizando la forma de relación compuesta.

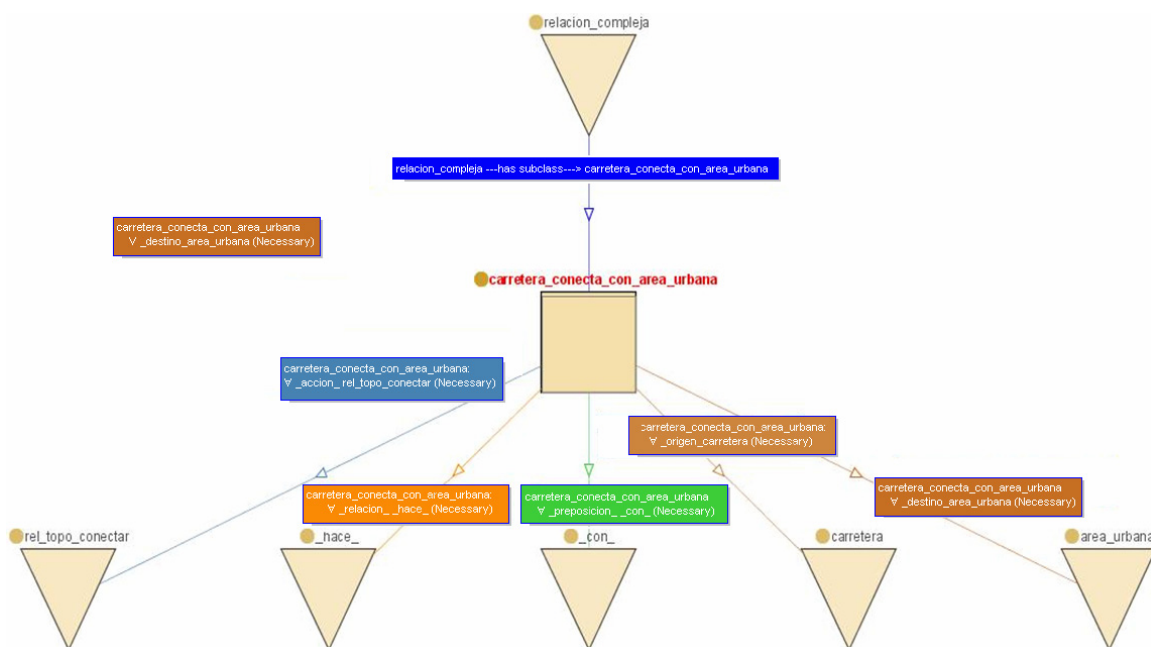


Figura 5.52. Descripción ontológica de habilidades, utilizando la relación axiomática “hace” y la preposición “con” para el mapeo “carretera” conecta con “área urbana”

En la Figura 5.52 se observa que para describir la relación compleja entre “carretera” y “área urbana”, se utilizan los objetos del tipo relación del slot. Por lo tanto, se obtiene lo siguiente:

- relacion_compleja --- has subclass → carretera_conecta_con_area_urbana
- \forall _origen_ carretera (Condición Necesaria)

- \forall _destino_ area_urbana (Condición Necesaria)
- \forall _relacion_ _hace_ (Condición Necesaria)
- \forall _preposicion_ _con_ (Condición Necesaria)
- \forall _accion_ rel_topo_conectar (Condición Necesaria)

En la Figura 5.53 se describen las habilidades definidas para el concepto estándar “carretera comparte con túnel”, utilizando la forma de relación compuesta.

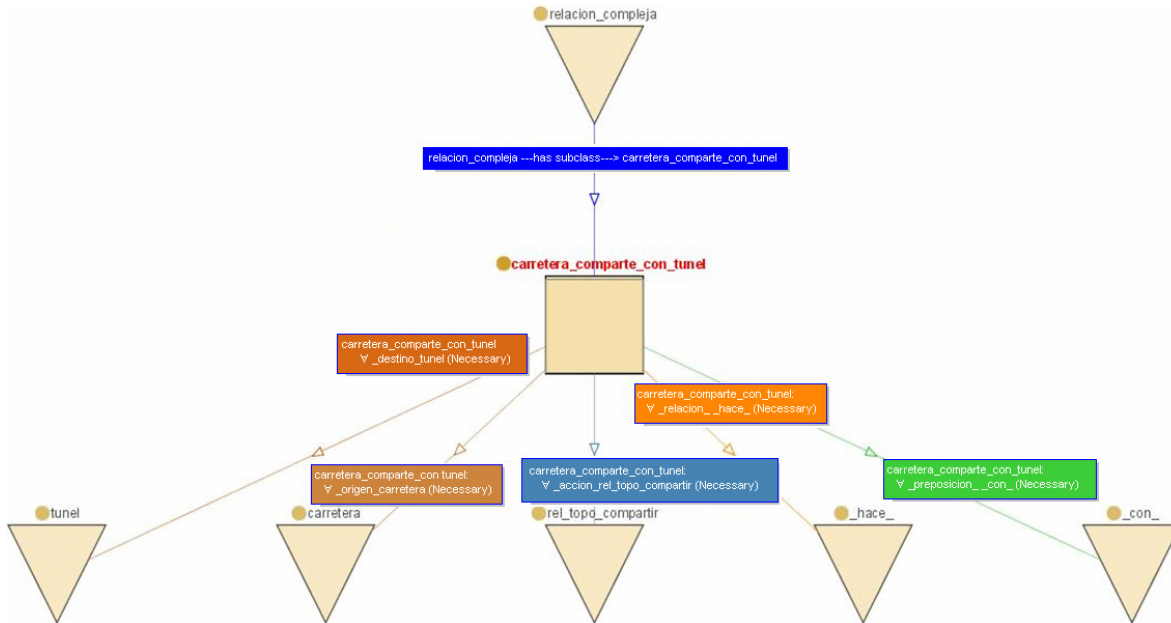


Figura 5.53. Descripción ontológica de habilidades, utilizando la relación axiomática “hace” y la preposición “con” para el mapeo “carretera” comparte con “túnel”

En la Figura 5.53 se observa que para describir la relación compleja entre “carretera” y “túnel”, se utilizan los objetos del tipo relación del slot. Por lo tanto, se obtiene lo siguiente:

- relacion_compleja --- has subclass → carretera_comparte_con_tunel
- \forall _origen_ carretera (Condición Necesaria)
- \forall _destino_ tunel (Condición Necesaria)
- \forall _relacion_ _hace_ (Condición Necesaria)
- \forall _preposicion_ _con_ (Condición Necesaria)
- \forall _accion_ rel_topo_compartir (Condición Necesaria)

En la Figura 5.54 se describen las habilidades definidas para el concepto estándar “carretera comparte con puente”, utilizando la forma de relación compuesta.

Además, se observa que para describir la relación compleja entre “carretera” y “puente”, se utilizan los objetos del tipo relación del slot. Por lo tanto, se obtiene lo siguiente:

- `relacion_compleja --- has subclass → carretera_comparte_con_puente`
- $\forall _origen_carretera$ (Condición Necesaria)
- $\forall _destino_puente$ (Condición Necesaria)
- $\forall _relacion_hace_$ (Condición Necesaria)
- $\forall _preposicion_con_$ (Condición Necesaria)
- $\forall _accion_rel_topo_compartir$ (Condición Necesaria)

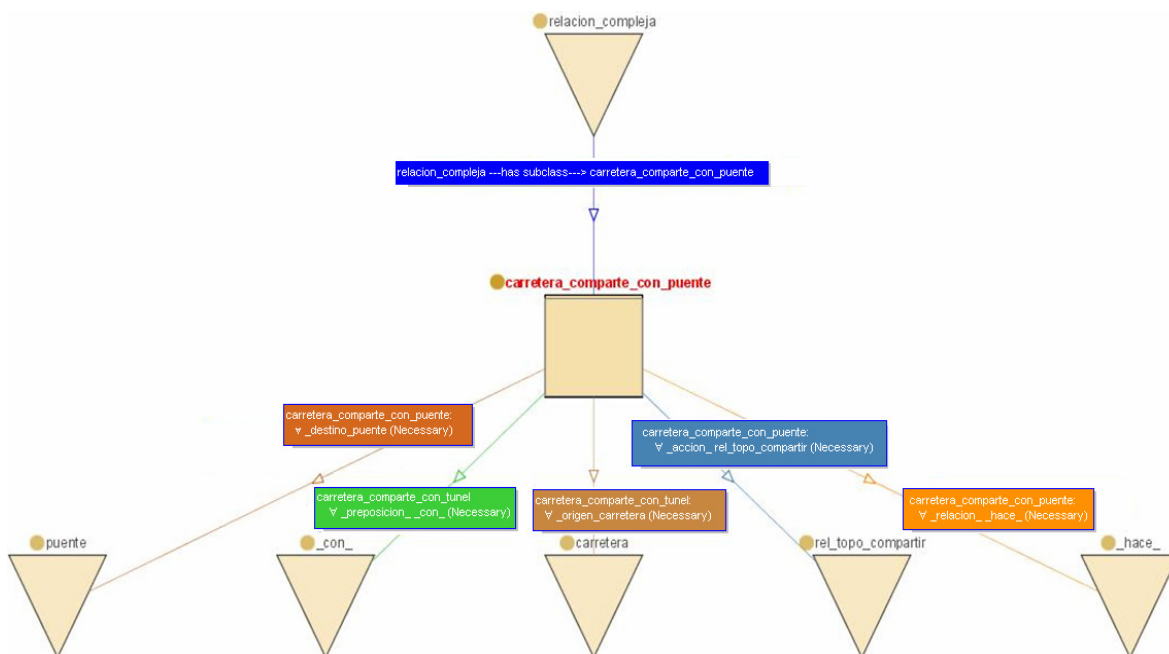


Figura 5.54. Descripción ontológica de habilidades, utilizando la relación axiomática “hace” y la preposición “con” para el mapeo “carretera” comparte con “puente”

En la Figura 5.55 se muestran todas las relaciones complejas que describen las **habilidades** del concepto “carretera” en la ontología; así como las clases de *dominio fijo* que definen directamente las **propiedades** de este concepto.

Asimismo, se puede apreciar que no existen conceptos del tipo relación ni relaciones axiomáticas que se dupliquen para cada una de las relaciones complejas. Todas las restricciones para los mapeos se indican con colores diferentes, tal como se mostró en las figuras anteriores.

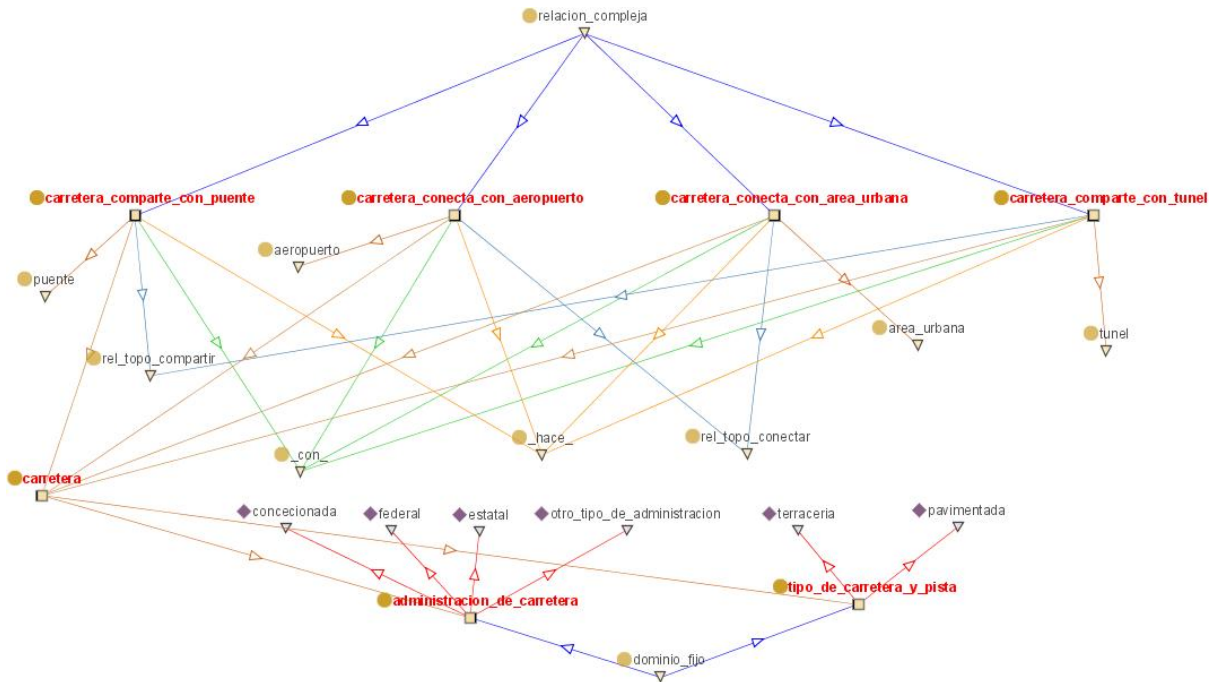


Figura 5.55. Descripción ontológica de todas las habilidades del concepto “carretera” en la ontología; así como las clases de dominio que describen las propiedades del mismo

Para finalizar, es necesario mostrar cómo las instancias (individuos) de un concepto estándar describen sus habilidades.

En este caso se utiliza también una relación compleja para llevar a cabo esta definición. En la Figura 5.56 se muestran las instancias de los conceptos topográficos “carretera” con una instancia (**carretera_CHIH-43**) y “aeropuerto” cuya instancia es (**a_chih_cd_juarez**); en donde se describe la habilidad: “carretera conecta con aeropuerto”.

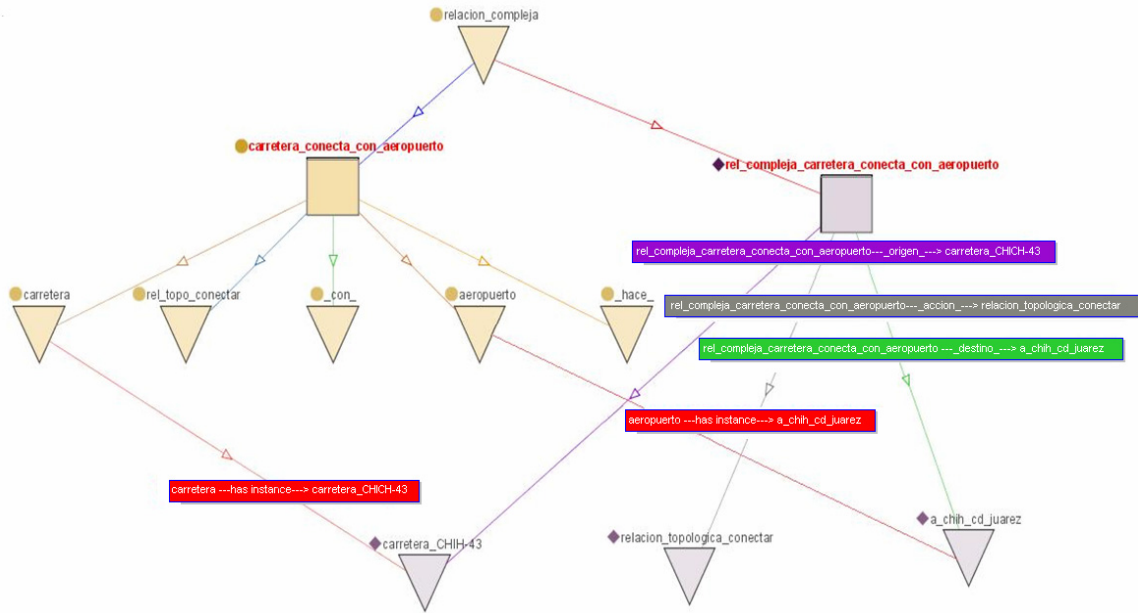


Figura 5.56. Descripción ontológica de las habilidades de las instancias de los conceptos “*carretera*” (*carretera_CHIH-43*) y “*aeropuerto*” (*a_chih_cd_juarez*), utilizando una relación compleja

En la Figura 5.57 se muestran las instancias de los conceptos topográficos “*carretera*” con una instancia (*carretera_CHIH-54*) y “*area_urbana*” cuya instancia es (*Delicias*); en donde se describe la habilidad: “*carretera conecta con área urbana*”.

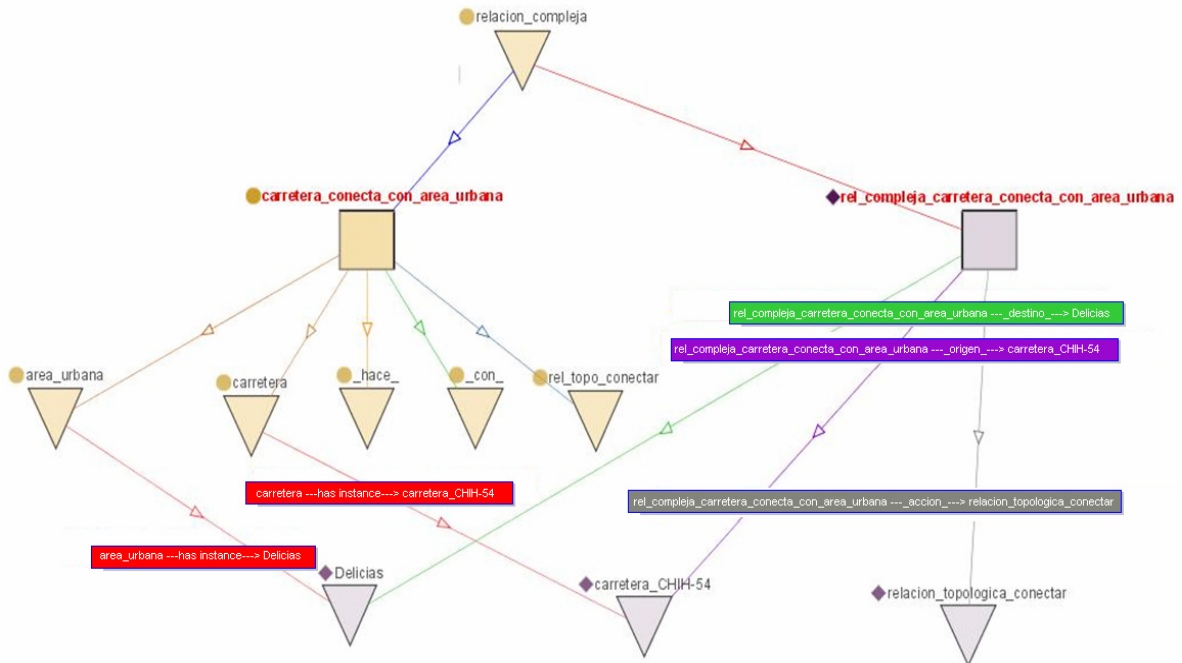


Figura 5.57. Descripción ontológica de las habilidades de las instancias de los conceptos “*carretera*” (*carretera_CHIH-54*) y “*area_urbana*” (*Delicias*), utilizando una relación compleja

En la Figura 5.58 se muestran las instancias de los conceptos topográficos “carretera” con una instancia (**carretera_MEX-02**) y “túnel” cuya instancia es (**El_Situriachi**); en donde se describe la habilidad: “carretera comparte con túnel”.

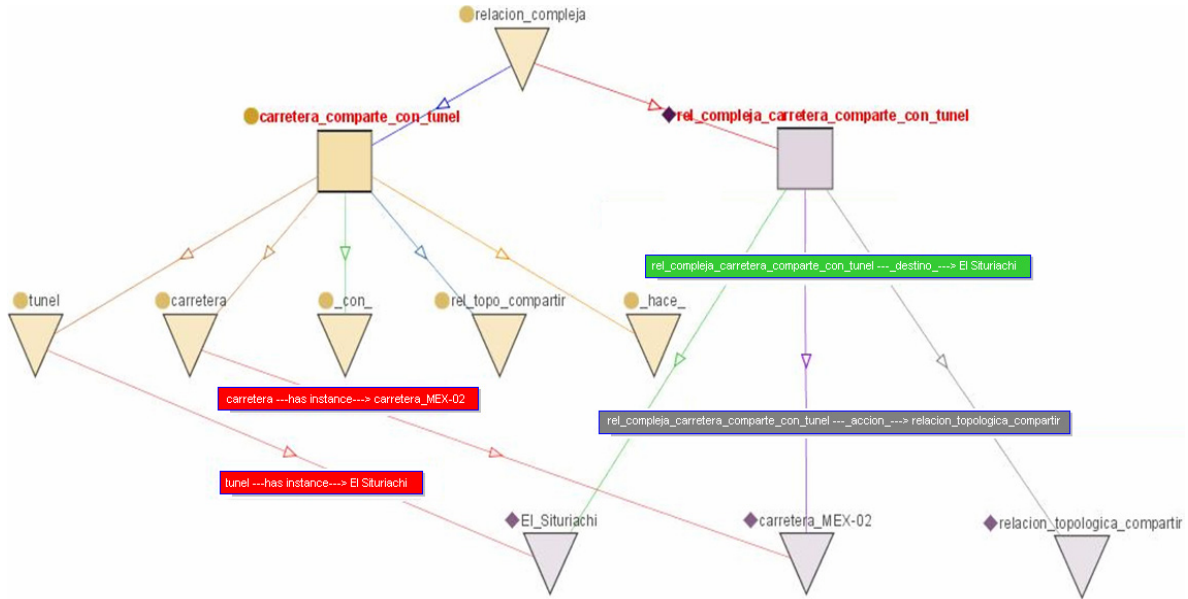


Figura 5.58. Descripción ontológica de las habilidades de las instancias de los conceptos “carretera” (**carretera_MEX-02**) y “túnel” (**El_Situriachi**), utilizando una relación compleja

En la Figura 5.59 se muestran las instancias de los conceptos topográficos “carretera” con una instancia (**carretera_CHIH-98**) y “puente” cuya instancia es (**Las_Trincheras**); en donde se describe la habilidad: “carretera comparte con puente”.

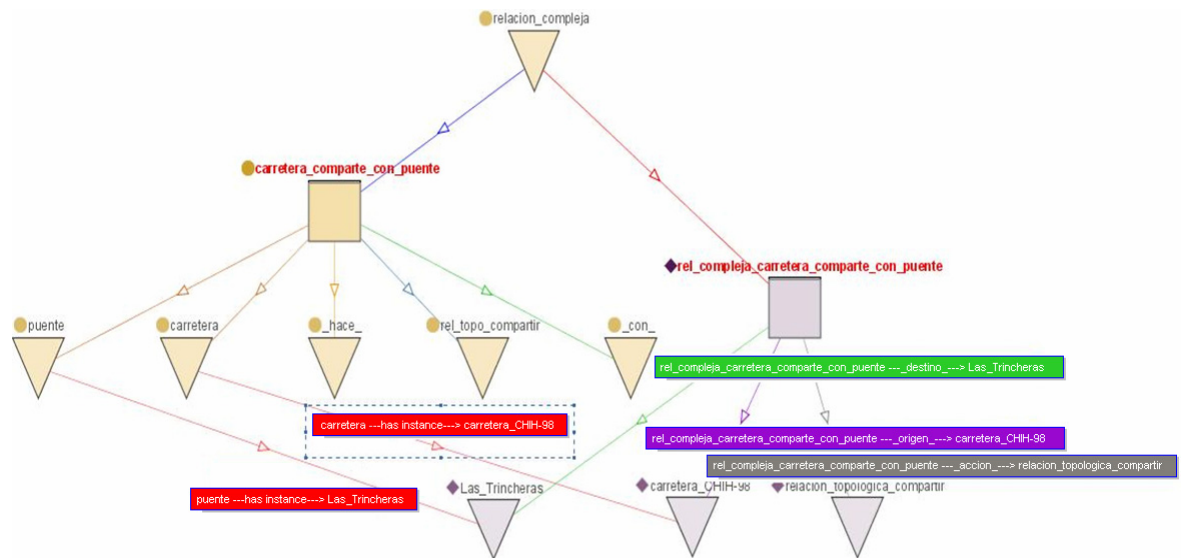


Figura 5.59. Descripción ontológica de las habilidades de las instancias de los conceptos “carretera” (**carretera_CHIH-98**) y “puente” (**Las_Trincheras**), utilizando una relación compleja

5.3 Ejemplo para generar una descripción simbólica y semántica

En esta sección se describen dos escenarios, los cuales están enfocados en mostrar cómo conceptualizar y describir el dominio geográfico basándose en la metodología propuesta. Para realizar estos procesos se utiliza el esquema conceptual obtenido a partir de la unión de las temáticas proporcionadas por las especificaciones del INEGI. Este esquema está compuesto por un conjunto de conceptos que describen la estructura lógica de *Kaab-Ontology*.

Estos esquemas conceptuales se utilizan para tener una representación lógica del contexto conceptualizado. Las ontologías se utilizan para poblar este esquema conceptual con instancias, y poder así vincular conceptos geográficos con objetos geospaciales de una base de datos.

La descripción semántica se obtiene a partir del esquema conceptual poblado, en donde se realiza un barrido iterativo entre los conceptos del esquema para poder describir las relaciones que definen el comportamiento de las instancias que representan objetos geográficos. Todo esto se realiza con respecto a un contexto específico.

Uno de los objetivos es demostrar como diversas representaciones espaciales definidas como escenarios diferentes convergen en la misma descripción semántica. En este sentido, aunque las representaciones sean distintas, éstas pertenecen al mismo contexto, con lo cual su descripción semántica es la misma; así como su conceptualización.

Cabe señalar que estas representaciones pueden partir de la forma cognitiva en cómo el ser humano percibe el mundo geográfico o bien, en representaciones formales discretas, las cuales pueden diferir en cuanto a su visualización; sin embargo semánticamente son iguales.

Por lo tanto, estos tipos de conceptualizaciones pueden representarse en un esquema conceptual y restringido por un contexto. A continuación se presentan dos escenarios distintos desde el punto de vista cognitivo o con respecto a cómo el ser humano puede percibir el mundo geográfico.

- **Escenario 1.**

Imaginando el mundo real. Suponer que se está observando un paisaje¹⁴, el cual se compone de varias entidades tales como un bosque que se considera como un área verde, el cual tiene un lago y un río. Además, se puede observar que la carretera estatal (**CE-25**) cruza la autopista federal (**AF-37**). En este caso, se sabe que la (**CE-25**) es utilizada para poder llegar al municipio de Delicias, Chihuahua, a la cual se considera como la ciudad principal de los alrededores.

Considerando el **Escenario 1**, es importante realizar una conceptualización acerca de nuestras observaciones cognitivas. En este caso, es necesario llevar a cabo un **proceso de abstracción** el cual nos permita conceptualizar las entidades esenciales que envuelven al paisaje descrito en el Escenario 1. Por lo tanto, en la Figura 5.60 se muestra el proceso de simplificación con respecto al paisaje.

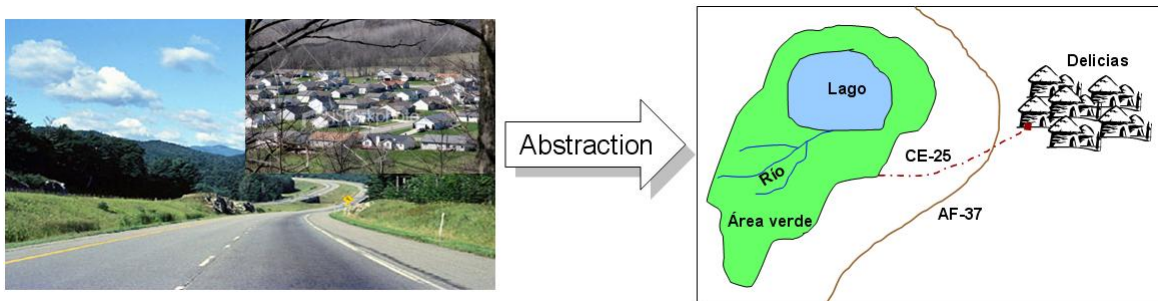


Figura 5.60. *Escenario 1:* Imaginando y simplificando el mundo real para obtener las entidades esenciales de la observación cognitiva del ser humano

- **Escenario 2. Representación espacial vectorial.** Suponer para este escenario que ahora se tiene una región espacial del mismo lugar, solo que esta representación se encuentra en un formato nativo en una base de datos geográfica. Esta región contiene diferentes tipos de temáticas, las cuales están compuestas por capas diferentes; en donde cada capa contiene objetos geográficos representados por primitivas geoespaciales del modelo vectorial. Se puede observar en la Figura 5.61 que la región está compuesta por *poblados (POP)*, *elementos hidrológicos (HYF)*, *carreteras (ROD)* y *uso de suelo (SOL)*. Adicionalmente, es importante puntualizar que cada temática y sus capas se representan por una leyenda, la cual por medio de símbolos

¹⁴ En este caso, el paisaje mostrado en la Figura 5.58 es solo una aproximación o una idea general de lo que se describe como escenario 1, en este sentido solo se seleccionan algunos objetos para mostrar un ejemplo.

describe cada uno de los objetos geográficos del mundo real. La región está compuesta de 2 objetos areas, 3 objetos lineales y un objeto puntual.

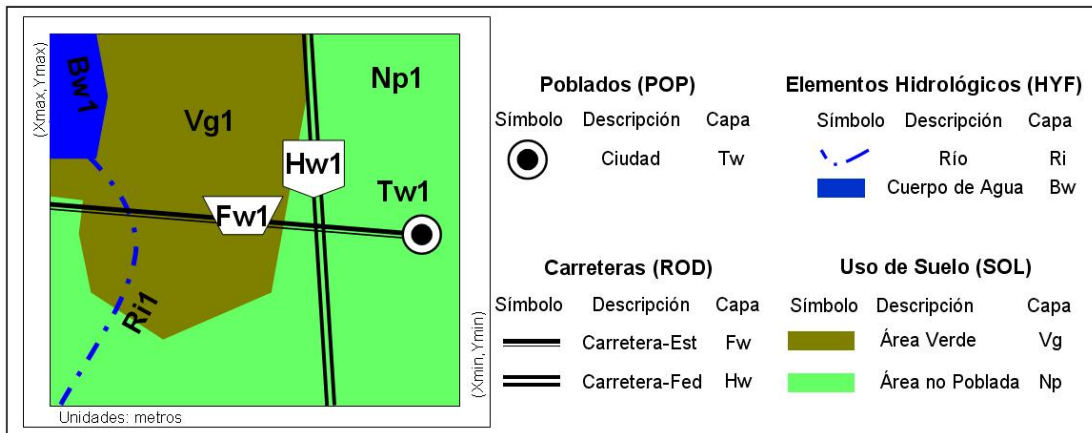


Figura 5.61. Región espacial que describe el Escenario 2

Ya que se tienen definidos estos dos escenarios, es necesario utilizar el *algoritmo de mapeo de instancias de conceptos de Kaab-Ontology* y el *esquema conceptual*, con el objeto de relacionar ambos escenarios y observar si éstos **convergen** en la misma **descripción semántica**. Cabe señalar que esta descripción se representa en forma simbólica, por lo cual ésta se representa por medio de un *diagrama de descripción simbólica*.

Este diagrama posteriormente es traducido en una *descripción semántica* la cual está definida en XML para poder compartir información geoespacial, y por medio de las ontologías construidas, poder tomar conceptos e instancias que son utilizadas para integrar información con diversas bases de datos geográficas o usuarios al realizar una validación del contenido del XML con la conceptualización de aplicación desarrollada.

5.3.1 Generación del Diagrama de Descripción Simbólica y Semántica

El diagrama de descripción simbólica se construye al aplicar el algoritmo de mapeo de instancias de conceptos de *Kaab-Ontology* con el esquema conceptual definido en la sección 4.7. A continuación se explica la forma en que se realiza este mapeo en el escenario 2 al utilizar el algoritmo.

De esta forma, para la descripción se utiliza el diagrama mostrado en la Figura 4.16, con el esquema conceptual se realiza el mapeo de los conceptos geográficos para coleccionar cada una de las instancias de los mismos en los conceptos terminales y no-terminales dentro del esquema.

Posteriormente, si se encuentran instancias de conceptos en *Kaab-Ontology*, se buscan las propiedades de éstas, a través de las clases “*dominio_fijo*” y “*dominio_variable*” de la ontología. Estas propiedades están asociadas a las instancias, por lo que el mapeo de éstas llena los atributos¹⁵ del esquema conceptual.

Una vez que todas las instancias han sido definidas en el esquema conceptual, se elige el concepto terminal a describirse. Esto significa que se debe seleccionar el *aspecto* que será caracterizado. Este proceso continúa hasta que se encuentre un *concepto terminal*, cuando el concepto terminal es localizado, es necesario seleccionar un par de instancias que representan objetos geográficos, con el objetivo de verificar si la *relación* entre ellos existe; entonces si se cumple esta condición una parte de la descripción simbólica para este par de instancias se genera.

Los conceptos terminales están definidos por el tipo de relación entre dos objetos; es decir, la descripción simbólica inicia en el concepto no-terminal denominado “**Geographic Domain**”. Los conceptos no-terminales se denotan a través de *rectángulos* y los valores de los conceptos terminales se representan por medio de *elipses*.

Es importante indicar que de acuerdo con el *aspecto* o conjunto de atributos que contiene cada nodo no-terminal, se debe establecer una relación que define a otro concepto no-terminal o terminal; en este caso dependiendo del contexto de los objetos geográficos.

Por lo tanto, esto conduce a completar la descripción simbólica de instancias que representan objetos geográficos que componen a ambos escenarios. Éstos convergen en la misma descripción de acuerdo con el contexto; aunque estos escenarios son representados en diferentes formas, sin embargo éstos indican la misma partición de objetos geográficos en el mundo real; únicamente la forma de percibir estos objetos puede ser diferente.

El método está enfocado en describir el *contenido semántico* de una representación espacial limitada siempre por el esquema conceptual propuesto en el contexto geográfico.

¹⁵ En este caso, se consideran atributos a los conceptos terminales y no-terminales.

Cabe señalar que las ontologías desarrolladas nunca pueden ser sustituidas por este esquema conceptual; puesto que éstas (las ontologías) son realmente *más ricas semánticamente* que el esquema conceptual; es decir, el esquema conceptual solo describe una vista lógica y funcional de *Kaab-Ontology*.

Por lo tanto, el esquema tiene como función coleccionar objetos geográficos de una representación espacial en una forma lógica, para que éste pueda posteriormente utilizarse en el diseño de aplicaciones de bases de datos geográficas con un diseño lógico predeterminado y además, con la descripción que se obtiene de estos objetos es posible compartir información geoespacial de regiones particulares a expertos GIS, por medio de una descripción semántica definida como una plantilla en XML.

Asimismo, este esquema conceptual se utiliza para definir y describir las propiedades que pueden tener las instancias de conceptos geográficos, con el objeto de realizar procesos más eficientes de consultas espaciales y describir semánticamente y en forma local una región espacial específica.

Las ontologías de aplicación del contexto geográfico, son la base para poblar y enriquecer la ontología de dominio geográfico (*Kaab-Ontology*) y ésta se utiliza para realizar la integración de los objetos geográficos, de acuerdo con las especificaciones del INEGI. La ontología enriquece al esquema conceptual en el sentido de brindarle los elementos que constituyen los nodos terminales y no-terminales; así como las relaciones, propiedades y atributos que describen a una partición de objetos geográficos.

Por otra parte, la descripción depende del número de relaciones permisibles, propiedades y operadores de medición¹⁶ definidos en el esquema conceptual; por lo cual es posible incrementar la resolución semántica en la descripción, incorporando más elementos (conceptos que describen características o propiedades geográficas) de este tipo al esquema conceptual y siempre de acuerdo al contexto que se pretenda manejar.

La descripción basada en el esquema conceptual se hace por medio de *tuplas* de conceptos no-terminales y terminales relacionados entre sí, lo cual se denota como **Concepto relación Concepto**. Por ejemplo, de acuerdo con las Figuras 5.60 y 5.61, las cuales están compuestas de varios objetos geográficos, en este caso los objetos en la capa

¹⁶ Un operador de medición es un procedimiento para medir computacionalmente cuáles son las bases para evaluar características de los fenómenos geográficos y valorar el éxito de una descripción semántica de una región espacial.

reflejan una relación de existencia “es”: “**Hw es Objeto Lineal**”. Por otro lado, el concepto relación “*Intersecta*” está vinculado con **Hw1** y **Fw1**; en donde ambos son objetos lineales e instancias del concepto estándar “*carretera*”. En adición, la relación “*Intersecta*” esta generalizada en el esquema conceptual como una relación topológica, que dentro de *Kaab-Ontology* hereda de la clase “*relacion_geografica*”. En la Figura 5.62 se muestra la descripción obtenida y que corresponde a los escenarios mencionados anteriormente.

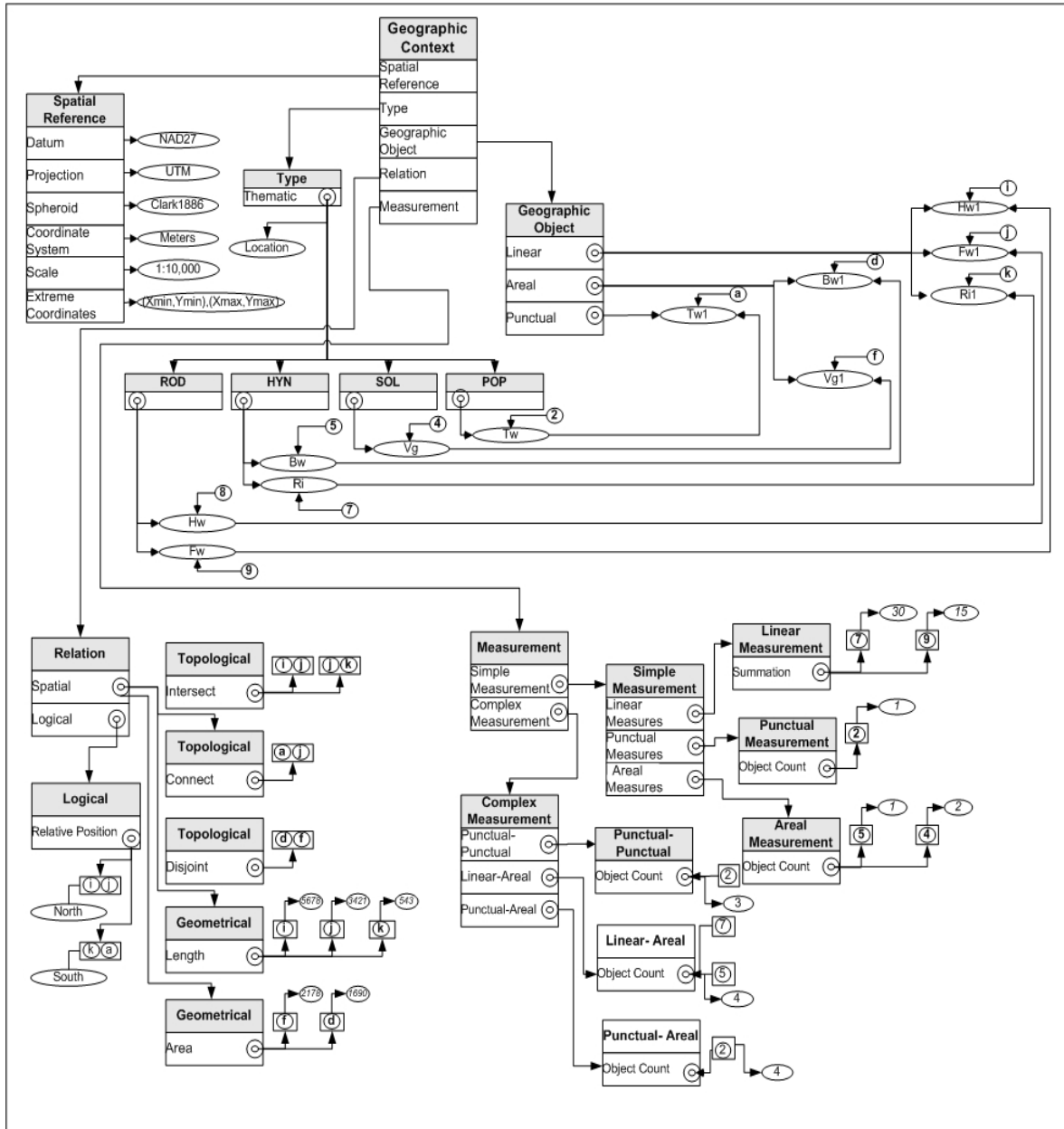


Figura 5.62. Diagrama de Descripción Simbólica para los Escenarios 1 y 2

A partir de la descripción simbólica se genera una descripción semántica, la cual se realiza por medio del análisis (*parsing*) de cada uno de los nodos principales del diagrama mostrado en la Figura 5.62, y aplicando el algoritmo para generar la descripción semántica a partir del diagrama de descripción simbólica descrito en la sección 4.7.

Esta descripción tiene la estructura de un archivo XML o plantilla y está compuesta por cuatro etiquetas principales: *Spatial_Reference*, *Geographic_Object*, *Relation* y *Measurement*, los cuales se utilizan para nombrar a cada una de las secciones de la estructura XML. Estos elementos son organizados en una estructura arbórea para su representación.

En este caso, cada instancia que corresponde a un concepto geográfico está representada por un elemento XML dentro de la sección *Geographic_Object*; en donde quedará almacenado un identificador único para relacionarlo desde otras secciones en donde se localizarán sus atributos.

Posteriormente, se calculan los WKT de cada una de las instancias que tienen una representación espacial en la base de datos. Este análisis se realiza utilizando la API JTS, en donde el objetivo esencial es verificar las relaciones topológicas y geométricas que provienen de la ontología del dominio geográfico y que han sido definidas explícitamente en el esquema conceptual y descritas en el diagrama de descripción simbólica.

La descripción se genera con base en la información almacenada en el diagrama de descripción simbólica, la cual se encuentra definida como atributos en forma de tabla.

En este caso, la descripción es generada utilizando el algoritmo para crear la descripción semántica en forma de plantilla, descrito en la sección 4.7.

En la Tabla 5.9 se muestra un fragmento de la descripción semántica de los escenarios, en donde la información del diagrama de descripción simbólica se utiliza para generar dicha descripción.

Tabla 5.9. Fragmento de la descripción semántica de los escenarios

```
{[cuerpo de agua] (bw1) <inside> [area verde] (vg1) <connect> [rio] (r1) to the east
<disjoint> [carretera-est] (fw1)};

{[area verde] (vg1) <inside> [area no poblada] (vg2)
  <contain> [cuerpo de agua] (bw1)
  <contain> [carretera-est] (fw1)
  <contain> [rio] (r1)
<cover by> [area no poblada] (np1) <meet> [carretera-fed] (hw1) <intersect> [carretera-
est] (fw1)};

{[area no poblada] (np1)
  <contain> [un rio] (r1)
  <contain> [un area verde] (vg1)
  <contain> [una carretera-est] (fw1)
  <contain> [una carretera-fed] (hw1)
  <contain> [una ciudad] (tw1) . . .};
```

A continuación se describe en la Tabla 5.10 la descripción de la región espacial de los escenarios mostrados anteriormente en formato XML.

Tabla 5.10. Plantilla de descripción semántica de escenarios en formato XML

```
<GEOGRAPHIC_DOMAIN>
  <!--Spatial Reference -->
  <SPATIAL_REFERENCE>
    <DATUM />
    <ESFEROIDE />
    <ESCALA />
    <PROYECCION />
    <SISCOORD />
    <COORDEXT />
  </SPATIAL_REFERENCE>

  <!--Geographic Object -->
  <GEOGRAPHIC_OBJECT>
    <PUNCTUAL>
      <object theme="urbano" id="#P00001">
        tw1
        <name>Pueblo 1</name>
        <wkt>POINT (280 130)</wkt>
      </object>
      <object theme="urbano" id="#P00002">
        vil
        <name>Villa 1</name>
        <wkt>POINT (210 70)</wkt>
      </object>
      <object theme="urbano" id="#P00003">
        vi2
        <name>Villa 2</name>
        <wkt>POINT (230 80)</wkt>
      </object>
    </PUNCTUAL>

    <LINEAR>
      <object theme="camino" id="#L00001">
        fw3
        <name>Carretera 3</name>
        <wkt>LINESTRING (0 160, 270 130)</wkt>
      </object>
      <object theme="camino" id="#L00002">
        hw2
```

```

        <name>Autopista 2</name>
        <wkt>LINESTRING (0 160, 270 130)</wkt>
    </object>
    <object theme="camino" id="#L00003">
        br1
        <name>Brecha 1</name>
        <wkt>LINESTRING (90 150, 40 280)</wkt>
    </object>
    <object theme="hidro" id="#L00004">
        r1
        <name>Rio 1</name>
        <wkt>LINESTRING (30 190, 50 180, 60 170, 70 140, 70
100, 60 70, 40 40, 10 0)</wkt>
    </object>
    <object theme="hidro" id="#L00005">
        r2
        <name>Rio 2</name>
        <wkt>LINESTRING (70 140, 40 80, 20 70, 0 60)</wkt>
    </object>
    <object theme="hidro" id="#L00006">
        dl
        <name>Drenaje 1</name>
        <wkt>LINESTRING (70 100, 60 70, 50 50, 50 30, 60
10, 80 0)</wkt>
    </object>
</LINEAR>

<AREAL>
    <object theme="suelo" id="#A00001">
        vg1
        <name>Bosque 1</name>
        <wkt>POLYGON ((0 300, 210 300, 180 80, 100 50, 40
80, 30 130, 40 160, 0 170, 0 170, 0 300))</wkt>
    </object>
    <object theme="suelo" id="#A00002">
        vg2
        <name>Pasto 1</name>
        <wkt>POLYGON ((0 0, 0 170, 40 160, 30 130, 40 80,
100 50, 180 80, 210 300, 300 300, 300 0, 0 0))</wkt>
    </object>
    <object theme="hidro" id="#A00003">
        bw1
        <name>Lago 1</name>
        <wkt>POLYGON ((40 240, 30 300, 0 300, 0 190, 30
190, 30 190, 40 240))</wkt>
    </object>
    <object theme="urbano" id="#A00004">
        ct1
        <name>Ciudad 1</name>
        <wkt>POLYGON ((120 0, 120 10, 160 10, 160 30, 250
30, 250 0, 120 0))</wkt>
    </object>
</AREAL>
</GEOGRAPHIC_OBJECT>

<!-- Measurement -->
<MEASUREMENT>
    <SIMPLE>
        <DISJOINT>
            <R ob1="#L00003" ob2="#A00003" />
        </DISJOINT>

        <INTERSECT>
            <R ob1="#L00001" ob2="#L00002" />
        </INTERSECT>
    </SIMPLE>
</MEASUREMENT>

```

```

<CONNECT>
  <R ob1="#L00003" ob2="#L00002" />
</CONNECT>

<CONTAIN>
  <R ob1="#A00001" ob2="#L00003" />
</CONTAIN>

<INSIDE>
  <R ob1="#L00003" ob2="#A00001" />
</INSIDE>

<NEAR>
  <R ob1="#L00001" ob2="#P00003" />
</NEAR>
</SIMPLE>

<GEOMETRIC>
  <NORTH>
    <R ob1="#L00003" ob2="#A00004" />
    <R ob1="#L00003" ob2="#L00006" />
  </NORTH>

  <SOUTH>
    <R ob1="#A00004" ob2="#L00003" />
    <R ob1="#L00006" ob2="#L00003" />
  </SOUTH>

  <EAST>
    <R ob1="#A00004" ob2="#L00003" />
    <R ob1="#L00003" ob2="#A00003" />
  </EAST>

  <WEST>
    <R ob1="#L00003" ob2="#A00004" />
    <R ob1="#A00003" ob2="#L00003" />
  </WEST>
</GEOMETRIC>

<COMPLEX>
</COMPLEX>
</MEASUREMENT>
</GEOGRAPHIC DOMAIN>

```

Todos los elementos considerados (esqueleto) en esta plantilla de descripción son tomados directamente del esquema conceptual, los datos que almacena la plantilla hacen una referencia a una base de datos geográfica (*shapefile*), mediante un identificador de cada objeto geográfico que está asociado con una instancia de un concepto de *Kaab-Ontology* del diagrama de descripción simbólica y del esquema conceptual, referido por un concepto terminal o no-terminal.

Con esta descripción en formato XML, es posible compartir datos espaciales de regiones particulares, facilitando el intercambio de información entre diversos usuarios. Esta descripción cuenta con la posibilidad de que puede nuevamente visualizarse espacialmente; es decir, la estructura en XML permite mostrar gráficamente el contenido que representan los elementos definidos en la descripción.

A continuación se presenta un segundo ejemplo para generar una descripción semántica a partir de una región geográfica. En este caso, el ejemplo es una prueba sintética que contempla objetos geográficos poligonales totalmente contenidos en la región. Además, se considera el total de la región como un objeto geográfico más, con lo cual entonces contiene a todos los objetos por analizar.

Esta región geográfica (ver Figura 5.63) está compuesta por un total de 9 objetos geográficos. De éstos, 4 objetos son del tipo areal {Vg2 - Vegetación 2, Vg1 - Vegetación 1, Bw1 - Cuerpo de agua 1, Ct1 - Ciudad 1}; 4 objetos del tipo lineal {Fw1 - Carretera 1, Hw1 - Autopista 1, Hw2 - Autopista 2, R1 - Río 1}, y 1 objeto del tipo puntual {Vi1 - Villa 1}; divididos a su vez en 4 temas distintos como hidrología, urbano, uso de suelo y tipo de camino.

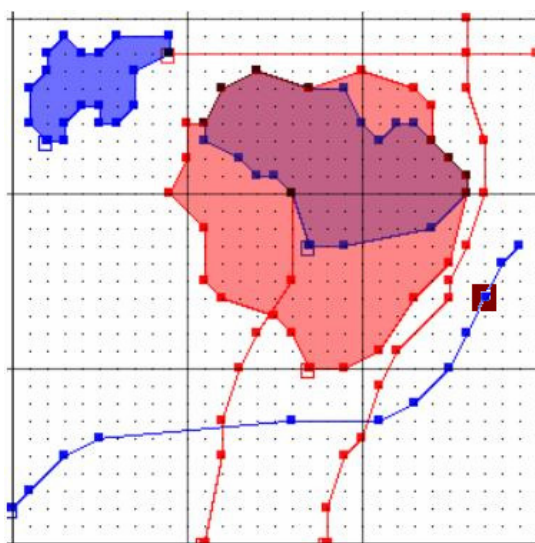
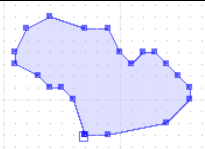
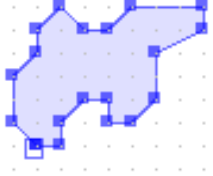
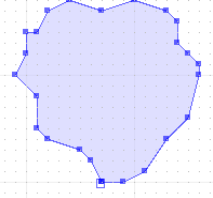
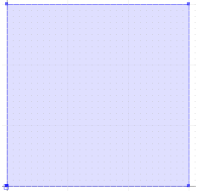
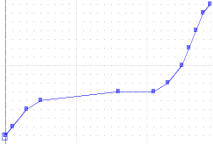
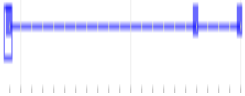
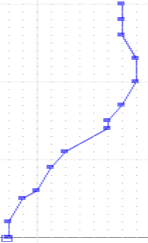



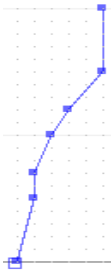
Figura 5.63. Región geográfica a describir

Posteriormente, en la Tabla 5.11, se muestran las cadenas WKT calculadas para cada objeto geográfico que compone la región, con su respectiva descripción y temática.

Tabla 5.11. Descripción de cadenas WKT que definen a cada objeto geográfico de la región

OBJETO GEOGRÁFICO	DESCRIPCIÓN	CADENA WKT
	Bw1 - Cuerpo de agua Tipo: Hidrológico	POLYGON ((170 170, 190 170, 240 180, 260 200, 260 210, 250 220, 240 230, 230 240, 220 240, 210 230, 200 240, 190 240, 170 260, 140 270, 120 260, 110 240, 110 230, 130 220, 140 210, 150 210, 160 210, 200,170 170))

	<p>Ct1 - Ciudad Tipo: Urbano</p>	<p>POLYGON ((20 230, 30 230, 30 240, 40 250, 50 250, 50 240, 60 240, 70 250, 70 270, 90 280, 90 290, 60 290, 50 280, 40 280, 30 290, 20 280, 20 270, 10 260, 10 240, 20 230))</p>
	<p>Vg1 - Pastizal Tipo: Suelo</p>	<p>POLYGON ((170 100, 190 100, 210 110, 230 140, 250 160, 260 200, 260 210, 250 220, 240 230, 240 250, 230 260, 200 270, 170 260, 140 270, 120 260, 110 240, 100 240, 100 220, 90 200, 110 180, 110 150, 120 140, 150 130, 160 120, 170 100))</p>
	<p>Vg2 - Bosque Tipo: Suelo</p> <p>Este objeto delimita toda la región espacial, entonces contiene todos los objetos geográficos</p>	<p>POLYGON ((0 0, 300 0, 300 300, 0 300, 0 0))</p>
	<p>Fw1 - Carretera Tipo: Camino</p>	<p>LINestring (0 20, 10 30, 30 50, 50 60, 160 70, 210 70, 230 80, 250 100, 260 120, 270 140, 280 160, 290 170)</p>
	<p>Hw1 - Autopista Tipo: Camino</p>	<p>LINestring (90 280, 260 280, 300 280)</p>
	<p>Hw2- Autopista Tipo: Camino</p>	<p>LINestring (180 0, 180 20, 190 50, 200 60, 210 90, 220 110, 250 140, 250 150, 260 170, 270 200, 270 230, 260 260, 260 280, 260 300)</p>
	<p>Vi1 - Villa Tipo: Urbano</p>	<p>POINT (110 120)</p>

	<p>R11 - Río Tipo: Hidrológico</p>	<pre>LINESTRING (110 0, 120 50, 120 70, 130 100, 140 120, 160 150, 160 200)</pre>
---	--	---

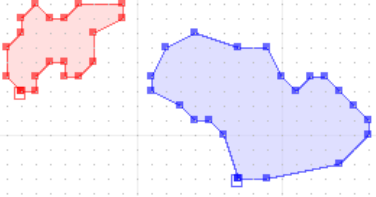
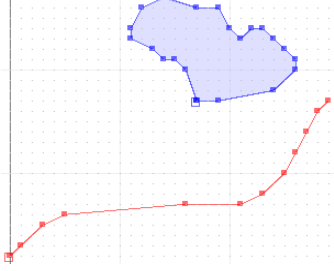
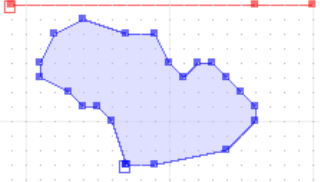
Una vez que se tienen las cadenas WKT de cada objeto geográfico, se realiza el análisis topológico para verificar las relaciones de cada objeto geográfico, utilizando las funciones de JTS.

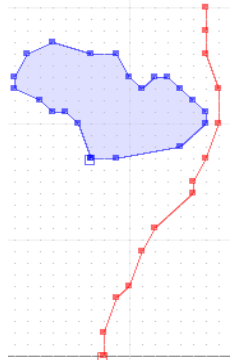
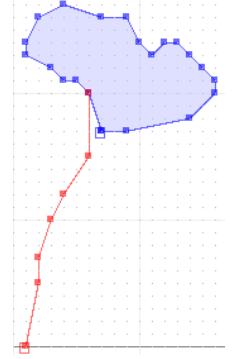
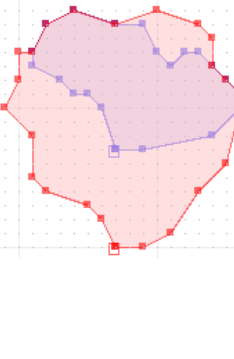
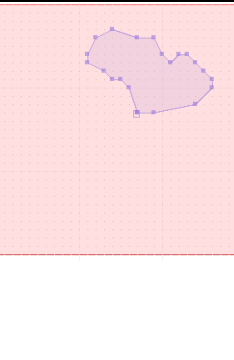
Con esta API se obtiene la matriz de intersección para definir que relaciones topológicas presenta cada objeto. En la Tabla 5.12 se muestran las matrices de intersección para cada relación binaria entre objetos geográficos y se obtiene la relación que describe su vínculo.

Cabe señalar que en la Tabla 5.12 se realizan todas las combinaciones posibles entre objetos geográficos para obtener su respectiva matriz de intersección; sin embargo, este es un proceso manual en el que los objetos se introducen como parámetros al JTS para obtener las relaciones.

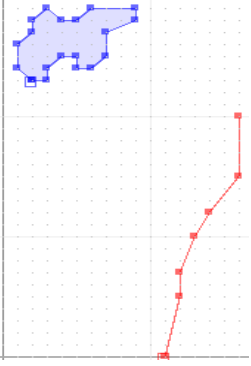
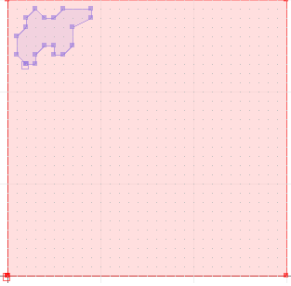
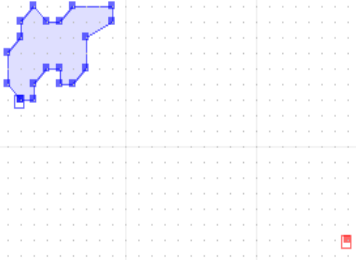
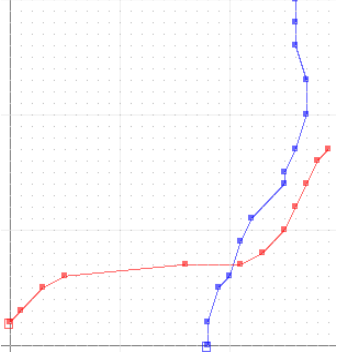
En trabajo a futuro, se pretende realizar una automatización de esta tarea. Asimismo, las relaciones que describen a una tupla de objetos geográficos pueden ser vistas como una especie de predicados, a lo cual su uso puede variar para ser introducidos como “predicados” específicos a una base de conocimiento e inferir a partir de éstos conocimiento nuevo.

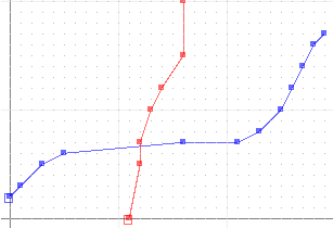
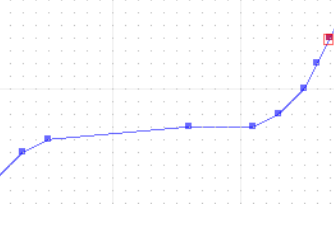
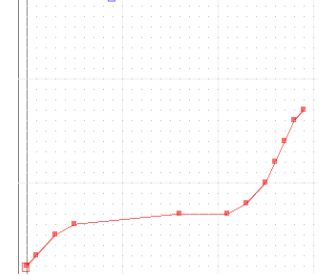
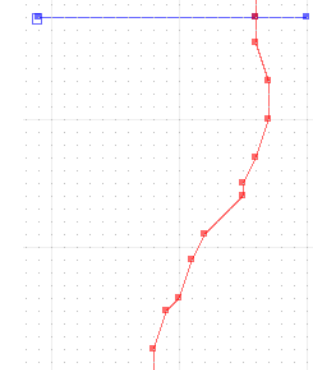
Tabla 5.12. Matriz de intersección que describe las relaciones entre tuplas de objetos geográficos localizados en la región

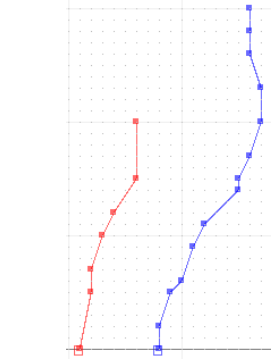
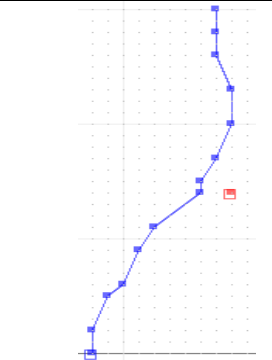
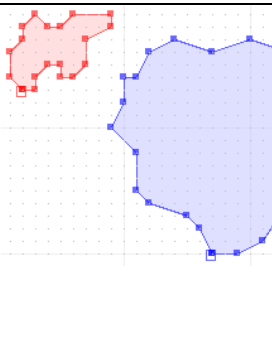
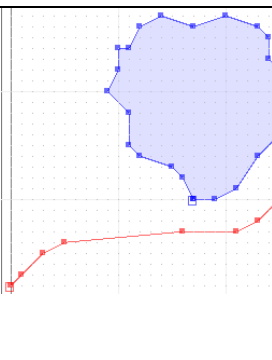
TUPLA DE OBJETOS	MATRIZ DE INTERSECCIÓN	RELACIÓN ENTRE OBJETOS																																	
	<p>Intersection Matrix:</p> <pre> AB FF2FF1212 BA FF2FF1212 B Int Bdy Ext Int F F 2 A Bdy F F 1 Ext 2 1 2 </pre> <p>Binary Predicates:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>AB</th> <th>BA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Equals</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Disjoint</td><td>T</td><td>T</td></tr> <tr><td>Intersects</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Touches</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Crosses</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Within</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Contains</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Overlaps</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Covers</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>CoveredBy</td><td>F</td><td>F</td></tr> </tbody> </table>		AB	BA	Equals	F	F	Disjoint	T	T	Intersects	F	F	Touches	F	F	Crosses	F	F	Within	F	F	Contains	F	F	Overlaps	F	F	Covers	F	F	CoveredBy	F	F	<pre> tipo_urbano(ct1) tipo_hidro(bw1) disjoint(bw1,ct1) disjoint(ct1,bw1) east(bw1,ct1) west(ct1,bw1) north(ct1,bw1) south(bw1,ct1) </pre>
	AB	BA																																	
Equals	F	F																																	
Disjoint	T	T																																	
Intersects	F	F																																	
Touches	F	F																																	
Crosses	F	F																																	
Within	F	F																																	
Contains	F	F																																	
Overlaps	F	F																																	
Covers	F	F																																	
CoveredBy	F	F																																	
	<p>Intersection Matrix:</p> <pre> AB FF2FF1102 BA FF1FF0212 B Int Bdy Ext Int F F 2 A Bdy F F 1 Ext 1 0 2 </pre> <p>Binary Predicates:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>AB</th> <th>BA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Equals</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Disjoint</td><td>T</td><td>T</td></tr> <tr><td>Intersects</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Touches</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Crosses</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Within</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Contains</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Overlaps</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Covers</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>CoveredBy</td><td>F</td><td>F</td></tr> </tbody> </table>		AB	BA	Equals	F	F	Disjoint	T	T	Intersects	F	F	Touches	F	F	Crosses	F	F	Within	F	F	Contains	F	F	Overlaps	F	F	Covers	F	F	CoveredBy	F	F	<pre> tipo_camino(fw1) disjoint(bw1, fw1) disjoint(fw1, bw1) north(bw1, fw1) south(fw1, bw1) </pre>
	AB	BA																																	
Equals	F	F																																	
Disjoint	T	T																																	
Intersects	F	F																																	
Touches	F	F																																	
Crosses	F	F																																	
Within	F	F																																	
Contains	F	F																																	
Overlaps	F	F																																	
Covers	F	F																																	
CoveredBy	F	F																																	
	<p>Intersection Matrix:</p> <pre> AB FF2FF1102 BA FF1FF0212 B Int Bdy Ext Int F F 2 A Bdy F F 1 Ext 1 0 2 </pre> <p>Binary Predicates:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>AB</th> <th>BA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Equals</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Disjoint</td><td>T</td><td>T</td></tr> <tr><td>Intersects</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Touches</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Crosses</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Within</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Contains</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Overlaps</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Covers</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>CoveredBy</td><td>F</td><td>F</td></tr> </tbody> </table>		AB	BA	Equals	F	F	Disjoint	T	T	Intersects	F	F	Touches	F	F	Crosses	F	F	Within	F	F	Contains	F	F	Overlaps	F	F	Covers	F	F	CoveredBy	F	F	<pre> tipo_camino(hw1) disjoint(bw1, hw1) disjoint(hw1, bw1) north(hw1, bw1) south(bw1, hw1) </pre>
	AB	BA																																	
Equals	F	F																																	
Disjoint	T	T																																	
Intersects	F	F																																	
Touches	F	F																																	
Crosses	F	F																																	
Within	F	F																																	
Contains	F	F																																	
Overlaps	F	F																																	
Covers	F	F																																	
CoveredBy	F	F																																	

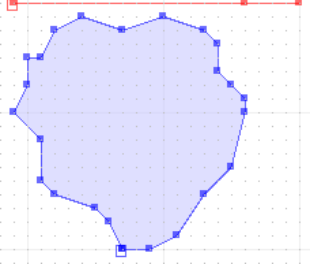
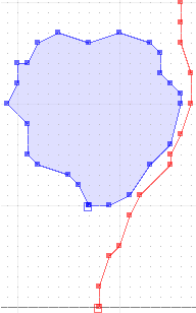
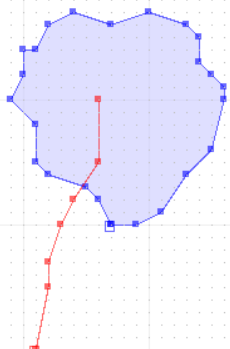
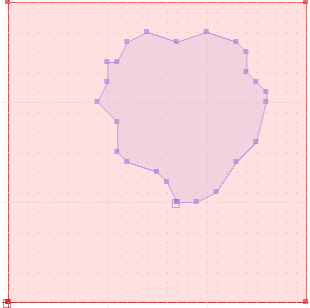
	<p>Intersection Matrix:</p> <p>AB FF2FF1102</p> <p>BA FF1FF0212</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>B</th> <th>Int</th> <th>Bdy</th> <th>Ext</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Int</td> <td>F</td> <td>F</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Bdy</td> <td>F</td> <td>F</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Ext</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table> <p>Binary Predicates:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>AB</th> <th>BA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Equals</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Disjoint</td><td>T</td><td>T</td></tr> <tr><td>Intersects</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Touches</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Crosses</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Within</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Contains</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Overlaps</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Covers</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>CoveredBy</td><td>F</td><td>F</td></tr> </tbody> </table>	B	Int	Bdy	Ext	Int	F	F	2	Bdy	F	F	1	Ext	1	0	2		AB	BA	Equals	F	F	Disjoint	T	T	Intersects	F	F	Touches	F	F	Crosses	F	F	Within	F	F	Contains	F	F	Overlaps	F	F	Covers	F	F	CoveredBy	F	F	<p>tipo_camino(hw2)</p> <p>disjoint(bw1, hw2)</p> <p>disjoint(hw2, bw1)</p> <p>east(hw2, bw1)</p> <p>west(bw1, hw2)</p>
B	Int	Bdy	Ext																																																
Int	F	F	2																																																
Bdy	F	F	1																																																
Ext	1	0	2																																																
	AB	BA																																																	
Equals	F	F																																																	
Disjoint	T	T																																																	
Intersects	F	F																																																	
Touches	F	F																																																	
Crosses	F	F																																																	
Within	F	F																																																	
Contains	F	F																																																	
Overlaps	F	F																																																	
Covers	F	F																																																	
CoveredBy	F	F																																																	
	<p>Intersection Matrix:</p> <p>AB FF2F01102</p> <p>BA FF1F00212</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>B</th> <th>Int</th> <th>Bdy</th> <th>Ext</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Int</td> <td>F</td> <td>F</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Bdy</td> <td>F</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Ext</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table> <p>Binary Predicates:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>AB</th> <th>BA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Equals</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Disjoint</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Intersects</td><td>T</td><td>T</td></tr> <tr><td>Touches</td><td>T</td><td>T</td></tr> <tr><td>Crosses</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Within</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Contains</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Overlaps</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Covers</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>CoveredBy</td><td>F</td><td>F</td></tr> </tbody> </table>	B	Int	Bdy	Ext	Int	F	F	2	Bdy	F	0	1	Ext	1	0	2		AB	BA	Equals	F	F	Disjoint	F	F	Intersects	T	T	Touches	T	T	Crosses	F	F	Within	F	F	Contains	F	F	Overlaps	F	F	Covers	F	F	CoveredBy	F	F	<p>tipo_hidro(ri1)</p> <p>intersect(bw1, ri1)</p> <p>intersect(ri1, bw1)</p> <p>touch(bw1, ri1)</p> <p>touch(ri1, bw1)</p> <p>north(bw1, ri1)</p> <p>south(ri1, bw1)</p>
B	Int	Bdy	Ext																																																
Int	F	F	2																																																
Bdy	F	0	1																																																
Ext	1	0	2																																																
	AB	BA																																																	
Equals	F	F																																																	
Disjoint	F	F																																																	
Intersects	T	T																																																	
Touches	T	T																																																	
Crosses	F	F																																																	
Within	F	F																																																	
Contains	F	F																																																	
Overlaps	F	F																																																	
Covers	F	F																																																	
CoveredBy	F	F																																																	
	<p>Intersection Matrix:</p> <p>AB 2FF11F212</p> <p>BA 212F11FF2</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>B</th> <th>Int</th> <th>Bdy</th> <th>Ext</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Int</td> <td>2</td> <td>F</td> <td>F</td> </tr> <tr> <td>Bdy</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>F</td> </tr> <tr> <td>Ext</td> <td>2</td> <td>1</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table> <p>Binary Predicates:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>AB</th> <th>BA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Equals</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Disjoint</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Intersects</td><td>T</td><td>T</td></tr> <tr><td>Touches</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Crosses</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Within</td><td>T</td><td>F</td></tr> <tr><td>Contains</td><td>F</td><td>T</td></tr> <tr><td>Overlaps</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Covers</td><td>F</td><td>T</td></tr> <tr><td>CoveredBy</td><td>T</td><td>F</td></tr> </tbody> </table>	B	Int	Bdy	Ext	Int	2	F	F	Bdy	1	1	F	Ext	2	1	2		AB	BA	Equals	F	F	Disjoint	F	F	Intersects	T	T	Touches	F	F	Crosses	F	F	Within	T	F	Contains	F	T	Overlaps	F	F	Covers	F	T	CoveredBy	T	F	<p>tipo_suelo(vg1)</p> <p>intersect(bw1, vg1)</p> <p>inside(bw1, vg1)</p> <p>cover_by(bw1, vg1)</p> <p>intersect(vg1, bw1)</p> <p>contain(vg1, bw1)</p> <p>cover_by(vg1, bw1)</p>
B	Int	Bdy	Ext																																																
Int	2	F	F																																																
Bdy	1	1	F																																																
Ext	2	1	2																																																
	AB	BA																																																	
Equals	F	F																																																	
Disjoint	F	F																																																	
Intersects	T	T																																																	
Touches	F	F																																																	
Crosses	F	F																																																	
Within	T	F																																																	
Contains	F	T																																																	
Overlaps	F	F																																																	
Covers	F	T																																																	
CoveredBy	T	F																																																	
	<p>Intersection Matrix:</p> <p>AB 2FF1FF212</p> <p>BA 212FF1FF2</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>B</th> <th>Int</th> <th>Bdy</th> <th>Ext</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Int</td> <td>2</td> <td>F</td> <td>F</td> </tr> <tr> <td>Bdy</td> <td>1</td> <td>F</td> <td>F</td> </tr> <tr> <td>Ext</td> <td>2</td> <td>1</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table> <p>Binary Predicates:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>AB</th> <th>BA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Equals</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Disjoint</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Intersects</td><td>T</td><td>T</td></tr> <tr><td>Touches</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Crosses</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Within</td><td>T</td><td>F</td></tr> <tr><td>Contains</td><td>F</td><td>T</td></tr> <tr><td>Overlaps</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Covers</td><td>F</td><td>T</td></tr> <tr><td>CoveredBy</td><td>T</td><td>F</td></tr> </tbody> </table>	B	Int	Bdy	Ext	Int	2	F	F	Bdy	1	F	F	Ext	2	1	2		AB	BA	Equals	F	F	Disjoint	F	F	Intersects	T	T	Touches	F	F	Crosses	F	F	Within	T	F	Contains	F	T	Overlaps	F	F	Covers	F	T	CoveredBy	T	F	<p>tipo_suelo(vg2)</p> <p>intersect(bw1, vg2)</p> <p>intersect(vg2, bw1)</p> <p>inside(bw1, vg2)</p> <p>cover_by(bw1, vg2)</p> <p>contain(vg2, bw1)</p> <p>cover_by(vg2, bw1)</p>
B	Int	Bdy	Ext																																																
Int	2	F	F																																																
Bdy	1	F	F																																																
Ext	2	1	2																																																
	AB	BA																																																	
Equals	F	F																																																	
Disjoint	F	F																																																	
Intersects	T	T																																																	
Touches	F	F																																																	
Crosses	F	F																																																	
Within	T	F																																																	
Contains	F	T																																																	
Overlaps	F	F																																																	
Covers	F	T																																																	
CoveredBy	T	F																																																	

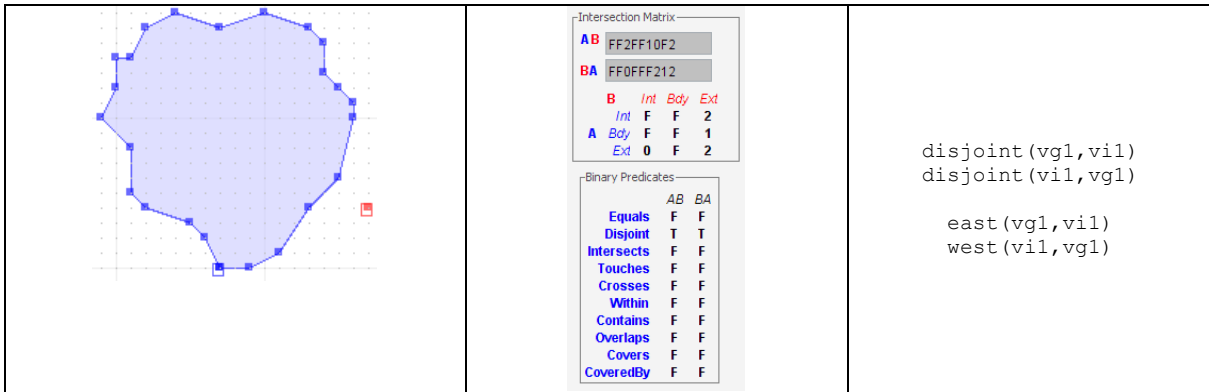
	<p>Intersection Matrix</p> <table border="1"> <tr><td>AB</td><td>FF2FF10F2</td></tr> <tr><td>BA</td><td>FF0FFF212</td></tr> <tr><td>B</td><td>Int</td><td>Bdy</td><td>Ext</td></tr> <tr><td>Int</td><td>F</td><td>F</td><td>2</td></tr> <tr><td>A</td><td>Bdy</td><td>F</td><td>1</td></tr> <tr><td>Ext</td><td>0</td><td>F</td><td>2</td></tr> </table> <p>Binary Predicates</p> <table border="1"> <tr><td></td><td>AB</td><td>BA</td></tr> <tr><td>Equals</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Disjoint</td><td>T</td><td>T</td></tr> <tr><td>Intersects</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Touches</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Crosses</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Within</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Contains</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Overlaps</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Covers</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>CoveredBy</td><td>F</td><td>F</td></tr> </table>	AB	FF2FF10F2	BA	FF0FFF212	B	Int	Bdy	Ext	Int	F	F	2	A	Bdy	F	1	Ext	0	F	2		AB	BA	Equals	F	F	Disjoint	T	T	Intersects	F	F	Touches	F	F	Crosses	F	F	Within	F	F	Contains	F	F	Overlaps	F	F	Covers	F	F	CoveredBy	F	F	<pre> tipo_urbano(v1l) disjoint(bw1,v1l) disjoint(v1l,bw1) north(bw1,v1l) south(v1l,bw1) east(v1l,bw1) west(bw1,v1l) </pre>	
AB	FF2FF10F2																																																							
BA	FF0FFF212																																																							
B	Int	Bdy	Ext																																																					
Int	F	F	2																																																					
A	Bdy	F	1																																																					
Ext	0	F	2																																																					
	AB	BA																																																						
Equals	F	F																																																						
Disjoint	T	T																																																						
Intersects	F	F																																																						
Touches	F	F																																																						
Crosses	F	F																																																						
Within	F	F																																																						
Contains	F	F																																																						
Overlaps	F	F																																																						
Covers	F	F																																																						
CoveredBy	F	F																																																						
	<p>Intersection Matrix</p> <table border="1"> <tr><td>AB</td><td>FF2FF1102</td></tr> <tr><td>BA</td><td>FF1FF0212</td></tr> <tr><td>B</td><td>Int</td><td>Bdy</td><td>Ext</td></tr> <tr><td>Int</td><td>F</td><td>F</td><td>2</td></tr> <tr><td>A</td><td>Bdy</td><td>F</td><td>1</td></tr> <tr><td>Ext</td><td>1</td><td>0</td><td>2</td></tr> </table> <p>Binary Predicates</p> <table border="1"> <tr><td></td><td>AB</td><td>BA</td></tr> <tr><td>Equals</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Disjoint</td><td>T</td><td>T</td></tr> <tr><td>Intersects</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Touches</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Crosses</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Within</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Contains</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Overlaps</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Covers</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>CoveredBy</td><td>F</td><td>F</td></tr> </table>	AB	FF2FF1102	BA	FF1FF0212	B	Int	Bdy	Ext	Int	F	F	2	A	Bdy	F	1	Ext	1	0	2		AB	BA	Equals	F	F	Disjoint	T	T	Intersects	F	F	Touches	F	F	Crosses	F	F	Within	F	F	Contains	F	F	Overlaps	F	F	Covers	F	F	CoveredBy	F	F	<pre> disjoint(ct1,fw1) disjoint(fw1,ct1) north(ct1,fw1) south(fw1,ct1) </pre>	
AB	FF2FF1102																																																							
BA	FF1FF0212																																																							
B	Int	Bdy	Ext																																																					
Int	F	F	2																																																					
A	Bdy	F	1																																																					
Ext	1	0	2																																																					
	AB	BA																																																						
Equals	F	F																																																						
Disjoint	T	T																																																						
Intersects	F	F																																																						
Touches	F	F																																																						
Crosses	F	F																																																						
Within	F	F																																																						
Contains	F	F																																																						
Overlaps	F	F																																																						
Covers	F	F																																																						
CoveredBy	F	F																																																						
	<p>Intersection Matrix</p> <table border="1"> <tr><td>AB</td><td>FF2F01102</td></tr> <tr><td>BA</td><td>FF1F00212</td></tr> <tr><td>B</td><td>Int</td><td>Bdy</td><td>Ext</td></tr> <tr><td>Int</td><td>F</td><td>F</td><td>2</td></tr> <tr><td>A</td><td>Bdy</td><td>F</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>Ext</td><td>1</td><td>0</td><td>2</td></tr> </table> <p>Binary Predicates</p> <table border="1"> <tr><td></td><td>AB</td><td>BA</td></tr> <tr><td>Equals</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Disjoint</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Intersects</td><td>T</td><td>T</td></tr> <tr><td>Touches</td><td>T</td><td>T</td></tr> <tr><td>Crosses</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Within</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Contains</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Overlaps</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Covers</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>CoveredBy</td><td>F</td><td>F</td></tr> </table>	AB	FF2F01102	BA	FF1F00212	B	Int	Bdy	Ext	Int	F	F	2	A	Bdy	F	0	1	Ext	1	0	2		AB	BA	Equals	F	F	Disjoint	F	F	Intersects	T	T	Touches	T	T	Crosses	F	F	Within	F	F	Contains	F	F	Overlaps	F	F	Covers	F	F	CoveredBy	F	F	<pre> intersect(ct1,hw1) intersect(hw1,ct1) touch(ct1,hw1) touch(hw1,ct1) east(hw1,ct1) west(ct1,hw1) </pre>
AB	FF2F01102																																																							
BA	FF1F00212																																																							
B	Int	Bdy	Ext																																																					
Int	F	F	2																																																					
A	Bdy	F	0	1																																																				
Ext	1	0	2																																																					
	AB	BA																																																						
Equals	F	F																																																						
Disjoint	F	F																																																						
Intersects	T	T																																																						
Touches	T	T																																																						
Crosses	F	F																																																						
Within	F	F																																																						
Contains	F	F																																																						
Overlaps	F	F																																																						
Covers	F	F																																																						
CoveredBy	F	F																																																						
	<p>Intersection Matrix</p> <table border="1"> <tr><td>AB</td><td>FF2FF1102</td></tr> <tr><td>BA</td><td>FF1FF0212</td></tr> <tr><td>B</td><td>Int</td><td>Bdy</td><td>Ext</td></tr> <tr><td>Int</td><td>F</td><td>F</td><td>2</td></tr> <tr><td>A</td><td>Bdy</td><td>F</td><td>1</td></tr> <tr><td>Ext</td><td>1</td><td>0</td><td>2</td></tr> </table> <p>Binary Predicates</p> <table border="1"> <tr><td></td><td>AB</td><td>BA</td></tr> <tr><td>Equals</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Disjoint</td><td>T</td><td>T</td></tr> <tr><td>Intersects</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Touches</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Crosses</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Within</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Contains</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Overlaps</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Covers</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>CoveredBy</td><td>F</td><td>F</td></tr> </table>	AB	FF2FF1102	BA	FF1FF0212	B	Int	Bdy	Ext	Int	F	F	2	A	Bdy	F	1	Ext	1	0	2		AB	BA	Equals	F	F	Disjoint	T	T	Intersects	F	F	Touches	F	F	Crosses	F	F	Within	F	F	Contains	F	F	Overlaps	F	F	Covers	F	F	CoveredBy	F	F	<pre> disjoint(ct1,hw2) disjoint(hw2,ct1) east(hw2,ct1) west(ct1,hw2) </pre>	
AB	FF2FF1102																																																							
BA	FF1FF0212																																																							
B	Int	Bdy	Ext																																																					
Int	F	F	2																																																					
A	Bdy	F	1																																																					
Ext	1	0	2																																																					
	AB	BA																																																						
Equals	F	F																																																						
Disjoint	T	T																																																						
Intersects	F	F																																																						
Touches	F	F																																																						
Crosses	F	F																																																						
Within	F	F																																																						
Contains	F	F																																																						
Overlaps	F	F																																																						
Covers	F	F																																																						
CoveredBy	F	F																																																						

	<p>Intersection Matrix:</p> <p>AB FF2FF1102 BA FF1FF0212</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>B</th> <th>Int</th> <th>Body</th> <th>Ext</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Int</td> <td>F</td> <td>F</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>A Body</td> <td>F</td> <td>F</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Ext</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table> <p>Binary Predicates:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>AB</th> <th>BA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Equals</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Disjoint</td><td>T</td><td>T</td></tr> <tr><td>Intersects</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Touches</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Crosses</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Within</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Contains</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Overlaps</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Covers</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>CoveredBy</td><td>F</td><td>F</td></tr> </tbody> </table>	B	Int	Body	Ext	Int	F	F	2	A Body	F	F	1	Ext	1	0	2		AB	BA	Equals	F	F	Disjoint	T	T	Intersects	F	F	Touches	F	F	Crosses	F	F	Within	F	F	Contains	F	F	Overlaps	F	F	Covers	F	F	CoveredBy	F	F	<pre>disjoint(ct1,ril) disjoint(ril,ct1) north(ct1,ril) south(ril,ct1) east(ril,ct1) west(ct1,ril)</pre>
B	Int	Body	Ext																																																
Int	F	F	2																																																
A Body	F	F	1																																																
Ext	1	0	2																																																
	AB	BA																																																	
Equals	F	F																																																	
Disjoint	T	T																																																	
Intersects	F	F																																																	
Touches	F	F																																																	
Crosses	F	F																																																	
Within	F	F																																																	
Contains	F	F																																																	
Overlaps	F	F																																																	
Covers	F	F																																																	
CoveredBy	F	F																																																	
	<p>Intersection Matrix:</p> <p>AB 2FF1FF212 BA 212FF1FF2</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>B</th> <th>Int</th> <th>Body</th> <th>Ext</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Int</td> <td>2</td> <td>F</td> <td>F</td> </tr> <tr> <td>A Body</td> <td>1</td> <td>F</td> <td>F</td> </tr> <tr> <td>Ext</td> <td>2</td> <td>1</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table> <p>Binary Predicates:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>AB</th> <th>BA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Equals</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Disjoint</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Intersects</td><td>T</td><td>T</td></tr> <tr><td>Touches</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Crosses</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Within</td><td>T</td><td>F</td></tr> <tr><td>Contains</td><td>F</td><td>T</td></tr> <tr><td>Overlaps</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Covers</td><td>F</td><td>T</td></tr> <tr><td>CoveredBy</td><td>T</td><td>F</td></tr> </tbody> </table>	B	Int	Body	Ext	Int	2	F	F	A Body	1	F	F	Ext	2	1	2		AB	BA	Equals	F	F	Disjoint	F	F	Intersects	T	T	Touches	F	F	Crosses	F	F	Within	T	F	Contains	F	T	Overlaps	F	F	Covers	F	T	CoveredBy	T	F	<pre>intersect(ct1,vg2) intersect(vg2,ct1) inside(ct1,vg2) cover_by(ct1,vg2) contain(vg2,ct1) cover_by(vg2,ct1)</pre>
B	Int	Body	Ext																																																
Int	2	F	F																																																
A Body	1	F	F																																																
Ext	2	1	2																																																
	AB	BA																																																	
Equals	F	F																																																	
Disjoint	F	F																																																	
Intersects	T	T																																																	
Touches	F	F																																																	
Crosses	F	F																																																	
Within	T	F																																																	
Contains	F	T																																																	
Overlaps	F	F																																																	
Covers	F	T																																																	
CoveredBy	T	F																																																	
	<p>Intersection Matrix:</p> <p>AB FF2FF10F2 BA FF0FFF212</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>B</th> <th>Int</th> <th>Body</th> <th>Ext</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Int</td> <td>F</td> <td>F</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>A Body</td> <td>F</td> <td>F</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Ext</td> <td>0</td> <td>F</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table> <p>Binary Predicates:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>AB</th> <th>BA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Equals</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Disjoint</td><td>T</td><td>T</td></tr> <tr><td>Intersects</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Touches</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Crosses</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Within</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Contains</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Overlaps</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Covers</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>CoveredBy</td><td>F</td><td>F</td></tr> </tbody> </table>	B	Int	Body	Ext	Int	F	F	2	A Body	F	F	1	Ext	0	F	2		AB	BA	Equals	F	F	Disjoint	T	T	Intersects	F	F	Touches	F	F	Crosses	F	F	Within	F	F	Contains	F	F	Overlaps	F	F	Covers	F	F	CoveredBy	F	F	<pre>disjoint(ct1,vil) disjoint(vil,ct1) east(ct1,vil) west(vil,ct1)</pre>
B	Int	Body	Ext																																																
Int	F	F	2																																																
A Body	F	F	1																																																
Ext	0	F	2																																																
	AB	BA																																																	
Equals	F	F																																																	
Disjoint	T	T																																																	
Intersects	F	F																																																	
Touches	F	F																																																	
Crosses	F	F																																																	
Within	F	F																																																	
Contains	F	F																																																	
Overlaps	F	F																																																	
Covers	F	F																																																	
CoveredBy	F	F																																																	
	<p>Intersection Matrix:</p> <p>AB 0F1FF0102 BA 0F1FF0102</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>B</th> <th>Int</th> <th>Body</th> <th>Ext</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Int</td> <td>0</td> <td>F</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>A Body</td> <td>F</td> <td>F</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Ext</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table> <p>Binary Predicates:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>AB</th> <th>BA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Equals</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Disjoint</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Intersects</td><td>T</td><td>T</td></tr> <tr><td>Touches</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Crosses</td><td>T</td><td>T</td></tr> <tr><td>Within</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Contains</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Overlaps</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Covers</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>CoveredBy</td><td>F</td><td>F</td></tr> </tbody> </table>	B	Int	Body	Ext	Int	0	F	1	A Body	F	F	0	Ext	1	0	2		AB	BA	Equals	F	F	Disjoint	F	F	Intersects	T	T	Touches	F	F	Crosses	T	T	Within	F	F	Contains	F	F	Overlaps	F	F	Covers	F	F	CoveredBy	F	F	<pre>intersect(hw2,fw1) intersect(fw1,hw2) cross(fw1,hw2) cross(hw2,fw1)</pre>
B	Int	Body	Ext																																																
Int	0	F	1																																																
A Body	F	F	0																																																
Ext	1	0	2																																																
	AB	BA																																																	
Equals	F	F																																																	
Disjoint	F	F																																																	
Intersects	T	T																																																	
Touches	F	F																																																	
Crosses	T	T																																																	
Within	F	F																																																	
Contains	F	F																																																	
Overlaps	F	F																																																	
Covers	F	F																																																	
CoveredBy	F	F																																																	

	<p>Intersection Matrix</p> <p>AB DF1FF0102</p> <p>BA DF1FF0102</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>B</th> <th>Int</th> <th>Body</th> <th>Ext</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Int</td> <td>0</td> <td>F</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Body</td> <td>F</td> <td>F</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Ext</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table> <p>Binary Predicates</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>AB</th> <th>BA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Equals</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Disjoint</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Intersects</td><td>T</td><td>T</td></tr> <tr><td>Touches</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Crosses</td><td>T</td><td>T</td></tr> <tr><td>Within</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Contains</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Overlaps</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Covers</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>CoveredBy</td><td>F</td><td>F</td></tr> </tbody> </table>	B	Int	Body	Ext	Int	0	F	1	Body	F	F	0	Ext	1	0	2		AB	BA	Equals	F	F	Disjoint	F	F	Intersects	T	T	Touches	F	F	Crosses	T	T	Within	F	F	Contains	F	F	Overlaps	F	F	Covers	F	F	CoveredBy	F	F	<pre>intersect (fw1,ril) intersect (ril,fw1) cross (fw1,ril) cross (ril,fw1)</pre>
B	Int	Body	Ext																																																
Int	0	F	1																																																
Body	F	F	0																																																
Ext	1	0	2																																																
	AB	BA																																																	
Equals	F	F																																																	
Disjoint	F	F																																																	
Intersects	T	T																																																	
Touches	F	F																																																	
Crosses	T	T																																																	
Within	F	F																																																	
Contains	F	F																																																	
Overlaps	F	F																																																	
Covers	F	F																																																	
CoveredBy	F	F																																																	
	<p>Intersection Matrix</p> <p>AB DF1FF0FF2</p> <p>BA DFFFFFF102</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>B</th> <th>Int</th> <th>Body</th> <th>Ext</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Int</td> <td>0</td> <td>F</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Body</td> <td>F</td> <td>F</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Ext</td> <td>F</td> <td>F</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table> <p>Binary Predicates</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>AB</th> <th>BA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Equals</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Disjoint</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Intersects</td><td>T</td><td>T</td></tr> <tr><td>Touches</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Crosses</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Within</td><td>F</td><td>T</td></tr> <tr><td>Contains</td><td>T</td><td>F</td></tr> <tr><td>Overlaps</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Covers</td><td>T</td><td>F</td></tr> <tr><td>CoveredBy</td><td>F</td><td>T</td></tr> </tbody> </table>	B	Int	Body	Ext	Int	0	F	1	Body	F	F	0	Ext	F	F	2		AB	BA	Equals	F	F	Disjoint	F	F	Intersects	T	T	Touches	F	F	Crosses	F	F	Within	F	T	Contains	T	F	Overlaps	F	F	Covers	T	F	CoveredBy	F	T	<pre>intersect (fw1,vil) intersect (vil,fw1) contain (fw1,vil) cover_by (fw1,vil) inside (vil,fw1) cover_by (vil,fw1)</pre>
B	Int	Body	Ext																																																
Int	0	F	1																																																
Body	F	F	0																																																
Ext	F	F	2																																																
	AB	BA																																																	
Equals	F	F																																																	
Disjoint	F	F																																																	
Intersects	T	T																																																	
Touches	F	F																																																	
Crosses	F	F																																																	
Within	F	T																																																	
Contains	T	F																																																	
Overlaps	F	F																																																	
Covers	T	F																																																	
CoveredBy	F	T																																																	
	<p>Intersection Matrix</p> <p>AB FF1FF0102</p> <p>BA FF1FF0102</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>B</th> <th>Int</th> <th>Body</th> <th>Ext</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Int</td> <td>F</td> <td>F</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Body</td> <td>F</td> <td>F</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Ext</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table> <p>Binary Predicates</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>AB</th> <th>BA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Equals</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Disjoint</td><td>T</td><td>T</td></tr> <tr><td>Intersects</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Touches</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Crosses</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Within</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Contains</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Overlaps</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Covers</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>CoveredBy</td><td>F</td><td>F</td></tr> </tbody> </table>	B	Int	Body	Ext	Int	F	F	1	Body	F	F	0	Ext	1	0	2		AB	BA	Equals	F	F	Disjoint	T	T	Intersects	F	F	Touches	F	F	Crosses	F	F	Within	F	F	Contains	F	F	Overlaps	F	F	Covers	F	F	CoveredBy	F	F	<pre>disjoint (hw1,fw1) disjoint (fw1,hw1) north (hw1,fw1) south (fw1,hw1)</pre>
B	Int	Body	Ext																																																
Int	F	F	1																																																
Body	F	F	0																																																
Ext	1	0	2																																																
	AB	BA																																																	
Equals	F	F																																																	
Disjoint	T	T																																																	
Intersects	F	F																																																	
Touches	F	F																																																	
Crosses	F	F																																																	
Within	F	F																																																	
Contains	F	F																																																	
Overlaps	F	F																																																	
Covers	F	F																																																	
CoveredBy	F	F																																																	
	<p>Intersection Matrix</p> <p>AB DF1FF0102</p> <p>BA DF1FF0102</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>B</th> <th>Int</th> <th>Body</th> <th>Ext</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Int</td> <td>0</td> <td>F</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Body</td> <td>F</td> <td>F</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Ext</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table> <p>Binary Predicates</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>AB</th> <th>BA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Equals</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Disjoint</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Intersects</td><td>T</td><td>T</td></tr> <tr><td>Touches</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Crosses</td><td>T</td><td>T</td></tr> <tr><td>Within</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Contains</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Overlaps</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Covers</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>CoveredBy</td><td>F</td><td>F</td></tr> </tbody> </table>	B	Int	Body	Ext	Int	0	F	1	Body	F	F	0	Ext	1	0	2		AB	BA	Equals	F	F	Disjoint	F	F	Intersects	T	T	Touches	F	F	Crosses	T	T	Within	F	F	Contains	F	F	Overlaps	F	F	Covers	F	F	CoveredBy	F	F	<pre>intersect (hw1,hw2) intersect (hw2,hw1) cross (hw1,hw2) cross (hw2,hw1)</pre>
B	Int	Body	Ext																																																
Int	0	F	1																																																
Body	F	F	0																																																
Ext	1	0	2																																																
	AB	BA																																																	
Equals	F	F																																																	
Disjoint	F	F																																																	
Intersects	T	T																																																	
Touches	F	F																																																	
Crosses	T	T																																																	
Within	F	F																																																	
Contains	F	F																																																	
Overlaps	F	F																																																	
Covers	F	F																																																	
CoveredBy	F	F																																																	

	<p>Intersection Matrix:</p> <p>AB FF1FF0102 BA FF1FF0102</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>B</th> <th>Int</th> <th>Bdy</th> <th>Ext</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Int</td> <td>F</td> <td>F</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Bdy</td> <td>F</td> <td>F</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Ext</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table> <p>Binary Predicates:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>AB</th> <th>BA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Equals</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Disjoint</td><td>T</td><td>T</td></tr> <tr><td>Intersects</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Touches</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Crosses</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Within</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Contains</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Overlaps</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Covers</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>CoveredBy</td><td>F</td><td>F</td></tr> </tbody> </table>	B	Int	Bdy	Ext	Int	F	F	1	Bdy	F	F	0	Ext	1	0	2		AB	BA	Equals	F	F	Disjoint	T	T	Intersects	F	F	Touches	F	F	Crosses	F	F	Within	F	F	Contains	F	F	Overlaps	F	F	Covers	F	F	CoveredBy	F	F	<p>disjoint(hw2,ri1) disjoint(ri1,hw2)</p> <p>east(ri1,hw2) west(hw2,ri1)</p>
B	Int	Bdy	Ext																																																
Int	F	F	1																																																
Bdy	F	F	0																																																
Ext	1	0	2																																																
	AB	BA																																																	
Equals	F	F																																																	
Disjoint	T	T																																																	
Intersects	F	F																																																	
Touches	F	F																																																	
Crosses	F	F																																																	
Within	F	F																																																	
Contains	F	F																																																	
Overlaps	F	F																																																	
Covers	F	F																																																	
CoveredBy	F	F																																																	
	<p>Intersection Matrix:</p> <p>AB FF1FF00F2 BA FF0FFF102</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>B</th> <th>Int</th> <th>Bdy</th> <th>Ext</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Int</td> <td>F</td> <td>F</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Bdy</td> <td>F</td> <td>F</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Ext</td> <td>0</td> <td>F</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table> <p>Binary Predicates:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>AB</th> <th>BA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Equals</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Disjoint</td><td>T</td><td>T</td></tr> <tr><td>Intersects</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Touches</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Crosses</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Within</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Contains</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Overlaps</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Covers</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>CoveredBy</td><td>F</td><td>F</td></tr> </tbody> </table>	B	Int	Bdy	Ext	Int	F	F	1	Bdy	F	F	0	Ext	0	F	2		AB	BA	Equals	F	F	Disjoint	T	T	Intersects	F	F	Touches	F	F	Crosses	F	F	Within	F	F	Contains	F	F	Overlaps	F	F	Covers	F	F	CoveredBy	F	F	<p>disjoint(hw2,vi1) disjoint(vi1,hw2)</p> <p>east(hw2,vi1) west(vi1,hw2)</p>
B	Int	Bdy	Ext																																																
Int	F	F	1																																																
Bdy	F	F	0																																																
Ext	0	F	2																																																
	AB	BA																																																	
Equals	F	F																																																	
Disjoint	T	T																																																	
Intersects	F	F																																																	
Touches	F	F																																																	
Crosses	F	F																																																	
Within	F	F																																																	
Contains	F	F																																																	
Overlaps	F	F																																																	
Covers	F	F																																																	
CoveredBy	F	F																																																	
	<p>Intersection Matrix:</p> <p>AB FF2FF1212 BA FF2FF1212</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>B</th> <th>Int</th> <th>Bdy</th> <th>Ext</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Int</td> <td>F</td> <td>F</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Bdy</td> <td>F</td> <td>F</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Ext</td> <td>2</td> <td>1</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table> <p>Binary Predicates:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>AB</th> <th>BA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Equals</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Disjoint</td><td>T</td><td>T</td></tr> <tr><td>Intersects</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Touches</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Crosses</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Within</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Contains</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Overlaps</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Covers</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>CoveredBy</td><td>F</td><td>F</td></tr> </tbody> </table>	B	Int	Bdy	Ext	Int	F	F	2	Bdy	F	F	1	Ext	2	1	2		AB	BA	Equals	F	F	Disjoint	T	T	Intersects	F	F	Touches	F	F	Crosses	F	F	Within	F	F	Contains	F	F	Overlaps	F	F	Covers	F	F	CoveredBy	F	F	<p>disjoint(vg1,ct1) disjoint(ct1,vg1)</p> <p>east(ct1,vg1) west(vg1,ct1)</p> <p>north(ct1,vg1) south(vg1,ct1)</p>
B	Int	Bdy	Ext																																																
Int	F	F	2																																																
Bdy	F	F	1																																																
Ext	2	1	2																																																
	AB	BA																																																	
Equals	F	F																																																	
Disjoint	T	T																																																	
Intersects	F	F																																																	
Touches	F	F																																																	
Crosses	F	F																																																	
Within	F	F																																																	
Contains	F	F																																																	
Overlaps	F	F																																																	
Covers	F	F																																																	
CoveredBy	F	F																																																	
	<p>Intersection Matrix:</p> <p>AB FF2FF1102 BA FF1FF0212</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>B</th> <th>Int</th> <th>Bdy</th> <th>Ext</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Int</td> <td>F</td> <td>F</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Bdy</td> <td>F</td> <td>F</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Ext</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table> <p>Binary Predicates:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>AB</th> <th>BA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Equals</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Disjoint</td><td>T</td><td>T</td></tr> <tr><td>Intersects</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Touches</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Crosses</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Within</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Contains</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Overlaps</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Covers</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>CoveredBy</td><td>F</td><td>F</td></tr> </tbody> </table>	B	Int	Bdy	Ext	Int	F	F	2	Bdy	F	F	1	Ext	1	0	2		AB	BA	Equals	F	F	Disjoint	T	T	Intersects	F	F	Touches	F	F	Crosses	F	F	Within	F	F	Contains	F	F	Overlaps	F	F	Covers	F	F	CoveredBy	F	F	<p>disjoint(vg1,fw1) disjoint(fw1,vg1)</p> <p>north(vg1,fw1) south(fw1,vg1)</p>
B	Int	Bdy	Ext																																																
Int	F	F	2																																																
Bdy	F	F	1																																																
Ext	1	0	2																																																
	AB	BA																																																	
Equals	F	F																																																	
Disjoint	T	T																																																	
Intersects	F	F																																																	
Touches	F	F																																																	
Crosses	F	F																																																	
Within	F	F																																																	
Contains	F	F																																																	
Overlaps	F	F																																																	
Covers	F	F																																																	
CoveredBy	F	F																																																	

	<p>Intersection Matrix</p> <p>AB FF2FF1102</p> <p>BA FF1FF0212</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>B</th> <th>Int</th> <th>Bdy</th> <th>Ext</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Int</td> <td>F</td> <td>F</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Bdy</td> <td>F</td> <td>F</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Ext</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table> <p>Binary Predicates</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>AB</th> <th>BA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Equals</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Disjoint</td><td>T</td><td>T</td></tr> <tr><td>Intersects</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Touches</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Crosses</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Within</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Contains</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Overlaps</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Covers</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>CoveredBy</td><td>F</td><td>F</td></tr> </tbody> </table>	B	Int	Bdy	Ext	Int	F	F	2	Bdy	F	F	1	Ext	1	0	2		AB	BA	Equals	F	F	Disjoint	T	T	Intersects	F	F	Touches	F	F	Crosses	F	F	Within	F	F	Contains	F	F	Overlaps	F	F	Covers	F	F	CoveredBy	F	F	<p>disjoint (vg1, hw1)</p> <p>disjoint (hw1, vg1)</p> <p>north (hw1, vg1)</p> <p>south (vg1, hw1)</p>
B	Int	Bdy	Ext																																																
Int	F	F	2																																																
Bdy	F	F	1																																																
Ext	1	0	2																																																
	AB	BA																																																	
Equals	F	F																																																	
Disjoint	T	T																																																	
Intersects	F	F																																																	
Touches	F	F																																																	
Crosses	F	F																																																	
Within	F	F																																																	
Contains	F	F																																																	
Overlaps	F	F																																																	
Covers	F	F																																																	
CoveredBy	F	F																																																	
	<p>Intersection Matrix</p> <p>AB FF2FF1102</p> <p>BA FF1FF0212</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>B</th> <th>Int</th> <th>Bdy</th> <th>Ext</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Int</td> <td>F</td> <td>F</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Bdy</td> <td>F</td> <td>F</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Ext</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table> <p>Binary Predicates</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>AB</th> <th>BA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Equals</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Disjoint</td><td>T</td><td>T</td></tr> <tr><td>Intersects</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Touches</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Crosses</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Within</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Contains</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Overlaps</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Covers</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>CoveredBy</td><td>F</td><td>F</td></tr> </tbody> </table>	B	Int	Bdy	Ext	Int	F	F	2	Bdy	F	F	1	Ext	1	0	2		AB	BA	Equals	F	F	Disjoint	T	T	Intersects	F	F	Touches	F	F	Crosses	F	F	Within	F	F	Contains	F	F	Overlaps	F	F	Covers	F	F	CoveredBy	F	F	<p>disjoint (vg1, hw2)</p> <p>disjoint (hw2, vg1)</p> <p>east (vg1, hw2)</p> <p>west (hw2, vg1)</p>
B	Int	Bdy	Ext																																																
Int	F	F	2																																																
Bdy	F	F	1																																																
Ext	1	0	2																																																
	AB	BA																																																	
Equals	F	F																																																	
Disjoint	T	T																																																	
Intersects	F	F																																																	
Touches	F	F																																																	
Crosses	F	F																																																	
Within	F	F																																																	
Contains	F	F																																																	
Overlaps	F	F																																																	
Covers	F	F																																																	
CoveredBy	F	F																																																	
	<p>Intersection Matrix</p> <p>AB 1020F1102</p> <p>BA 1010F0212</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>B</th> <th>Int</th> <th>Bdy</th> <th>Ext</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Int</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Bdy</td> <td>0</td> <td>F</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Ext</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table> <p>Binary Predicates</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>AB</th> <th>BA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Equals</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Disjoint</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Intersects</td><td>T</td><td>T</td></tr> <tr><td>Touches</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Crosses</td><td>T</td><td>T</td></tr> <tr><td>Within</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Contains</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Overlaps</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Covers</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>CoveredBy</td><td>F</td><td>F</td></tr> </tbody> </table>	B	Int	Bdy	Ext	Int	1	0	2	Bdy	0	F	1	Ext	1	0	2		AB	BA	Equals	F	F	Disjoint	F	F	Intersects	T	T	Touches	F	F	Crosses	T	T	Within	F	F	Contains	F	F	Overlaps	F	F	Covers	F	F	CoveredBy	F	F	<p>intersect (vg1, ril)</p> <p>intersect (ril, vg1)</p> <p>cross (vg1, ril)</p> <p>cross (ril, vg1)</p>
B	Int	Bdy	Ext																																																
Int	1	0	2																																																
Bdy	0	F	1																																																
Ext	1	0	2																																																
	AB	BA																																																	
Equals	F	F																																																	
Disjoint	F	F																																																	
Intersects	T	T																																																	
Touches	F	F																																																	
Crosses	T	T																																																	
Within	F	F																																																	
Contains	F	F																																																	
Overlaps	F	F																																																	
Covers	F	F																																																	
CoveredBy	F	F																																																	
	<p>Intersection Matrix</p> <p>AB 2FF1FF212</p> <p>BA 212FF1FF2</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>B</th> <th>Int</th> <th>Bdy</th> <th>Ext</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Int</td> <td>2</td> <td>F</td> <td>F</td> </tr> <tr> <td>Bdy</td> <td>1</td> <td>F</td> <td>F</td> </tr> <tr> <td>Ext</td> <td>2</td> <td>1</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table> <p>Binary Predicates</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>AB</th> <th>BA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Equals</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Disjoint</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Intersects</td><td>T</td><td>T</td></tr> <tr><td>Touches</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Crosses</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Within</td><td>T</td><td>F</td></tr> <tr><td>Contains</td><td>F</td><td>T</td></tr> <tr><td>Overlaps</td><td>F</td><td>F</td></tr> <tr><td>Covers</td><td>F</td><td>T</td></tr> <tr><td>CoveredBy</td><td>T</td><td>F</td></tr> </tbody> </table>	B	Int	Bdy	Ext	Int	2	F	F	Bdy	1	F	F	Ext	2	1	2		AB	BA	Equals	F	F	Disjoint	F	F	Intersects	T	T	Touches	F	F	Crosses	F	F	Within	T	F	Contains	F	T	Overlaps	F	F	Covers	F	T	CoveredBy	T	F	<p>intersect (vg1, vg2)</p> <p>intersect (vg2, vg1)</p> <p>inside (vg1, vg2)</p> <p>cover_by (vg1, vg2)</p> <p>contain (vg2, vg1)</p> <p>cover_by (vg2, vg1)</p>
B	Int	Bdy	Ext																																																
Int	2	F	F																																																
Bdy	1	F	F																																																
Ext	2	1	2																																																
	AB	BA																																																	
Equals	F	F																																																	
Disjoint	F	F																																																	
Intersects	T	T																																																	
Touches	F	F																																																	
Crosses	F	F																																																	
Within	T	F																																																	
Contains	F	T																																																	
Overlaps	F	F																																																	
Covers	F	T																																																	
CoveredBy	T	F																																																	



De acuerdo con los predicados binarios que arroja la matriz de intersección, los valores indican las relaciones que describen la *semántica* de los objetos geográficos de la región geoespacial Figura 5.63; en otras palabras, el comportamiento que tienen estas entidades dentro del mundo real.

Con base en los valores obtenidos del proceso de análisis topológico y la verificación de estas relaciones descritas explícitamente en el diagrama simbólico, se puede aplicar el algoritmo para la generación de la plantilla descripción, el cual ha sido descrito en la Tabla 4.17. A continuación

A continuación, en la Tabla 5.13 se muestra la descripción semántica completa de la región geoespacial de la Figura 5.63.

Tabla 5.13. Descripción correspondiente a la región geoespacial mostrada en la Figura 5.63

```
{[ciudad](ct1) <disjoint> [cuerpo de agua](bw1) to the north
  <disjoint> [carretera](fw1)
  <disjoint> [autopista](hw2)
  <disjoint> [rio](ril)
  <disjoint> [pastizal](vg1)
  <disjoint> [villa](vil)
  <intersect> [autopista](hw1)
  <intersect> [bosque](vg2)
  <touch> [autopista](hw1)
  <within> [bosque](vg2)
  <cover by> [bosque](vg2)};

{[cuerpo de agua](bw1) <disjoint> [ciudad](ct1) to the east
  <disjoint> [carretera](fw1)
  <disjoint> [autopista](hw1)
  <disjoint> [autopista](hw2)
  <disjoint> [villa](vil)
  <intersect> [rio](ril)
  <intersect> [bosque](vg2)
  <intersect> [pastizal](vg1)
  <within> [pastizal](vg1)
  <within> [bosque](vg2)
  <touch> [rio](ril)
  <cover by> [pastizal](vg1)
  <cover by> [bosque](vg2)};
```

```

{[pastizal] (vg1) <disjoint> [ciudad] (ct1) to the north
  <disjoint> [carretera] (fw1)
  <disjoint> [autopista] (hw1)
  <disjoint> [autopista] (hw2)
  <disjoint> [villa] (vil)
  <intersect> [cuerpo de agua] (bw1)
  <intersect> [rio] (ril)
  <intersect> [bosque] (vg2)
  <contain> [cuerpo de agua] (bw1)
  <within> [bosque] (vg2)
  <cross> [rio] (ril)
  <cover by> [bosque] (vg2)
  <cover> [cuerpo de agua] (bw1)};

{[autopista] (hw1) <disjoint> [cuerpo de agua] (bw1) to the east
  <disjoint> [carretera] (fw1)
  <disjoint> [pastizal] (vg1)
  <intersect> [ciudad] (ct1)
  <intersect> [autopista] (hw2)
  <touch> [ciudad] (ct1)
  <cross> [autopista] (hw2)};

{[autopista] (hw2) <disjoint> [cuerpo de agua] (bw1) to the west
  <disjoint> [ciudad] (ct1)
  <disjoint> [rio] (ril)
  <disjoint> [villa] (vil)
  <disjoint> [pastizal] (vg1)
  <intersect> [carretera] (fw1)
  <intersect> [autopista] (hw1)
  <cross> [carretera] (fw1)
  <cross> [autopista] (hw1)};

{[villa] (vil) <disjoint> [cuerpo de agua] (bw1) to the west
  <disjoint> [ciudad] (ct1)
  <disjoint> [autopista] (hw2)
  <disjoint> [pastizal] (vg1)
  <intersect> [carretera] (fw1)
  <within> [carretera] (fw1)
  <cover by> [carretera] (fw1)};

{[carretera] (fw1) <disjoint> [cuerpo de agua] (bw1) to the north
  <disjoint> [ciudad] (ct1)
  <disjoint> [autopista] (hw1)
  <disjoint> [pastizal] (vg1)
  <intersect> [autopista] (hw2)
  <intersect> [villa] (vil)
  <intersect> [rio] (ril)
  <cross> [rio] (ril)
  <contain> [villa] (vil)
  <cover> [villa] (vil)};

{[rio] (ril) <intersect> [cuerpo de agua] (bw1) to the south
  <intersect> [carretera] (fw1)
  <intersect> [pastizal] (vg1)
  <disjoint> [autopista] (hw2)
  <disjoint> [ciudad] (ct1)
  <cross> [carretera] (fw1)
  <cross> [pastizal] (vg1)
  <touch> [cuerpo de agua] (bw1)};

{[bosque] (vg2) <intersect> [cuerpo de agua] (bw1) to the east
  <intesection> [ciudad] (ct1)
  <intersect> [pastizal] (vg1)
  <contain> [cuerpo de agua] (bw1)
  <contain> [ciudad] (ct1)
  <contain> [pastizal] (vg1)
  <cover> [cuerpo de agua] (bw1)
  <cover> [ciudad] (ct1)
  <cover> [pastizal] (vg1)};

```

Por último, se muestra en la Tabla 5.14 la plantilla de descripción semántica en XML de la región geoespacial analizada. Esta descripción corresponde a la mostrada en la Tabla 5.13. Cabe señalar que con ésta es posible compartir, compactar e integrar datos geoespaciales en forma transparente; por lo tanto, con esta plantilla es posible transferir datos geoespaciales entre diferentes grupos y usuarios.

Tabla 5.14. Plantilla de descripción semántica en formato XML del ejemplo 2

```

<GEOGRAPHIC_DOMAIN>
  <!--Spatial Reference -->
  <SPATIAL_REFERENCE>
    <DATUM />
    <ESFEROIDE />
    <ESCALA />
    <PROYECCION />
    <SISCOORD />
    <COORDEXT />
  </SPATIAL_REFERENCE>

  <!--Geographic Object -->
  <GEOGRAPHIC_OBJECT>
    <PUNCTUAL>
      <object theme="urbano" id="#P00001">
        vil
        <name>Villa</name>
        <wkt>POINT (110 120)</wkt>
      </object>
    </PUNCTUAL>

    <LINEAR>
      <object theme="camino" id="#L00001">
        fw1
        <name>Carretera FW1</name>
        <wkt> LINESTRING (0 20, 10 30, 30 50, 50 60, 160 70,
          210 70, 230 80, 250 100, 260 120, 270 140, 280 160,
          290 170)</wkt>
      </object>
      <object theme="camino" id="#L00002">
        hwl
        <name>Autopista HW1</name>
        <wkt> LINESTRING (90 280, 260 280, 300 280)</wkt>
      </object>
      <object theme="camino" id="#L00003">
        hw2
        <name>Autopista HW2</name>
        <wkt> LINESTRING (180 0, 180 20, 190 50, 200 60, 210
          90, 220 110, 250 140, 250 150, 260 170, 270 200, 270
          230, 260 260, 260 280, 260 300)</wkt>
      </object>
      <object theme="hidrologico" id="#L00004">
        ril
        <name>Rio RI1</name>
        <wkt> LINESTRING (110 0, 120 50, 120 70, 130 100, 140
          120, 160 150, 160 200)</wkt>
      </object>
    </LINEAR>

    <AREAL>
      <object theme="suelo" id="#A00001">
        vgl
        <name>Pastizal VG1</name>
        <wkt> POLYGON (170 100, 190 100, 210 110, 230 140, 250
          160, 260 200, 260 210, 250 220, 240 230, 240 250, 230
          260, 200 270, 170 260, 140 270, 120 260, 110 240, 100

```

```

                240, 100 220, 90 200, 110 180, 110 150, 120 140, 150
                130, 160 120, 170 100)</wkt>
</object>
<object theme="suelo" id="#A00002">
  vg2
  <name>Bosque VG2</name>
  <wkt> POLYGON (0 0, 300 0, 300 300, 0 300, 0 0)</wkt>
</object>
<object theme="hidrologico" id="#A00003">
  bwl
  <name>Cuerpo de Agua BW1</name>
  <wkt> POLYGON (170 170, 190 170, 240 180, 260 200, 260
                210, 250 220, 240 230, 230 240, 220 240, 210 230, 200
                240, 190 260, 170 260, 140 270, 120 260, 110 240, 110
                230, 130 220, 140 210, 150 210, 160 200,170 170)</wkt>
</object>
<object theme="urbano" id="#A00004">
  ct1
  <name>Ciudad CT1</name>
  <wkt> POLYGON (20 230, 30 230, 30 240, 40 250, 50 250,
                50 240, 60 240, 70 250, 70 270, 90 280, 90 290, 60
                290, 50 280, 40 280, 30 290, 20 280, 20 270, 10 260,
                10 240, 20 230)</wkt>
</object>
</AREAL>
</GEOGRAPHIC_OBJECT>

<!-- Measurement -->
<MEASUREMENT>
  <SIMPLE>
    <DISJOINT>
      <R ob01="#A00004" ob02="#A00003" />
      <R ob03="#A00004" ob04="#L00001" />
      <R ob05="#A00004" ob06="#L00003" />
      <R ob07="#A00004" ob08="#L00004" />
      <R ob09="#A00004" ob10="#A00001" />
      <R ob11="#A00004" ob12="#P00001" />
      <R ob13="#A00003" ob14="#A00004" />
      <R ob15="#A00003" ob16="#L00001" />
      <R ob17="#A00003" ob18="#L00002" />
      <R ob19="#A00003" ob20="#L00003" />
      <R ob21="#A00003" ob22="#P00001" />
      <R ob23="#A00001" ob24="#P00001" />
      <R ob25="#A00001" ob26="#L00001" />
      <R ob27="#A00001" ob28="#L00002" />
      <R ob29="#A00001" ob30="#L00003" />
      <R ob31="#A00001" ob32="#P00001" />
      <R ob33="#L00002" ob34="#A00003" />
      <R ob35="#L00002" ob36="#L00001" />
      <R ob37="#L00002" ob38="#A00001" />
      <R ob39="#L00003" ob40="#A00003" />
      <R ob41="#L00003" ob42="#A00004" />
      <R ob43="#L00003" ob44="#L00004" />
      <R ob45="#L00003" ob46="#P00001" />
      <R ob47="#L00003" ob48="#L00002" />
      <R ob49="#P00001" ob50="#A00003" />
      <R ob51="#P00001" ob52="#A00004" />
      <R ob53="#P00001" ob54="#L00003" />
      <R ob55="#P00001" ob56="#A00001" />
      <R ob57="#L00001" ob58="#A00003" />
      <R ob59="#L00001" ob60="#A00004" />
      <R ob61="#L00001" ob62="#L00002" />
      <R ob63="#L00001" ob64="#A00001" />
      <R ob65="#L00004" ob66="#L00003" />
      <R ob67="#L00004" ob68="#A00004" />
    </DISJOINT>

    <INTERSECT>
      <R ob01="#A00004" ob02="#L00002" />
      <R ob03="#A00004" ob04="#A00002" />
      <R ob05="#A00003" ob06="#L00004" />
    </INTERSECT>
  </SIMPLE>
</MEASUREMENT>

```

```

<R ob07="#A00003" ob08="#A00002" />
<R ob09="#A00003" ob10="#A00001" />
<R ob11="#A00001" ob12="#A00003" />
<R ob13="#A00001" ob14="#L00004" />
<R ob15="#A00001" ob16="#A00002" />
<R ob17="#L00002" ob18="#A00004" />
<R ob19="#L00002" ob20="#L00003" />
<R ob21="#L00003" ob22="#L00001" />
<R ob23="#L00003" ob24="#L00002" />
<R ob25="#P00001" ob26="#L00001" />
<R ob27="#L00001" ob28="#L00003" />
<R ob29="#L00001" ob30="#P00001" />
<R ob31="#L00001" ob32="#L00004" />
<R ob33="#L00004" ob34="#A00004" />
<R ob35="#L00004" ob36="#L00001" />
<R ob37="#L00004" ob38="#A00001" />
<R ob39="#A00002" ob40="#A00003" />
<R ob41="#A00002" ob42="#A00004" />
<R ob43="#A00002" ob44="#A00001" />
</INTERSECT>

<CONTAIN>
<R ob01="#A00001" ob02="#A00003" />
<R ob03="#L00001" ob04="#P00001" />
<R ob05="#A00002" ob06="#A00003" />
<R ob07="#A00002" ob08="#A00004" />
<R ob09="#A00002" ob10="#A00001" />
</CONTAIN>

<WITHIN>
<R ob01="#A00004" ob02="#A00002" />
<R ob03="#A00003" ob04="#A00001" />
<R ob05="#A00003" ob06="#A00002" />
<R ob07="#A00001" ob08="#A00002" />
<R ob09="#A00003" ob10="#A00002" />
<R ob11="#P00001" ob12="#L00001" />
</WITHIN>

<TOUCH>
<R ob01="#A00004" ob02="#L00002" />
<R ob03="#A00003" ob04="#L00004" />
<R ob05="#L00002" ob06="#A00004" />
<R ob07="#L00004" ob08="#A00003" />
</TOUCH>

<COVER_BY>
<R ob01="#A00004" ob02="#A00002" />
<R ob03="#A00003" ob04="#A00001" />
<R ob05="#A00003" ob06="#A00002" />
<R ob07="#A00001" ob08="#A00002" />
<R ob09="#P00001" ob10="#L00001" />
</COVER_BY>

<CROSS>
<R ob01="#A00001" ob02="#L00004" />
<R ob03="#L00002" ob04="#L00003" />
<R ob05="#L00003" ob06="#L00001" />
<R ob07="#L00003" ob08="#L00002" />
<R ob09="#L00001" ob10="#L00004" />
<R ob11="#L00004" ob12="#L00001" />
<R ob13="#L00004" ob14="#A00001" />
</CROSS>

<COVER>
<R ob01="#L00001" ob02="#P00001" />
<R ob03="#A00002" ob04="#A00003" />
<R ob05="#A00002" ob06="#A00004" />
<R ob07="#A00002" ob08="#A00001" />
<R ob09="#A00001" ob10="#A00003" />
</COVER>
</SIMPLE>

```

```

<GEOMETRIC>
  <NORTH>
    <R ob01="#A00004" ob02="#A00003" />
    <R ob03="#A00001" ob04="#A00004" />
    <R ob05="#L00001" ob06="#A00003" />
  </NORTH>

  <SOUTH>
    <R ob01="#L00004" ob02="#A00003" />
  </SOUTH>

  <EAST>
    <R ob01="#A00002" ob02="#A00003" />
    <R ob03="#A00003" ob04="#A00004" />
    <R ob05="#L00002" ob06="#A00003" />
  </EAST>

  <WEST>
    <R ob01="#L00003" ob02="#A00003" />
    <R ob03="#P00001" ob04="#A00003" />
  </WEST>
</GEOMETRIC>

<COMPLEX>
</COMPLEX>

</MEASUREMENT>
</GEOGRAPHIC_DOMAIN>

```

5.4 Recuperación de objetos geográficos utilizando *Kaab-Ontology*

En esta sección se describen algunos resultados obtenidos con respecto a la recuperación de objetos geográficos utilizando *Kaab-Ontology*. En otras palabras, de acuerdo con el planteamiento realizado en la sección 4.9, se implementó un mecanismo de consulta (recuperación de instancias de conceptos geográficos), con el objeto de acceder a una ontología en OWL, a través de Jena.

Este proceso arrojó como resultado, la generación de un modelo persistente para extraer instancias de conceptos correspondientes a un criterio de búsqueda descrito por medio de consultas en SPARQL.

Posteriormente, las instancias de conceptos recuperadas son vinculadas, por medio de un identificador único con un *shapefile*, con el fin de recuperar o extraer los objetos geográficos que coinciden con las instancias obtenidas de la consulta.

En el caso de que existan instancias con su correspondiente representación espacial; éstas son visualizadas en una aplicación *web-mapping*.

Por otro lado, la aplicación *web-mapping* utiliza un servidor de mapas (ALOVMAP) y publica las representaciones espaciales de instancias, contenidas en el *shapefile*, ofreciendo las herramientas básicas y esenciales para manipulación de datos geoespaciales en una página web y utilizando como dispositivo de codificación JSPs.

De esta forma, las consultas que fueron implementadas en SPARQL reflejan el contenido semántico que posee la ontología; puesto que se realizan búsquedas directamente sobre conceptos en forma explícita y se utilizan relaciones definidas en la ontología como criterios de búsqueda.

Este mecanismo, es una alternativa para acceder en forma transparente a una ontología, y considerar la riqueza implícita de una conceptualización para la extracción de datos; en este caso instancias de conceptos.

Cabe señalar que las consultas implementadas operan directamente con relaciones; es decir, los criterios de búsqueda se basan esencialmente en las relaciones que se encuentran descritas en la ontología.

A continuación se muestran algunos resultados que se han obtenido, al realizar consultas sobre la ontología de aplicación del contexto turístico.

En la Figura 5.64, se muestran las instancias de conceptos obtenidos al recuperar instancias que corresponden a **Bares que tiene el Hotel AcapulcoDiana**. En otras palabras, “**Bar**” es un *Concepto*, el término “**tiene**” es una *relación* definida en la ontología, “**Hotel**” es un *Concepto* y “**AcapulcoDiana**” es una instancia que pertenece al concepto “**Hotel**”.

De igual forma, en la Figura 5.65, se muestra el resultado de la consulta SPARQL que se devuelve al preguntar por el “**tipoComida**” que el “**Restaurante**” de nombre “**HardRock**” ofrece. En este caso, La relación para la instancia “*Tachiros*” del concepto “*Restaurante*” es una propiedad “*tipoComida*”.

Por otra parte, en la Figura 5.66 se muestra una consulta SPARQL que devuelve como resultado de búsqueda la dirección de la instancia “**CruzRoja**”, la cual es un concepto que pertenece a “**Hospital**”.

De esta misma forma, en la Figura 5.67 se despliega una consulta SPARQL, la cual devuelve como resultado de búsqueda en la ontología, todas las instancias correspondientes al concepto “Hotel” con su respectivo costo por habitación; en donde “CostoHabitacion” es una propiedad de las instancias y éstas aparecen ordenadas de menor a mayor precio.

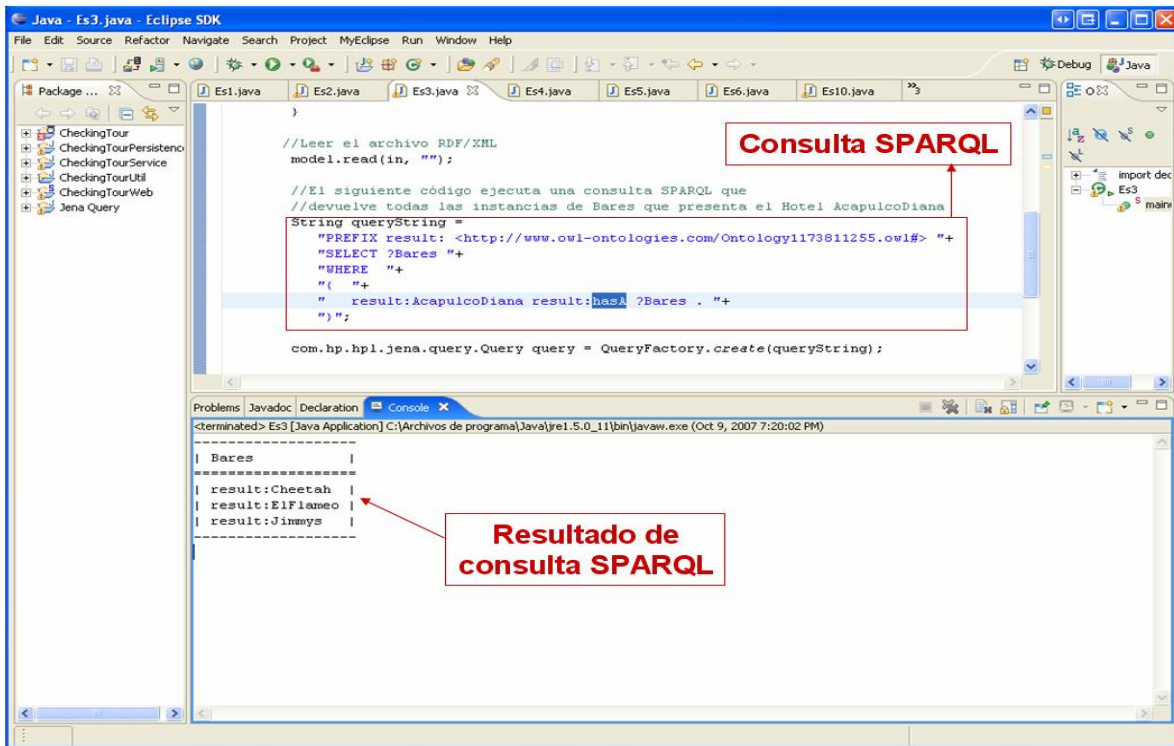


Figura 5.64. Consulta SPARQL que devuelve instancias de conceptos referentes a Bares que tiene el Hotel Acapulco Diana

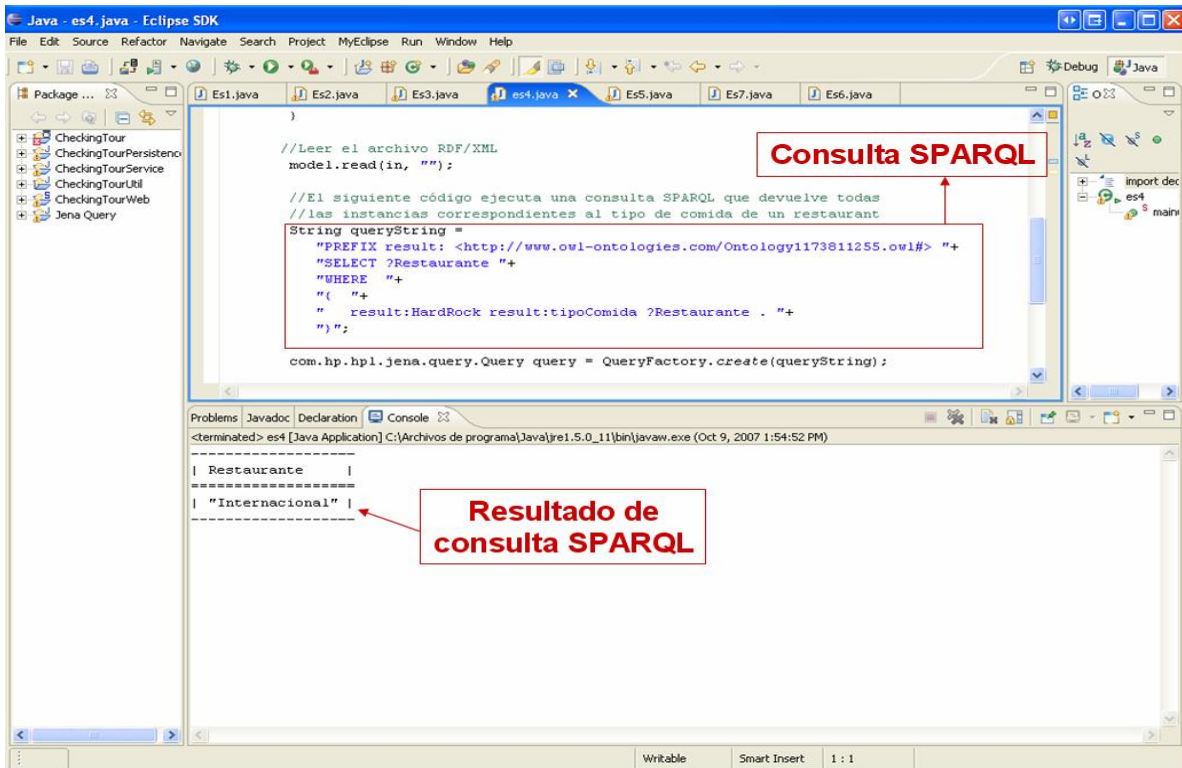


Figura 5.65. Consulta SPARQL que devuelve el valor de la propiedad “tipoComida” para la instancia “HardRock”, perteneciente al concepto “Restaurante”

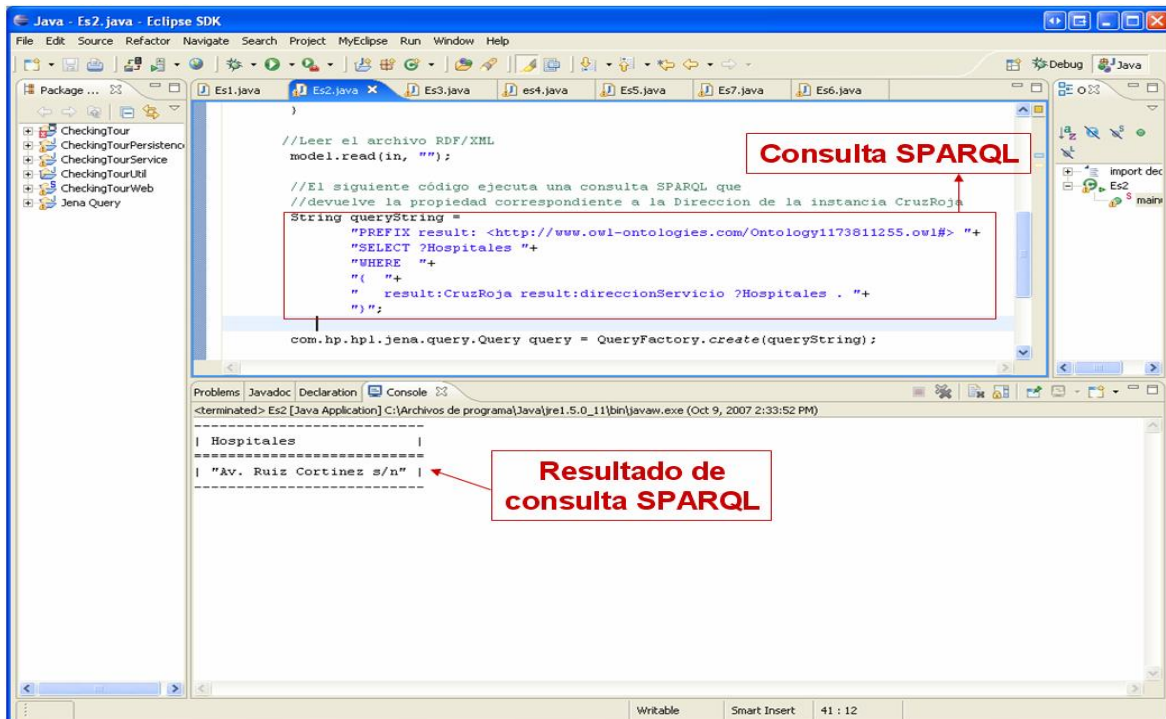


Figura 5.66. Consulta SPARQL que devuelve la instancia concreta que corresponde a la instancia “CruzRoja”, la cual pertenece al concepto “Hospital”

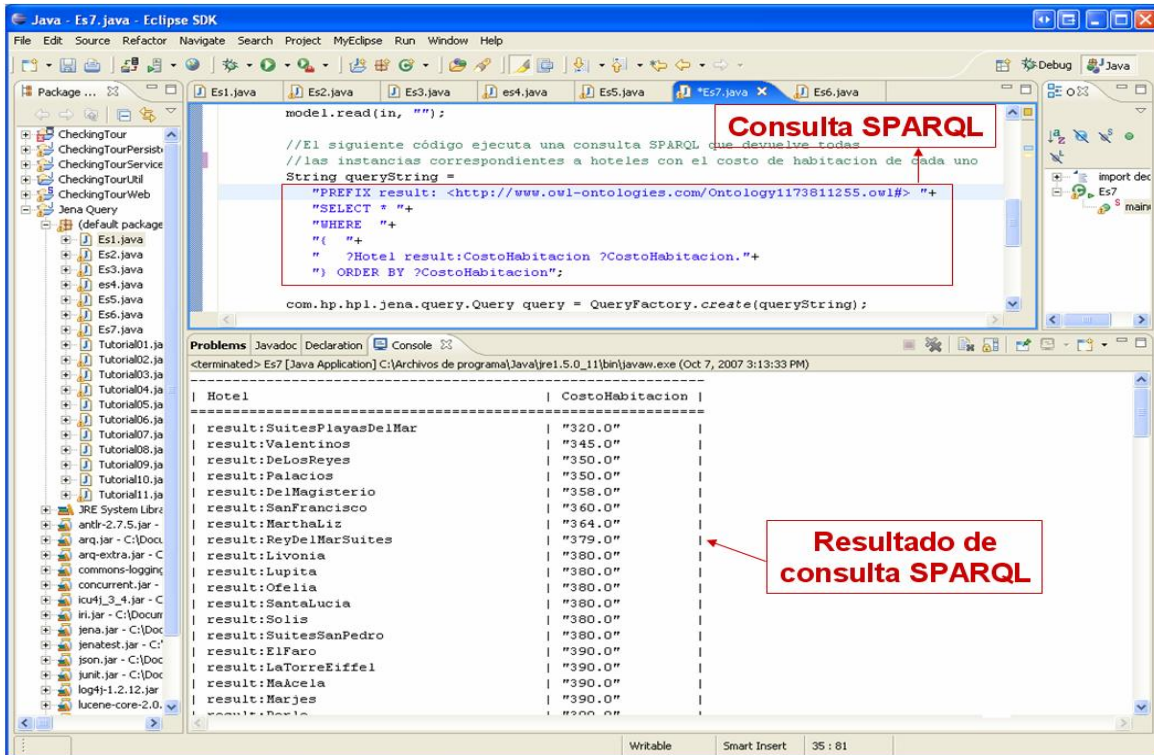


Figura 5.67. Consulta SPARQL que devuelve todas las instancias concretas que corresponden al concepto “Hotel”, con su respectivo costo por habitación, en donde “CostoHabitacion” es una propiedad del concepto

Por otra parte, es posible recuperar todas las instancias que se encuentran definidas explícitamente en la ontología, tal es el caso del concepto “**Hotel**”.

En la Figura 5.68 se muestra un fragmento de las instancias que retorna la consulta SPARQL cuando se busca recuperar todas las instancias del concepto mencionado.

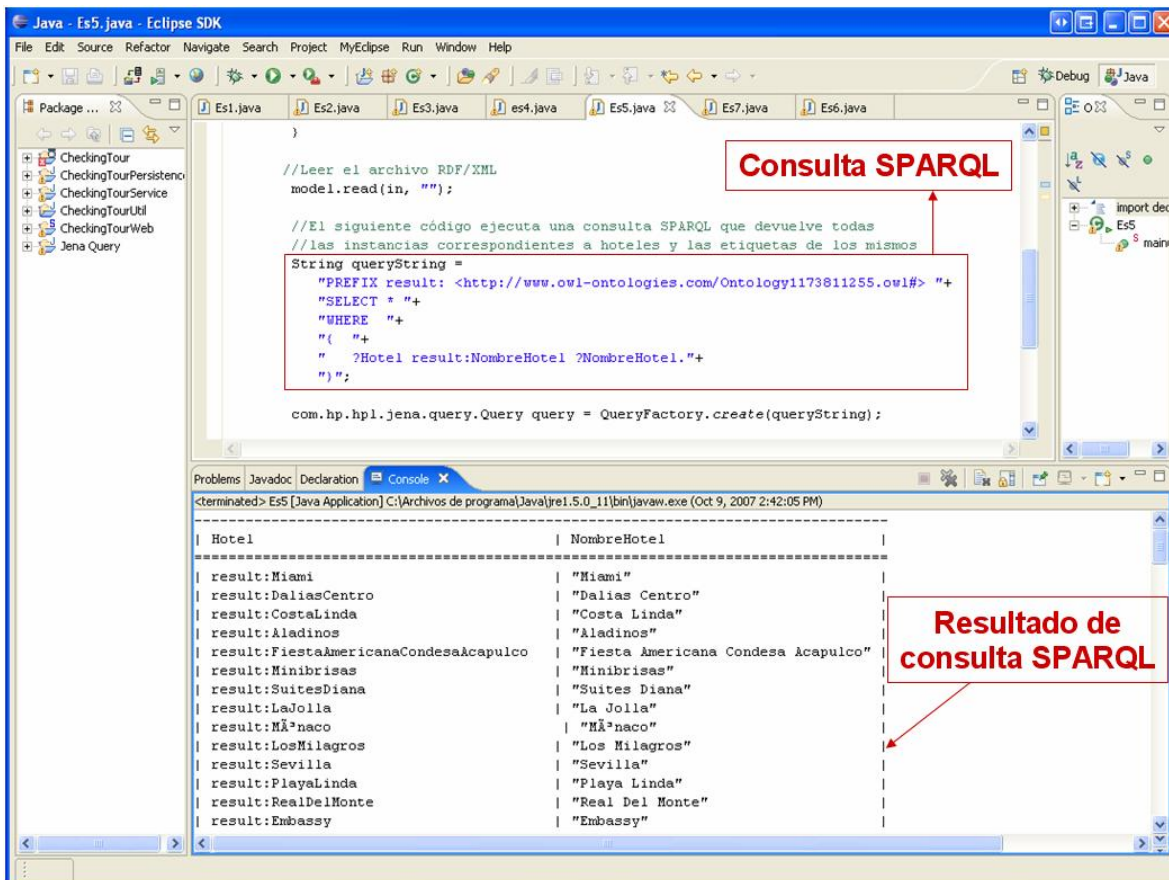


Figura 5.68. Instancias pertenecientes al concepto “Hotel” de la ontología de aplicación del contexto turístico

De acuerdo con los objetivos de recuperación, es posible utilizar un conjunto de filtros que se adecuen con algún tipo de criterio de búsqueda en la ontología.

Para tal fin, en la Figura 5.69 se muestra el resultado que retorna una consulta SPARQL cuando se necesita recuperar las instancias del concepto “Hotel”, en donde el costo de habitación oscile entre los 1100 y 1200 pesos. En este caso, se accede a una propiedad del concepto para realizar la búsqueda de instancias.

Por último, en la Figura 5.70 se muestra el resultado que devuelve la consulta SPARQL, correspondiente a las instancias del concepto “Hotel” que tienen un costo por habitación menor a 500 pesos. Las instancias además aparecen ordenadas en forma descendente.

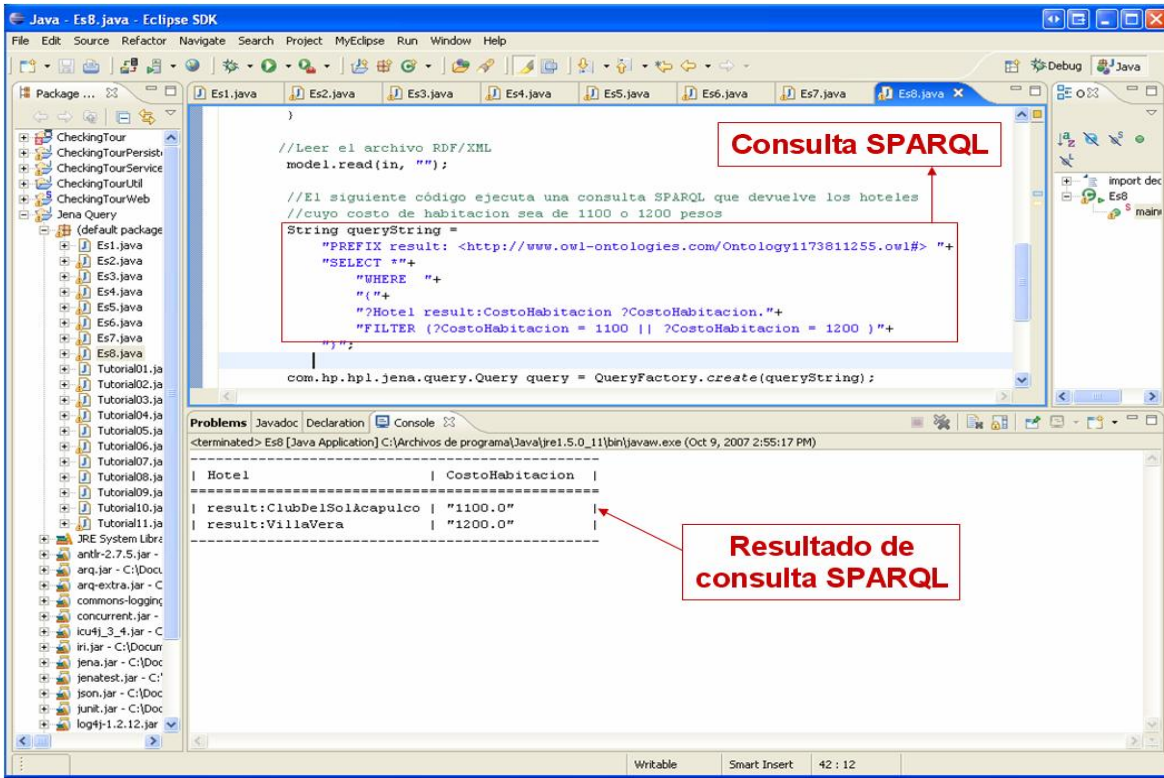


Figura 5.69. Consulta SPARQL que retorna las instancias concretas que corresponden al concepto “Hotel”, de acuerdo con el criterio de costo de habitación que oscile entre 1100 y 1200 pesos

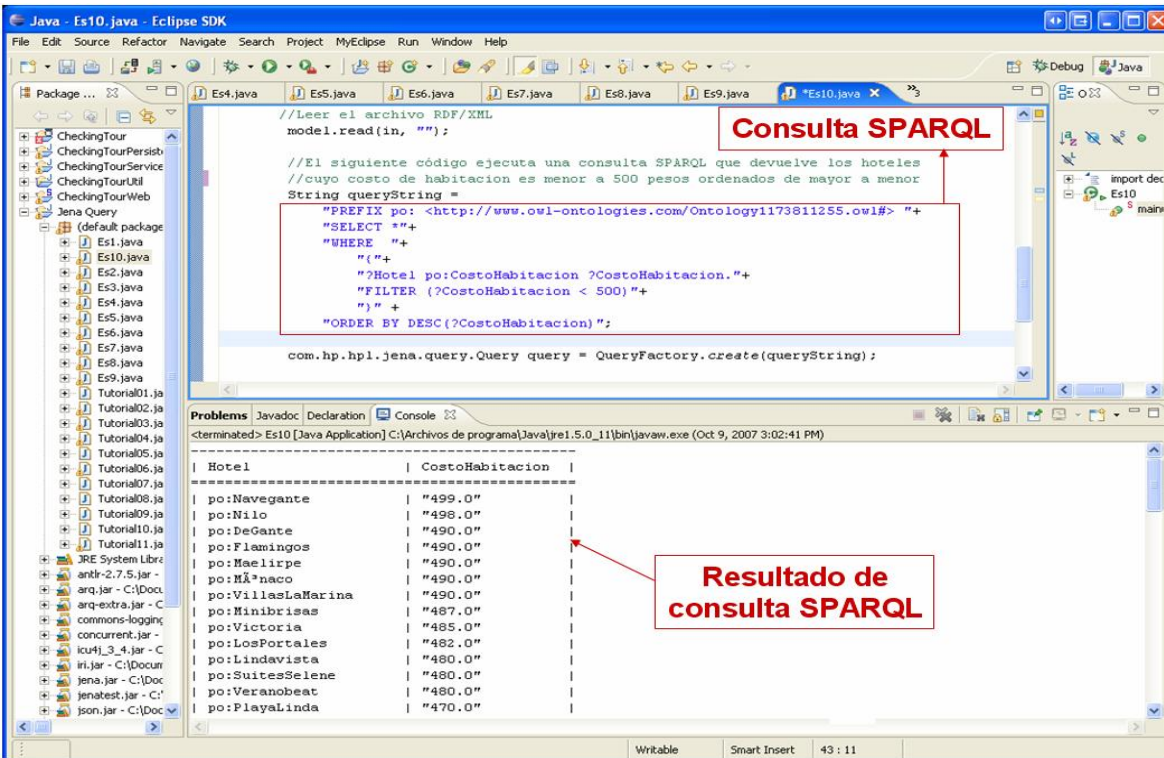


Figura 5.70. Consulta SPARQL que retorna las instancias concretas que corresponden al concepto “Hotel”, de acuerdo con el criterio de costo de habitación menor a 500 pesos y ordenadas en forma descendente

Por otra parte, en la Figura 5.71 se muestra el resultado visual a través de la aplicación *web-mapping*, con respecto a la consulta SPARQL de la instancia “AcapulcoDiana” del concepto “Hotel”.

The screenshot shows a web browser window with the URL `http://148.204.45.55:8080/CeekingTourWeb/muestraHotel.do?sel=playa`. The main content area is divided into three parts:

- Map:** A map of Acapulco with a red circle highlighting the location of 'Acapulco Diana'. A red arrow points from this circle to the information panel.
- Table:** A table with columns: On Map, ID, IDHOTEL, NOMBREHOTEL, CATEGORIA, DIRECCIÓN, and TELEFONO. The first row shows: map, 147, 147, Acapulco Diana, 3 estrellas, Franc. Pizarro 58, 564545.
- Information Panel:** A detailed view for 'Hotel Acapulco Diana' with the following data:

Hotel	Habitaciones	Estrellas	
Acapulco Diana	50	3	CERRAR

Services Extra: Doctor (\$), Agencia de Viajes (\$), Arrendadora de Autos, Nifera (\$), Lavandería (\$), Room Service (\$)

Dirección: Francisco Pizarro 58

Tipos de actividades: Actividades Recreativas, Actividades Acuáticas

Características de las Habitaciones: Precio: 575.0 \$ MN

Características: Espaciosa, tipo colonial

Servicios de Habitación: Camas matrimoniales y king-size, clima individual, cocinetas, tv-cable, frigobar, telefono y muebles coloniales

Telefono: 56-45-45

Figura 5.71. Resultado visual en la aplicación *web-mapping* de la consulta SPARQL de la instancia “AcapulcoDiana” del concepto “Hotel”

Asimismo, se observa en la Figura 5.71 que se devuelve el mapa correspondiente a la instancia “AcapulcoDiana”; así como todas las características descriptivas correspondientes a ésta.

Esto se hace utilizando el servidor de mapas ALOVMAP, devolviendo como resultado un JSP que contiene los valores espaciales y descriptivos de la consulta del *shapefile*.

Por otra parte, en la Figura 5.72, se muestra el resultado de la consulta SPARQL, utilizando la aplicación *web-mapping*.

En este caso, se puede observar que se recuperan los valores atributivos y la representación espacial de la instancia “**Hard Rock**”, la cual pertenece al concepto “**Restaurante**”.

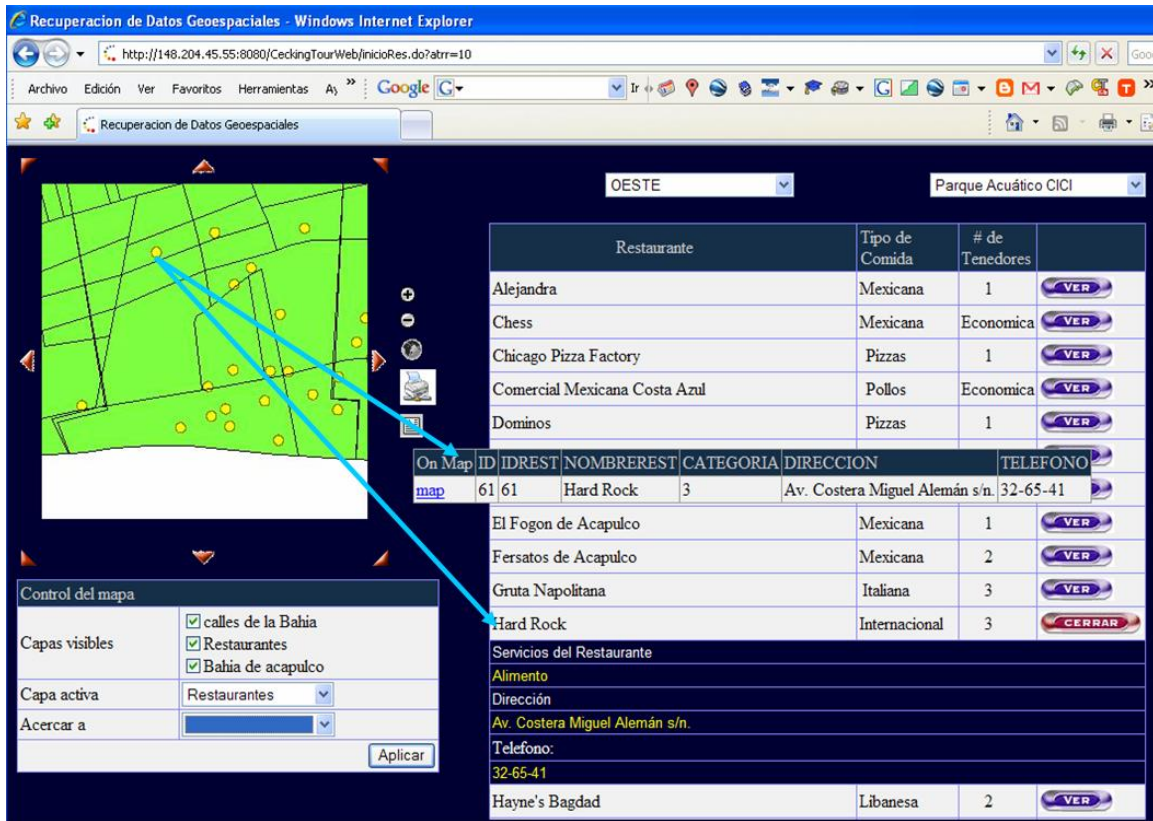


Figura 5.72. Resultado visual en la aplicación *web-mapping* de la consulta SPARQL de la instancia “HardRock” del concepto “Restaurante”

Como conclusiones a este capítulo, se han presentado y descrito los resultados correspondientes a la metodología para conceptualizar el dominio geográfico.

Los resultados presentados incluyen el diseño de las ontologías, basándose en la técnica **GEONTO –MET**; así como el modelado de estas ontologías utilizando el sistema Protégé.

Las ontologías de aplicación que fueron diseñadas bajo esta metodología, fueron dos: la primera con respecto al contexto topográfico y la segunda orientada al contexto turístico. Estas ontologías forman parte de la ontología de dominio geográfico *Kaab-Ontology*.

De igual forma, se describió y ejemplificó la forma de generar el esquema conceptual para obtener una vista lógica y funcional de la ontología de dominio geográfico, considerando este esquema como una abstracción de *Kaab-Ontology*.

Asimismo, se utilizó este esquema para generar descripciones simbólicas de una región geoespacial a conceptualizar.

De esta forma, utilizando la descripción simbólica se aplican los algoritmos correspondientes para generar tanto la descripción semántica, como la plantilla de descripción en XML para compartir e integrar información geoespacial.

Por último, en este capítulo se incluyen los resultados correspondientes al mecanismo diseñado e implementado para la recuperación de objetos geográficos, utilizando la ontología de dominio geográfico *Kaab-Ontology*.

En este caso, se utiliza una API denominada Jena de Java para generar un modelo persistente de OWL para acceder a la ontología, y por medio de consultas en SPARQL recuperar instancias y valores de propiedades de éstas referentes a un concepto geográfico, el cual se encuentra definido y descrito explícitamente en *Kaab-Ontology*.

Posteriormente, las instancias recuperadas con este tipo de consulta, pueden ser visualizadas utilizando una aplicación *web-mapping* diseñada para este fin, en donde esta aplicación describe los elementos descriptivos y espaciales referentes a la instancia recuperada de la consulta SPARQL.

Capítulo 6. Conclusiones

En la presente tesis se ha descrito el desarrollo de una metodología general para conceptualizar el dominio geográfico, por medio de la técnica denominada **GEONTO – MET**, la cual es la aportación más importante de este trabajo de investigación. Dicha metodología está compuesta de cuatro etapas:

Análisis, la cual arroja como resultado un modelo de abstracción sobre los posibles objetos que integran el dominio geográfico. **Síntesis** con la cual se obtiene como resultado la conceptualización del dominio geográfico. **Procesamiento** es la etapa utilizada para obtener como resultado un conjunto de ontologías de aplicación (contexto turístico y topográfico) y una ontología de dominio denominada *Kaab-Ontology*, y la última etapa de **Descripción** en la cual se obtiene como resultado una representación alterna a los objetos geográficos; así como la integración de los mismos en una plantilla semántica de descripción.

Como parte de los ejemplos mostrados en el Capítulo 5 para verificar la técnica desarrollada, se ha implementado una ontología de dominio geográfico (*Kaab-Ontology*), en la cual es posible discernir conjuntos de clases que se consideran esenciales para este dominio. Los conceptos y relaciones de esta ontología, se fundamentan principalmente en los diccionarios de datos del INEGI. De igual forma, se han diseñado e implementado dos tipos de ontologías de aplicación, orientadas a diferentes contextos dentro del dominio geográfico. La descripción de estas estructuras está basada esencialmente en los metadatos que provee el INEGI como fuente de información para el desarrollo de bases de datos geográficas.

Por otra parte, es importante señalar que las ontologías de aplicación desarrolladas en este trabajo, utilizando la metodología formal de diseño propuesta, cumplen con los requisitos de los expertos de dominio para su uso. En otras palabras, estas ontologías reflejan la *conceptualización* real de cada uno de los contextos a los cuales apuntan y describen en forma explícita la semántica de cada uno de los elementos que componen ese entorno.

Una de las bondades que ofrece la metodología diseñada es que al contar con una estructura general basada en clases de entidades abstractas, es posible clasificar y coleccionar diversos conceptos geográficos que definen a un contexto; así como las relaciones explícitas que los distinguen, con el objeto de extraer la *semántica* que ofrece el mapeo de conceptos a través de sus relaciones. En este sentido las *restricciones* definidas en *Kaab-Ontology* juegan un rol preponderante para dar validez a la definición de un concepto geográfico de acuerdo con la relación que le pertenece; es decir, las restricciones en la ontología de dominio geográfico se utilizan para discernir el vínculo que refleja el comportamiento de un concepto geográfico, para que éste sea válido y coherente con el conocimiento *a priori* del ser humano.

De acuerdo con lo anterior, el hecho de construir ontologías de aplicación acordes con diversos contextos alimenta la conceptualización del dominio geográfico, con lo cual se enriquece *Kaab-Ontology*, en el sentido de contar con semántica basada en la granularidad de la misma ontología, considerando para esto una *especialización* de conceptos.

Por otra parte, GEONTO – MET es una metodología de conceptualización basada en un conjunto *mínimo* de relaciones axiomáticas, lo cual permite traducir las relaciones entre conceptos directamente a la conceptualización, con la ventaja de obtener una resolución semántica mayor o más refinada en la definición de tales relaciones. La minimización de las relaciones axiomáticas se logra al utilizar únicamente un par de conjuntos de relaciones, con las cuales es posible definir el resto de relaciones presentes en el dominio geográfico.

El origen esencial de contar con este mecanismo de minimización se debe a que en el dominio geográfico, la *semántica* en la mayoría de los casos no solo se obtiene del *significado* de los conceptos geográficos, sino en gran parte del *comportamiento* que estos conceptos describen entre sí, por lo cual las relaciones indican estas características que le dan un enfoque de entendimiento más amplio a la conceptualización e incrementan la resolución semántica de la misma.

Cabe señalar que aunque la metodología para la conceptualización del dominio geográfico ha sido creada con una visión general de la representación del conocimiento, en esta tesis se presenta para cubrir las necesidades específicas de dicho dominio; aunque pudiera ésta ser aplicada para otros, su funcionalidad fuera del ámbito geográfico no ha sido explorada todavía.

La metodología propuesta puede ser vista como una analogía al modelo orientado objetos, al menos en la definición de las relaciones axiomáticas, lo cual hace que prácticamente cualquier tipo de fenómeno geográfico pueda ser modelado ontológicamente, con un conjunto mínimo de axiomas que permiten la conceptualización de este entorno.

Con base en los elementos que conforman a la metodología desarrollada, se propone una definición de *ontología del dominio geográfico* como “una teoría lógica definida en un lenguaje formal y representada por un vocabulario explícito que se basa en dos conjuntos con el número mínimo de relaciones axiomáticas, las cuales sirven para interpretar y entender entidades del mundo geográfico que pueden ser conceptualizadas”. En este sentido los conceptos geográficos que integran la ontología de dominio contienen propiedades que describen características implícitas de éstos, a lo cual es posible especializar instancias de diversos tipos de conceptos, tales como relacionales, estándar y de clase.

Por lo tanto, con esta metodología se pretende que personas no expertas en el dominio geográfico puedan realizar una conceptualización de alguna región geográfica, con base en el conocimiento *a priori* y general sobre este entorno, con lo cual GEONTO – MET tiene como objetivo decodificar o descubrir la semántica del vocabulario explícito que define a la ontología para que las personas ajenas al contexto puedan interpretar y entender esta conceptualización en términos generales.

En este sentido, se cree que el lenguaje utilizado para la construcción de una conceptualización proporciona las reglas sintácticas y gramaticales para el manejo de los términos dentro de la ontología y que éstos sean legibles para su interpretación y entendimiento.

Con respecto a lo anterior, entonces se puede concluir que la relación directa de una ontología y una conceptualización se realiza a través de un *lenguaje*, el cual utiliza un *vocabulario* como medio de interpretación. Con la relación de estos elementos se genera un *compromiso ontológico* que define el rol en cómo los seres humanos por medio de su sistema cognitivo perciben los objetos geográficos del mundo real y cómo pueden entender la *semántica* reflejada por los mismos.

Desde los tiempos de Aristóteles la ontología ha sido vista como parte de la existencia del ser; sin embargo, en un sentido computacional no se involucran este tipo de cuestiones, al menos como parte fundamental en la definición de este término; sino que ésta

se diseña para asistir en la tarea de especificar y clarificar los conceptos empleados en un dominio dado, y formalizar los conceptos dentro del marco de una teoría formal con una estructura lógica (sintáctica y semántica) bien entendida y definida.

En este trabajo también se aporta una definición formal para determinar la *vecindad de un concepto geográfico*, partiendo de un conjunto de ideas intuitivas para generar una definición lógica de este término; con lo cual es posible buscar todos los elementos que *rodean* el entorno de un concepto geográfico.

Es posible que esta definición pueda auxiliar en un futuro a encontrar más que ideas intuitivas y orientaciones para definir el significado formal del *contexto*. De esta forma, partiendo de las características esenciales de la vecindad de conceptos pueda evocarse o determinarse directamente el contexto al cual pertenece un concepto geográfico, en forma natural, tal como lo hacen los seres humanos cuando reaccionan al preguntarse sobre cosas relacionadas a un concepto geográfico en particular.

En este sentido, en esta tesis se piensa que el significado de un concepto geográfico puede ser dependiente de un gran número de contextos, dentro de los cuales el concepto puede utilizarse. Por lo tanto, los *factores contextuales* acerca del uso particular de algún tipo de concepto refieren al conocimiento que el ser humano utiliza para restringir el significado de la comunicación o interpretación del mismo.

Entonces, de esta forma el contexto puede vislumbrarse como algo intrínseco a los objetos geográficos, a lo cual en forma natural éste es representado implícitamente cuando se modelan estos objetos, mediante el conocimiento que se tiene sobre estas entidades; por lo cual el hecho de describir un objeto geográfico implica describir también el contexto al que pertenece y cómo puede ser utilizado. Como conclusión, se puede citar que una conceptualización, al menos en el dominio geográfico siempre será *dependiente* del contexto; puesto que existe una relación implícita de éste en la *semántica* de los conceptos geográficos asociados a un dominio.

Por otra parte, los objetivos de esta tesis se avocan en aportar una metodología que permita *integrar* información geoespacial; así como *compartir* esta información con diversos grupos. Cabe señalar que estas tareas son de los grandes retos dentro de esta área, con lo cual GEONTO – MET proporciona algunas soluciones viables para este tipo de tareas; así como otras implícitas a éstas, como puede ser el hecho de *compactar* datos

mediante estructuras alternas a modelos raster y vectoriales y el evitar la *ambigüedad* de términos al utilizar una conceptualización del dominio.

En otras palabras, la construcción de una conceptualización del dominio geográfico proporciona un mecanismo de integración, basado en conceptos geográficos, de acuerdo con las especificaciones y estándares del INEGI, con lo cual los requerimientos de integración se dan en forma flexible y transparente.

Además, con el uso de esta técnica, es posible que diversos grupos e instituciones puedan integrar información geoespacial y compartirla entre sí para solventar tareas del orden cartográfico o de generación de datos para una base de datos, utilizando un mecanismo del orden semántico para tal efecto.

Del mismo modo, si esto se ve en forma inversa, la metodología en su forma global puede ser un parte aguas para la generación de estándares y especificaciones del orden geográfico; es decir, con una teoría formal es posible sentar las bases para el diseño de metadatos que reflejen la semántica de los objetos geográficos inmersos en el dominio y éstos puedan ser captados en su forma natural para el desarrollo de diccionarios de datos geográficos o *gazetteers*¹ que puedan ser útiles en la generación de cartografía digital.

De acuerdo con las tareas citadas anteriormente, se han diseñado diversos mecanismos para solventar y aplicar la metodología diseñada en la integración e intercambio de datos. En este sentido, el *esquema conceptual* propuesto como parte de la técnica, permite visualizar en forma simplificada los elementos más destacables de la ontología, ofreciendo una vista lógica de cómo los conceptos geográficos pueden ser coleccionados y definidos en esta estructura, por medio de instancias de los mismos.

Con el uso de este esquema, ya se cuenta con una representación alterna a los modelos clásicos para visualizar objetos geográficos, el cual es la base para generar las descripciones simbólicas o semánticas de una región entorno en particular.

Por lo tanto, con este tipo de descripciones, el *compartir* datos y por ende *conocimiento* geográfico se realiza en forma flexible, utilizando las bondades de un

¹ Los *gazetteers* son diccionarios geográficos que ofrecen una referencia con respecto a la información acerca de sitios o nombres de lugares. Típicamente contienen información concerniente a elementos geográficos, así como estadísticas de estos sitios.

lenguaje como XML; con lo cual el intercambio de datos geoespaciales es más eficiente y compacto.

Con plantillas de descripción en XML, se reflejan en forma explícita las propiedades y relaciones de los objetos geográficos, con lo cual se describe en esencia el *comportamiento* que éstos presentan entre sí y se refleja la *semántica* misma de éstos. La estructura de estas plantillas tiene como objetivo intentar generar una remembranza de la manera en la cual nosotros, los seres humanos percibimos el mundo real en su forma más natural; así como la forma en la que nos comunicamos e interpretamos cognitivamente nuestro entorno.

En términos generales la plantilla resulta una técnica eficiente para *compactar* información del dominio geográfico y permite organizar y coleccionar cada objeto a través de instancias, evitando así la redundancia de datos por cada entidad geográfica presente.

Por otro lado, como parte de los casos de estudio para aplicar la metodología desarrollada, se ha implementado un mecanismo de recuperación de conceptos geográficos, basado en el editor de ontologías Protégé y una interfaz de programación como Jena, en donde las propiedades y relaciones de los conceptos geográficos son definidas y almacenadas en *slots*, como vínculos de mapeo, a lo cual mediante consultas en SPARQL se realizan diversos análisis dentro de la ontología para traducir ésta a un modelo persistente de OWL, con lo cual se puede conocer y dar respuesta a peticiones de búsqueda dentro de la ontología; en donde como resultado se retornan instancias de conceptos que representan objetos geográficos, que posteriormente pueden ser visualizados en una aplicación *web-mapping*.

En resumen, se puede concluir que este tipo de mecanismos se vislumbran como modelos más compactos y fáciles para transportar información geoespacial; así como métodos eficientes para contar con representaciones alternas de datos geográficos con respecto a las formas clásicas y métodos de recuperación o consulta.

Por lo tanto, en esta tesis se ha introducido una metodología formal que muestra los mapeos entre las ontologías geoespaciales y un esquema conceptual geográfico. Esta metodología puede mejorar la solución de tópicos de *integración* a través de bases de datos heterogéneas, mediante el uso de *Kaab-Ontology*.

Además, este marco de trabajo puede servir para integrar información geográfica, en donde un esquema conceptual común en una aplicación geográfica puede ser creado para mapear esquemas conceptuales heterogéneos a una ontología común de nivel superior.

Por otra parte, es importante señalar que los modelos de datos geográficos usualmente representan explícitamente un conjunto de objetos básicos, su geometría y propiedades. Sin embargo, en muchos ambientes geográficos, la semántica aparece en las relaciones que enlazan estos objetos.

No obstante, muchas de estas relaciones no son explícitamente representadas en modelos de datos geoespaciales, ya que usualmente aparecen solo implícitamente en el despliegue de las bases de datos geográficas; por lo cual es de suma importancia contar con *descripciones semánticas* que permitan realizar este tipo de representaciones entre objetos geográficos.

En esta tesis las descripciones semánticas están enfocadas a *encapsular* el conjunto de propiedades y relaciones que poseen implícitamente los datos geoespaciales y con este tipo de representaciones, evitar en la medida de lo posible la *ambigüedad* entre conceptos que representan a los objetos geográficos al momento de cualquier tipo de intercambio de información entre diversos usuarios.

De igual forma, este trabajo sienta las bases para una futura interpretación automática de regiones geográficas orientado al soporte a toma de decisiones, haciendo uso de la conceptualización del dominio geográfico; con el objeto de que en un futuro se pueda generar nuevo conocimiento de forma automática y que permita realizar un análisis más profundo acerca del entorno geoespacial y aplicado a diversas áreas.

Asimismo, el hecho de contar con una descripción semántica de un entorno geográfico permite establecer las bases orientadas hacia un *razonamiento espacial*; es decir, el hecho de conocer el *comportamiento* que presentan los objetos geográficos inmersos en una partición geográfica es de suma importancia para *entender e interpretar* la *semántica* que éstos representan y explotar de esta forma la *inferencia* implícita que posee la conceptualización.

Cabe señalar que en este trabajo de tesis, se han realizado diversas publicaciones en revistas internacionales indexadas en ISI, revistas internacionales con arbitraje y congresos internacionales. A continuación se enlistan las publicaciones emanadas de este trabajo:

Revistas ISI:

1. M. Torres, V. Montes de Oca, S. Levachkine and M. Moreno, "Spatial Data Description by means of Knowledge-based System", in J.F. Martínez-Trinidad, J.A. Carrasco and J. Kittler, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 4225, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2006, ISSN: 0302-9743, pp. 502-510.
2. M. Torres, M. Moreno, R. Quintero and F. Fonseca, "Ontology-driven description of spatial data for their semantic processing", in M.A. Rodríguez, I.F. Cruz, S. Levashkin and M. Egenhofer, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 3799, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2005, ISSN: 0302-9743, pp. 242-249.
3. M. Torres, G. Guzmán, R. Quintero, M. Moreno and S. Levachkine, "Semantic Decomposition of LandSat TM Image", in B. Gabrys, R.J. Howlett and L.C. Jain, Lecture Notes in Artificial Intelligence, Vol. 4251, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2006, ISSN: 0302-9743, pp. 550-558.

Revistas Internacionales con Arbitraje:

1. M. Torres and S. Levachkine, "Deriving Semantic Description Using Conceptual Schemas Embedded into a Geographic Context", in S. Levachkine and M. Moreno (Eds.), Special Issue: Semantics in Geoinformatics Application, Research on Computing Science, Vol. 25, 2006, pp. 109-119, ISSN: 1870-4069.
2. M. Torres, S. Levachkine, R. Quintero, M. Moreno and G. Guzmán, "Spatial Semantic Definition to Generate a Semantic Description for Spatial Data", in A. Gelbukh, C. Yáñez & O. Camacho (Eds.), Advances in Artificial Intelligence and Computer Science, Research on Computing Science, Vol. 14, 2005, pp. 297-310, ISSN: 1665-9899.
3. M. Torres, S. Levachkine, M. Moreno & R. Quintero, "Geographical Objects Representation by means of Spatial Ontologies", in Figueroa J., Yáñez C., Gelbukh A. & Camacho O (Eds.), Advances in: Artificial Intelligence, Computing Science and Computer Engineering, Research on Computing Science, Vol. 10, 2004, Mexico City, pp. 177-187, ISSN: 1665-9899, ISBN: 970-36-0194-4.

Congresos Internacionales con Arbitraje:

1. M. Torres and S. Levachkine, “Obtaining semantic descriptions based on conceptual schemas embedded into a geographic context”, In V. Popovich, K. Korolenko & M. Schrenk (Eds.) Proceedings of the Third International Workshop on Information Fusion and Geographic Information Systems, St. Petersburg, Russia, Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2007, ISSN: 1863-2246, pp. 209-222.
2. M. Torres, S. Levachkine, M. Moreno, R. Quintero, “Retrieving Geospatial Information into a Web-mapping Application using Geospatial Ontologies”, In N.T. Nguyen, A. Grzech, R.J. Howlett & L.C. Jain (Eds.), First KES International Symposium, KES-AMSTA’2007, Agent and Multi-Agent Systems: Technologies and Applications, Wroclaw, Poland, Lecture Notes in Artificial Intelligence, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2007, Vol. 4496, ISSN: 0302-9743, 2007, pp. 267-277.
3. M. Torres and S. Levachkine, “Semantic Description by means of Conceptual Schemas into a Geographic Domain”, In M. Wachowicz & L. Bodum (Eds.) Proceedings of 10th AGILE International Conference on Geographic Information Science, Aalborg University, Denmark, 2007, pp. 1-11.
4. M. Torres, M. Moreno, R. Quintero and G. Guzmán, “Web-Mapping Application based on Ontologies to Retrieve Geo-information”, International Conference on Electronic Government EGOV’2005, Association for Database and Expert Systems Applications DEXA 2005, in: K.V. Andersen, A. Grönlund, R. Traunmüller, M.A. Wimmer (Eds.), Trauner Verlag, Schriftenreihe Informatik, Vol. 15, 2005, ISBN: 3-85487-830-3, pp. 166-173.
5. M. Torres, S. Levachkine, M. Moreno, R. Quintero & G. Guzmán, “TOGWA: Web-Mapping Application to Retrieve Spatial Data by means of Spatial Ontologies”, in Proceedings of The Third International Conference on Geographic Information Science, GIScience 2004, University of Maryland, Adelphi, USA, 2004, pp. 328-330.

6. M. Torres, S. Levachkine, M. Moreno y R. Quintero, “Utilizando la Semántica Espacial para la Interoperabilidad entre Objetos Geográficos”, In: J.L. Díaz de León, G. González & J. Figueroa (Eds.), *Research on Computing Science, Avances en: Ciencias de la Computación*, Octubre, 2003, Cd. de México, México, pp. 117-121, ISBN: 970-36-0098-0.
7. M. Torres & S. Levachkine, “Generating spatial ontologies based on spatial semantics”, In: S. Levachkine, J. Serra, M. Egenhofer (Eds.), *Research on Computing Science, Semantic Processing of Spatial Data*, pp. 169-178, 2003, ISBN: 970-36-0103-0 & e-Proceedings ISBN: 970-36-0111-1.
8. M. Torres, “Semantics Definition to Represent Spatial Data”, In: Levachkine, S., Ruas, A., Bodansky, E. (eds.), *e-Proceedings of the International Workshop on Semantic Processing of Spatial Data (GEOPRO 2002)*, Mexico City, December, 2002, ISBN 970-18-8521-X.

6.1 Trabajos a futuro

Los trabajos a futuro sobre esta línea de investigación intentan solucionar algunas de las limitantes de la presente tesis. En este caso, se considera que el solucionar estos problemas es un reto interesante dentro de la línea de investigación que se está desarrollando. A continuación se describen algunos tópicos que pueden ser tomados en cuenta para enmarcar la investigación de este trabajo y sentar las bases para futuras líneas de investigación y tesis de posgrado.

- 1) Ampliar la metodología para que permita vincular conceptos geográficos en más de una tupla; es decir, que se puedan realizar descripciones ontológicas *n-arias*, y no solo de concepto a concepto, con el objeto de enriquecer la conceptualización y por ende las descripciones semánticas.
- 2) Dotar a la técnica desarrollada de un mecanismo de razonamiento espacial, el cual permita explotar realmente la conceptualización realizada en este dominio para inferir conocimiento nuevo, a partir de las relaciones y conceptos contenidos en la ontología.
- 3) Diseñar mecanismos que permitan modelar ontologías de aplicación a través de una herramienta independiente, la cual considere como parte medular la metodología desarrollada en esta tesis, para el desarrollo de un sistema que permita el modelado y construcción de ontologías de aplicación del contexto geográfico, de acuerdo con los formalismos de la metodología GEONTO – MET.
- 4) Diseñar una técnica que permita enriquecer la conceptualización del esquema conceptual, agregando nuevos conceptos y relaciones que sean más flexibles y con mayor granularidad para describir otros contextos y permitan reflejar particularidades de los objetos geográficos definidos como conceptos en la ontología.

- 5) Analizar la viabilidad de agregar la componente *temporal* a la conceptualización geográfica, con el objetivo de considerar esta variable en la construcción de ontologías de aplicación y vislumbrar nuevos escenarios con ésta, con lo cual los usuarios puedan contar con diversas conceptualizaciones en diferentes periodos o estados. Sin embargo, es necesario revisar exhaustivamente cuales son las ventajas que pueden ayudar a mejorar la conceptualización y que características adicionales se pueden conocer, al contar con esa componente para la conceptualización del dominio geográfico.
- 6) Definir métricas para medir el contenido semántico de las descripciones generadas, con el objetivo de conocer el grado de similitud que puede entre diversas regiones espaciales descritas en contextos y representaciones diferentes.
- 7) Orientar el modelo de descripción de objetos geográficos a diversas aplicaciones y mecanismos de recuperación de información geográfica, considerando aspectos semánticos en estas tareas, en las cuales se simplifiquen los procesos de búsqueda y éstas sean potencialmente “inteligentes”; en el sentido que proporcionen la semántica de la información geoespacial recuperada.
- 8) Migrar la plantilla y descripción semántica a un formato GML (Geographic Markup Language – por sus siglas en inglés) para contar con el potencial y mecanismos de análisis que ofrece esta especificación. Además, con este lenguaje las tareas de visualización serían simplificadas, utilizando las clases nativas de la especificación.
- 9) Diseñar un protocolo de comunicación, el cual permita que diferentes plantillas puedan entenderse entre sí; así como la integración la de las mismas. Esto tiene como objetivo contar un medio de comunicación que permita la fusión de descripciones, por medio de un procesamiento semántico que refleje la riqueza implícita de los datos geoespaciales descritos en la plantilla; con lo cual este mecanismo se enfocaría directamente a la solución de problemas de heterogeneidad semántica en diversas aplicaciones geográficas.

- 10) Integrar en la medida de lo posible todos los componentes que intervienen en la metodología GEONTO – MET, con el objeto de contar una aplicación independiente a cualquier otro ambiente de desarrollo. En otras palabras, se pretende el diseño e implantación de un *iGIS* (Intelligent – Geographic Information System – por sus siglas en inglés), en donde la metodología aquí desarrollada sea la base para el establecimiento formal de un sistema de información geográfica inteligente; en el sentido que los análisis que puedan realizarse con esta aplicación estén orientados hacia un orden *semántico*. Con esto un *iGIS* puede ofrecer mecanismos de *recuperación e integración* de datos geoespaciales más flexibles, basados en una ontología de dominio geográfico; así como métodos de *inferencia* que permitan la generación de conocimiento geográfico, lo cual arroje como resultado algún modelo de razonamiento geoespacial.
- 11) Definir en un sentido formal el término de *contexto*; y describir el papel preponderante que éste juega en la interpretación de la información geoespacial. Para esto, se propone utilizar como base la definición detallada en este trabajo de tesis enfocada a la vecindad de conceptos; con lo cual el contexto de una serie o colección de conceptos geográficos pueda ser evocado con relación al entorno de los objetos geográficos inmersos en una partición geográfica. De esta forma forma, buscar aproximaciones que permitan definir formalmente cómo este término puede ser definido.

Como se puede observar, la solución de cada uno de los trabajos a futuro aquí presentados, brindan la oportunidad de abrir nuevos nichos de investigación básica; así como líneas a fines a estos temas, con lo cual se pueden realizar diversos proyectos de investigación que den como resultados la generación de recursos humanos, mediante tesis de maestría o doctorado, fomentando la investigación en esta área.

De igual forma, con estos trabajos se busca explotar la línea de investigación “*Análisis y Síntesis Asociativa de Datos Geoespaciales*” y en cortos o medianos plazos, llevar al ámbito de la sociedad este tipo de investigaciones, las cuales ayuden a solucionar problemas de representación formal de objetos geográficos, integración, heterogeneidad semántica e interoperabilidad entre datos geoespaciales, lo cual contribuya a robustecer el área de la Geoinformática, consolidando una sólida directriz de investigación a nivel nacional e internacional.

Referencias

(Abel, D., Kilby, P. & Davis, J., 1994)

1. Abel, D., Kilby, P. & Davis, J., "The Systems Integration Problem", *International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 8, 1994, pp. 1-12.

(Agouris, P., Gyftakis, S. & Stefanidis, A., 2000)

2. Agouris, P., Gyftakis, S. & Stefanidis, A., "Uncertainty in Image-Based Change Detection", in: *Accuracy 2000*, Amsterdam, The Netherlands, 2000, pp. 1-8.

(Alani, H., Jones, C.B. & Tudhope, D., 2000)

3. Alani, H., Jones, C. & Tudhope, D., "*Ontology-Driven Geographical Information Retrieval*", in: *Proceedings of the First International Conference on Geographic Information Science, GIScience 2000*, Savannah, Georgia, USA, 2000, pp. 37-40.

(Alberts, L.K., 1993)

4. Alberts, L.K., "YMIR: An Ontology for Engineering Design", 1993, University of Twente.

(Aristotle's, Methaphysics, IV, 1, 2003)

5. Aristotle's, Methaphysics, IV, 1, "The Subject Matter of Aristotle's Methaphysics", *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, 2003.

(Bateman, J. & Farrar, S., 2004)

6. Bateman, J. & Farrar, S., "*Towards a generic foundation for spatial ontology*", in: Varzi, A. & Vieu, L. (Eds.), *Proceedings of the Third International Conference on Formal Ontology in Information Systems, FOIS 2004*, Torino, Italy, 2004, IOS Press.

(Benjamins, V.R. & Fensel, D., 1998)

7. Benjamins, V.R. & Fensel, D., "The ontological engineering initiative (KA)²", in: Guarino, N. (Ed.), *Formal Ontology in Information Systems*, IOS Press, Trento, Italy, 1998, pp. 287-301.

(Berendt, B., Barkowsky, T., Freksa, C., et al., 1998)

8. Berendt, B., Barkowsky, T., Freksa, C. & Kelter, S.I.E., "Spatial Cognition – An Interdisciplinary Approach to Representing and Processing Spatial Knowledge", *Spatial Representation with Aspect Maps*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1998, pp. 157-175.

(Bernard, L., Einspanier, U., Haubrock, S., *et al.*, 2004)

9. Bernard, L., Einspanier, U., Haubrock, S., Hübner, S. Klien, E., Kuhn, W., Lessing, R., Lutz, M. & Visser, U., “*Ontology-based discovery and retrieval of geographic information in spatial data infrastructures*”, in Geotechnologien Science Report, Vol. 4, 2004, pp. 15-29.

(Bishr, Y., 1997)

10. Bishr, Y., “*Semantic Aspects of Interoperable GIS*”, Ph.D. Dissertation, International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC Publications), No. 56, pp. 154.

(Bishr, Y., 1998)

11. Bishr, Y., “*Overcoming the semantic and other barriers to GIS interoperability*”, International Journal of Geographical Information Science, Special Issue: Interoperability in GIS, Vckovski, A. (Ed.), Vol. 12, No. 4, Taylor & Francis, 1998, pp. 299-314.

(Bishr, Y. & Kuhn, W., 2000)

12. Bishr, Y. & Kuhn, W., “*Ontology-Based Modelling of Geospatial Information*”, in Proceedings of 3rd AGILE Conference on Geographic Information Science, Helsinki, Finland, 2000, 24-27.

(Bittner, T. & Winter, S., 1999)

13. Bittner, T. & Winter, S., “*On Ontology in Image Analysis in Integrated Spatial Databases*”, in: Agouris, P. & Stefanidis, A. (Eds.), Lecture Notes in Computer Science, Vol. 1737, Springer-Verlag, 1999, pp. 168-191.

(Bitters, B., 2005)

14. Bitters, B., “*A Geographical Ontology of Objects in the Visible Domain*” Ph. D. Thesis, Florida State University, College of Social Sciences, 2005.

(Bonfatti, F. & Monari, P.D., 1994)

15. Bonfatti, F. & Monari, P.D., “*Towards a General Purpose Approach to Object Oriented Analysis*”, in: Bertino, E. & Urban, S. (Ed.), International Symposium of Object Oriented Methodologies and Systems (ISOOMS), Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag, Palermo, Italy, 1994, pp. 108-122.

(Borges, K., Davis, C. & Laender, A., 2001)

16. Borges, K., Davis, C. & Laender, A., “*OMT-G: An object-oriented data model for geographic applications*”, Geoinformatica, Vol. 5, 2001, 221-260.

(Borgo, S., Guarino, N., Masolo, C. & Vetere, G., 1997)

17. Borgo, S., Guarino, N., Masolo, C. & Vetere, G., "Using a Large Linguistic Ontology for Internet-Based Retrieval of Objects-Oriented Components", in: The Ninth International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering, Madrid, Spain, 1997, pp. 528-534.

(Borst, W.N., 1997)

18. Borst, W.N., "Construction of Engineering Ontologies", Ph. D. Thesis, University of Twente, Enschede, NL – Centre for Telematics and Information Technology, 1997.

(Bruns, T. & Egenhofer, M., 1996)

19. Bruns, T. & Egenhofer, M., "Similarity of Spatial Scenes", in Kraak, M.J. & Molenaar, M. (Eds.), Seventh International Symposium on Spatial Data Handling (SDH' 1996), Delft, The Netherlands, 1996, pp. 4^a.31-42.

(Burrough, P. & Frank, A.U., 1996)

20. Burrough, P. & Frank, A.U., "Spatial conceptual models for geographic objects with undetermined boundaries", Taylor & Francis, London, UK, 1996.

(Cardelli, L., 1984)

21. Cardelli, L., "A Semantics of Multiple Inheritance", in: Kahn, G., McQueen, D. & Plotkin, G., (Eds.), Semantics of Data Types. Lecture Notes in Computer Science, Vol. 173, Springer-Verlag, 1984, pp. 51-67.

(Coad, P. & Yourdon, E., 1991)

22. Coad, P. & Yourdon, E., "Object-Oriented Design", 1st edition, Prentice Hall, 1991.

(Cocchiarella, N.B., 1991)

23. Cocchiarella, N.B., "Formal Ontology", in Burkhardt, H. & Smith, B. (Eds.), Handbook of Metaphysics and Ontology, Philosophia Verlag, Munich, 1991, pp. 640-647.

(Collins, A.M. & Quillian, M.R., 1969)

24. Collins, A.M. & Quillian, M.R., "Retrieval time from semantic memory", Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, Vol. 8, 1969, pp. 240-247.

(Corcho, O., Fernández-López, M. & Gómez-Pérez, A., 2003)

25. Corcho, O., Fernández-López, M. & Gómez-Pérez, A., "Methodologies, tools and languages for building ontologies. Where is their meeting point?", Journal of Data & Knowledge Engineering, Vol. 46, No. 1, 2003, 41-64.

(Couclelis, H., 1992)

26. Couclelis, H., "People Manipulate Objects: Beyond the Raster-Vector Debate in GIS", in Frank, A.U., Campari, I. & Formentini, U. (Eds.) Theories and Methods of Spatio-Temporal Reasoning in Geographic Space, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 639, Springer-Verlag, New York, 1992, pp. 65-77.

(Cui, Z., Jones, D. & O'Brien, P., 2002)

27. Cui, Z., Jones, D. & O'Brien, P., "Semantic B2B integration: Issues in ontology-based applications", SIGMOD Record Web Edition, Vol. 31, 2002.

(Davis, F., Quattrochi, D., Ridd, M., *et al.*, 1991)

28. Davis, F., Quattrochi, D., Ridd, M., Lam, N., Walsh, S., Michaelsen, J., Franklin, J., Stow, D., Johannsen, C. & Johnston, C., "Environmental Analysis Using Integrated GIS and Remotely Sensed Data: Some Research Needs and Priorities", Journal of Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 57, 1991, pp. 689-697.

(Egenhofer, M. & Franzosa, R., 1991)

29. Egenhofer, M. & Franzosa, R., "Point-Set Topological Spatial Relations", International Journal of Geographical Information Systems, Vol. 5, No. 2, 1991, pp. 161-174.

(Egenhofer, M. & Frank, A.U., 1992a)

30. Egenhofer, M., "Query Processing in Spatial-Query-by-Sketch", Journal of Visual Languages and Computing, Vol. 8, No. 4, 1997, pp. 403-424.

(Egenhofer, M. & Frank, A.U., 1992b)

31. Egenhofer, M. & Frank, A.U., "Object-Oriented Modeling for GIS", Journal of the Urban and Regional Information Systems Association, Vol. 4, 1992, pp. 3-19.

(Egenhofer, M. & Mark, D.M., 1995)

32. Egenhofer, M. & Mark, D.M., "Naïve Geography", in: Frank, A.U. & Kuhn, W. (Eds.): Spatial Information Theory: A Theoretical Basis for GIS, International Conference COSIT '95, Semmering, Austria, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 988, Springer-Verlag, 1995, 1-15.

(Egenhofer, M. & Frank, A.U., 1997)

33. Egenhofer, M. & Frank, A.U., "LOBSTER: Combining AI and Database Techniques for GIS", International Journal of Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 56, No. 6, 1997, 919-926.

(Egenhofer, M.J., Glasgow, J., Günther, O., Herring, J.R. & Peuquet, D.J., 1999)

34. Egenhofer, M.J., Glasgow, J., Günther, O., Herring, J.R. & Peuquet, D.J., "Progress in Computational Methods for Representing Geographic Concepts", International Journal of Geographical Information Science, Vol. 13, No. 8, 1999, 775-796

(Ehlers, M., Greenlee, D., Smith, T., *et al.*, 1991)

35. Ehlers, M., Greenlee, D., Smith, T. & Star, J., "Integration of Remote Sensing and GIS: Data and Data Access", Journal of Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 57, 1991, pp. 669-675.

(Enderton, H.B., 1972)

36. Enderton, H.B., A Mathematical Introduction to Logic, San Diego, CA, USA, 1972, Academic Press.

(Farquhar, A., Fikes, R. & Rice, J., 1997)

37. Farquhar, A., Fikes, R. & Rice, J., "The ontolingua server: a tool for collaborative ontology construction", International Journal of Human-Computer Studies, Vol. 46, 1997, pp. 707-727.

(Fernández-López, M., Gómez-Pérez, A. & Jurista, N., 1997)

38. Fernández-López, M., Gómez-Pérez, A. & Jurista, N., "METHONTOLOGY: From ontological art towards ontological engineering", Stanford, USA, 1997.

(Fikes, R. & Farquhar, A., 1999)

39. Fikes, R. & Farquhar, A., "Distributed repositories of highly expressive reusable ontologies", IEEE Intelligent Systems, Vol. 14, 1999, pp. 73-79.

(Fonseca, F. & Egenhofer, M., 1999)

40. Fonseca, F. & Egenhofer, M., "Ontology Driven Geographic Information Systems", in: Medeiros, C.B. (Ed.), 7th ACM Symposium on Advances in Geographic Information Systems, Kansas City, MO, 1999, pp. 14-19.

(Fonseca, F., Egenhofer, M. & Davis, C., 2000)

41. Fonseca, F., Egenhofer, M. & Davis, C., "Ontology-Driven Information Integration", in: Bettini, C. and Montanari, A. (Eds.), The AAAI-2000 Workshop on Spatial and Temporal Granularity, Austin, TX, USA, 2000, pp. 61-64.

(Fonseca, F., Egenhofer, M., Davis, C.A., *et al.*, 2000)

42. Fonseca, F., Egenhofer, M., Davis, C.A. & Borges, K., "Ontologies and Knowledge Sharing in Urban GIS", Computer, Environment and Urban Systems, Vol. 24, No. 3, 2000, pp. 251-272.

(Fonseca, F., Egenhofer, M., Agouris, P., *et al.*, 2002)

43. Fonseca, F., Egenhofer, M., Agouris, P. & Camara, G., "Using Ontologies for Integrated Geographic Information Systems", *Transactions in GIS*, Vol. 6, No. 3, 2002.

(Fonseca F., Davis C. & Câmara G., 2003)

44. Fonseca F., Davis C. & Câmara G., "*Bridging Ontologies and Conceptual Schemas in Geographic Information Integration*", *International Journal on Advances of Computer Science for Geographic Information Systems*, *Geoinformatica*, Vol. 7, No. 4, 2003, 355-378.

(Frank, A.U. & Mark, D.M., 1991)

45. Frank, A.U. & Mark, D.M., "Language issues for GIS", in Maguire, D. Goodchild, M. & Rhind, D. (Eds.), *Geographical Information Systems, Volume 1: Principles*, Longman: London, 1991, pp. 147-163.

(Frank, A.U., 1997)

46. Frank, A.U., "Spatial Ontology", in: Stock, O. (Ed.), *Spatial and Temporal Reasoning*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 1997, pp. 135-153.

(Frank, A.U. & Kuhn, W., 1998)

47. Frank, A.U. & Kuhn, W., "A specification language for interoperable GIS", in; Goodchild, M.F., Egenhofer, M.J., Fegeas, R. & Kottman, K., (Eds.), *Interoperating Geographic Information Systems*, Kluwer Academics, 1998, pp. 123-132.

(Frank, A.U., 2001)

48. Frank, A.U., 2001a, "*Tiers of Ontology and Consistency Constraints in Geographic Information Systems*", *International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 15, No. 7, 2001.

(Free Online Dictionary of Computing, 2006)

49. Free Online Dictionary of Computing: <http://foldoc.org>

(Genesereth, M.R. & Nilsson, N.J., 1987)

50. Genesereth, M. R., Michael, R. & Nilsson, N. J., *Logical Foundations of Artificial Intelligence*, San Mateo, CA, USA, 1987, Morgan Kauffman Publishers.

(Gomes, J. & Velho, L., 1995)

51. Gomes, J. & Velho, L., "Abstraction Paradigms for Computer Graphics", *Journal of The Visual Computer*, Vol. 11, 1995, pp.227-239.

(Gómez-Pérez, A., Fernández-López, M. & De Vicente, M., 1996)

52. Gómez-Pérez, A., Fernández-López, M. & De Vicente, M., "Towards a method to conceptualize domain ontologies", in Working notes of the Workshop on Ontological Engineering, ECAI 96, 1996, pp. 41-52

(Goodchild, M., 1992)

53. Goodchild, M., "Geographical Data Modelling", Journal of Computers and Geoscience, Vol. 18, 1992, pp. 401-408.

(Goodchild, M., Egenhofer, M., Kemp, K., et al., 1999)

54. Goodchild, M., Egenhofer, M., Kemp, K., Mark, D.M. & Sheppard, E. (1999b), Introduction to the Varenus Project. *International Journal of Geographical Information Science* 13(8): 731-745.

(Gruber, T.R., 1991a)

55. Gruber, T., "The Role of Common Ontology in Achieving Sharable, Reusable Knowledge Bases", in: Principles of Knowledge Representation and Reasoning, Cambridge, MA, 1991, pp. 601-602.

(Gruber, T.R., 1991b)

56. Gruber, T.R., "Ontolingua: A Mechanism to Support Portable Ontologies", Technical Report KSL, Knowledge System Laboratory, Stanford University, 1991, pp. 92-166.

(Gruber, T.R., 1993)

57. Gruber, T. "A Translation Approach to Portable Ontology Specifications", Knowledge Acquisition, Vol. 5, No. 2, 1993, pp. 199-220

(Gruber, T.R., 1995)

58. Gruber, T., "Toward Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing", *International Journal of Human and Computer Studies*, Vol. 43, No. 5/6, 1995, pp. 907-928.

(Grüninger, M. & Fox, M.S., 1995)

59. Grüninger, M. & Fox, M.S., "Methodology for design and evaluation of ontologies", in Proceedings of the Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing, IJCAI'95, 1995.

(Guarino, N., 1992)

60. Guarino, N., "Concepts, Attributes and Arbitrary Relations", Journal of Data Knowledge Engineering, Vol. 8, 1992, pp. 249-261.

(Guarino, N., Carrara, M. & Giaretta, P., 1994)

61. Guarino, N., Carrara, M. & Giaretta, P., "Formalizing Ontological Commitment", in Proceedings of the National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-94), Seattle, USA, Morgan Kaufmann, 1994.

(Guarino, N. & Giaretta, P., 1995)

62. Guarino, N. & Giaretta, P., "Ontologies and Knowledge Bases: Towards a Terminological Clarification", in Proceedings of the 2nd International Conference on Building and Sharing Very Large-Scale Knowledge Bases, Amsterdam, IOS Press, 1995, pp. 25-32.

(Guarino, N., 1997a)

63. Guarino, N., "Formal Ontology, Knowledge Acquisition and Knowledge Representation", in Guarino, N. & Poli, R. (Eds.), Formal Ontology in Conceptual Analysis and Knowledge Representation, 1997.

(Guarino, N., 1997b)

64. Guarino, N., "Understanding, Building and Using Ontologies: A Commentary to Using Explicit Ontologies in KBS Development", International Journal of Human and Computer Studies No. 46, 1997, 293-310.

(Guarino, N., 1998)

65. Guarino, N., "*Formal Ontology and Information Systems*", in Proceedings of the International Conference on Formal Ontology in Information Systems, Trento, Italy, Amsterdam, IOS Press, 1998, 3-15

(Guarino, N. & Welty, C., 2000)

66. Guarino, N. & Welty, C., "Ontological Analysis of Taxonomic Relationships", in: Laender, A. & Storey, V. (Eds.), Proceedings of ER-2000: The 19th International Conference on Conceptual Modeling, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 1920, Springer-Verlag, 2000, pp. 210-224.

(Guarino, N. & Welty, C., 2002)

67. Guarino, N. & Welty, C., "Evaluating ontological decisions with OntoClean", Communications of the ACM, Vol. 45, No. 2, 2002, pp. 61-65.

(Hakimpour, F. & Geppert, A., 2002)

68. Hakimpour, F. & Geppert A., "*Global Schema Generation Using Formal Ontologies*", in Proceedings of the 21st International Conference on Conceptual Modeling, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 2503, Springer-Verlag, London, England, 2002, 307-321.

(Hilton, J., 1996)

69. Hilton, J., "GIS and Remote Sensing Integration for Environmental Applications", International Journal of Geographical Information Systems, Vol. 10, 1996, pp. 877-890.

(Horton, R., 1982)

70. Horton, R., "*Tradition and Modernity Revisited*", in Hollis, M. & Lukes, S. (Eds.), Rationality and Relativism, Oxford: Blackwell, 1982, pp. 201-260.

(Husserl, E., 1970)

71. Husserl, E., "Logical Investigations", Routledge, 1970.

(INEGI, 1993)

72. INEGI, "Acerca de los Diccionario de Datos Vectoriales", Publicado por: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 1993.

(INEGI, 1996)

73. INEGI, "Diccionario de Datos Topográficos, Escala 1:50,000", Publicado por: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 1996.

(INEGI, 1999)

74. INEGI, "Diccionario de Datos Turísticos, Escala 1:1,000,000", Publicado por: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 1999.

(Jones, D., 1998)

75. Jones, D., "Developing shared ontologies in multi-agent systems", in ECAI'98 Workshop on Intelligent Information Integration, Brighton, UK, 1998.

(Jones, C.B., Alani, H. & Tudhope, D., 2001)

76. Jones, C.B., Alani, H. & Tudhope, D., "*Geographical Information Retrieval with Ontologies of Place*", in Montello, D. (Ed.), Proceedings of the International Conference on Spatial Information Theory Foundations of Geographic Information Science, COSIT 2001, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 2205, Springer-Verlag, 2001, pp. 323-335.

(Kavouras, M. & Kokla, M., 2000)

77. Kavouras, M. & Kokla, M., "*Ontology-Based Fusion of Geographic Databases*", Spatial Information Management, Experiences and Visions for the 21st Century, International Federation of Surveyors, Commission 3-WG 3.1, Athens, Greece, 2000.

(Kuhn, W., 1991)

78. Kuhn, W., "Are Displays Maps or Views?", in: Mark, D.M. & White, D., (Eds.), AUTO-CARTO 10, Tenth International Symposium on Computer-Assisted Cartography, Baltimore, MD, USA, 1991, pp. 261-274.

(Kuhn, W., 1993)

79. Kuhn, W., "Metaphors Create Theories for Users", in: Frank, A.U. & Campari, I., (Eds.), Spatial Information Theory, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 716, Springer-Verlag, 1993, pp. 366-376.

(Kuhn, W., 2001)

80. Kuhn, W., "Ontologies in support of activities in geographic space", International Journal of Geographic Information Science, Vol. 15, No. 7, 2001, pp. 613-631.

(Kuhn, W., 2003)

81. Kuhn, W., "Implementing Semantic Reference Systems", In Proceedings of the 6th AGILE Conference on Geographic Information Science, Lyon, France, 2003, pp. 63-72.

(Lenat, D. & Guha, R., 1990)

82. Lenat, D. & Guha, R., "Building Large Knowledge Base Systems: Representation and Inference in the CYC Project", Reading, MA., Addison-Wesley Publishing Company, 1990.

(Levachkine, S., & Polchkov, E., 2001)

83. Levachkine, S. and Polchkov, E. (2000). "Integrated Technique for Automated Digitisation of Raster Maps", Revista Digital Universitaria, Vol. 1, No. 1, UNAM. On-line: <http://www.revista.unam.mx/index.html>

(Levachkine, S., 2005)

84. Levachkine, S., "Semantic Mapping between Different Conceptualizations in Geospatial Domain", Proyecto CONACYT, No. Registro: 49838553, 2005.

(Li, M., Zhou, S. & Jones, C.B., 2002)

85. Li, M., Zhou, S. & Jones, C.B., "*Multi-agent Systems for Web-Based Map Information Retrieval*", in Egenhofer, M.J. & Mark, D.M. (eds.), Proceedings of the Second International Conference on Geographic Information Science, GIScience 2002, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 2478, Springer-Verlag, Boulder, Colorado, USA, 2000, pp. 161-180.

(Magnan, F. & Reyes, G.E., 1994)

86. Magnan, F. & Reyes, G.E., "Category Theory as a Conceptual Tool in the Study of Cognition", The Logical Foundations of Cognition, Oxford University Press, 1994.

[\(Mark, D.M., 1993\)](#)

87. Mark, D.M., "Toward a Theoretical Framework for Geographic Entity Types", in: Frank, A.U. & Campari, I. (Eds.), *Spatial Information Theory, Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 716, Springer-Verlag, 1993, pp. 270-283.

[\(Mark, D.M., 1999\)](#)

88. Mark, D.M., "Spatial Representations: A Cognitive View", in: Maguiere, D.J., Goodchild, M.F., Rhind, D.W. & Longley, P. (Eds.), *Geographical Information Systems and Applications*, 2nd edition, Vol. 1, 1999, pp. 81-89.

[\(Mark, D.M., Smith, B. & Tversky, B., 1999\)](#)

89. Mark, D.M., Smith, B. & Tversky, B., "*Ontology and Geographic Objects: An Empirical Study of Cognitive Categorization*", In: Freksa, C. & Mark, D.M., (Eds.), *Spatial Information Theory: A Theoretical Basis for GIS*, Berlin: Springer-Verlag, Lecture Notes in Computer Sciences, pp. 283-298.

[\(Mark, D.M., Smith, B., Egenhofer, M. & Hirtle, S., 2001\)](#)

90. Mark, D.M., Smith, B., Egenhofer, M. & Hirtle S., 2001, *Emerging Research Theme: Ontological Foundations for Geographic Information Science*, University Consortium for Geographic Information Science, Technical Report.

[\(McKee, L. & Buehler, K., 1996\)](#)

91. McKee, L. & Buehler, K., "The Open GIS Guide", Open GIS Consortium, Inc., 1996, Wayland, MA, USA.

[\(Minsky, M., 1974\)](#)

92. Minsky M., "*A Framework for Representing Knowledge*", Technical Report, in MIT-AI Laboratory, Memo 306, United States, 1974.

[\(Mizen, H., Dolbear, C. & Hart, G., 2005\)](#)

93. Mizen, H., Dolbear, C. & Hart, G., "Ontology Ontogeny: Understanding how an Ontology is created and developed", in Rodríguez, M.A., Cruz, I.F., Egenhofer, M.J. & Levachkine, S. (Eds.), *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 3799, Springer-Verlag, 2005, pp. 15-29.

[\(Moulton, A., Madnick, S.E. & Siegel, M.D., 2001a\)](#)

94. Moulton, A., Madnick, S.E. & Siegel, M.D., "Knowledge representation architecture for context interchange mediation: Fixed income securities investment examples", in *Proceedings of the First International Workshop on Electronic Business Hubs: XML, Metadata, Ontologies, and Business Knowledge on the Web*, Munich, Germany, 2001.

(Moulton, A., Madnick, S.E. & Siegel, M.D., 2001b)

95. Moulton, A., Madnick, S.E. & Siegel, M.D., "Cross organizational data quality and semantic integrity : Learning and reasoning about data semantics with context interchange mediation", MIT Sloan School of Management, Working Paper No. 108, 2001.

(Neches, R., Fikes, R.E., Finin, T., *et al.*, 1991)

96. Neches, R., Fikes, R.E., Finin, T., Gruber, T.R., Patil, R., Senator, T. & Swartout, W.R., "Enabling technology for knowledge sharing", *AI Magazine*, Vol. 12, No. 3, 1991, pp. 16-36.

(Nunes, J., 1991)

97. Nunes, J., "Geographic Space as a Set of Concrete Geographical Entities", in: Mark, D.M. & Frank, A.U. (Eds.), *Cognitive and Linguistic Aspects of Geographic Space*, Kluwer Academic Publisher, Norwell, MA, 1991.

(Nutter, J.T., 1987)

98. Nutter, J.T., "Epistemology", in Shapiro, S. (Ed.), *Encyclopedia of Artificial Intelligence*, John Wiley, 1987.

(OpenGIS, 1996)

99. OpenGIS, *The OpenGIS Guide-Introduction to Interoperable Geoprocessing and the OpenGIS Specification*, Open GIS Consortium, Inc, Wayland, MA, 1996.

(OpenGIS, 2002)

100. Open GIS Consortium, "Specifications of Standardization Geospatial Data", 2002.

(Pais, J. & Pinto-Ferreira, C., 1998)

101. Pais, J. & Pinto-Ferreira, C., "Search Strategies for Reasoning about Spatial Ontologies", In: *Proceedings of the 10th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence*, Taiwan, 1998, 123-134"

(Papadias, D. & Theodoris, Y., 1997)

102. Papadias, D. & Theodoris, Y., "Spatial relations, minimum bounding rectangles, and spatial data structures", *International Journal of Geographic Information Science*, Vol. 11, No. 2, 1997, pp. 111-138.

(Patil, R.S., Fikes, R.E., Patel-Schneider, P.F., *et al.*, 1992)

103. Patil, R.S., Fikes, R.E., Patel-Schneider, P.F., McKay, D., Finin, T., Gruber, T.R. & Neches, R., "The DARPA Knowledge Sharing Effort: Progress Report", in Rich, C., Nebel, B. & Swartout, W. (Eds.), *Proceedings of the Third International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning*, Cambridge, MA, 1992, Morgan Kaufmann Publishers.

(Pissinou, N., Makki, K. & Park, E., 1993)

104. Pissinou, N., Makki, K. & Park, E., "Towards the Design and Development of a New Architecture for Geographic Information Systems", in: Bhargava, B.K., Finin, T.W. & Yesha, Y. (Eds.), Second International Conference on Information and Knowledge Management, Washington, D.C., 1993, pp. 565-573.

(Poli, R., 1995)

105. Poli, R., "Bimodality of Formal Ontology and Mereology", International Journal of Human-Computer Studies, Vol. 43, 1995, 687-696.

(Quillian, M.R., 1966)

106. Quillian, M.R., "Semantic Memory", in Semantic Information Processing, Minsky, M. (Ed.), MIT Press, 1968, pp. 216-270.

(Quine, W.V., 1953)

107. Quine, W.V., "From a Logical Point of View", Harvard University Press, 2nd Edition, 2006, pp. 124-136.

(Rector, A., Nowlan, W. & Glowinski, A., 1993)

108. Rector, A., Nowlan, W. & Glowinski, A., "Goals for Concept Representation in the GALEN Project", in: 17th Annual Symposium on Computer Applications in Medical Care, SCAMC-93, Washington, DC, USA, 1993.

(Rodríguez, A., 2000)

109. Rodríguez, A., "Assessing Semantic Similarity among Spatial Entity Classes", Ph. D. Thesis, University of Maine, Orono, ME, USA, 2000.

(Ruas, A., 1999)

110. Ruas, A., "Modèle de généralisation de données géographiques à base de contraintes et d'autonomie", Ph. D. Thesis, Language: French, Université de Marne-la-Vallée, 1999.

(Rugg, R., Egenhofer, M. & Kuhn, W., 1997)

111. Rugg, R., Egenhofer, M. & Kuhn, W., "Formalizing Behavior of Geographic Feature Types", International Journal of Geographical Systems, Vol. 4, No. 2, 1997, 159-179.

(Salgé, F., 1999)

112. Salgé, F., "National and International Data Standards", in: Longley, P., Goodchild, M., Maguire, D. & Thind, D. (Eds.), Geographical Information Systems, Principles and Technical Issues, John Wiley & Sons, 1999, pp. 693-706.

(Schlenoff, C., Knutilla, A. & Ray, A., 1998)

113. Schlenoff, C., Knutilla, A. & Ray, A., "A Robust Ontology for Manufacturing Systems Integration", in: 2nd International Conference on Engineering Design and Automation, Mai, HI, USA, 1998.

(Schreiber, G., Wielinga, B. & Jansweijer, W., 1995)

114. Schreiber, G., Wielinga, B. & Jansweijer, W., "The KAKTUS View on the 'O' World", in Proceedings of the Proceedings of the Fourteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-95), Workshop Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing, IJCAI-1995, Morgan Kaufmann, Montreal Canada.

(Sharma, J., Flewelling, D. & Egenhofer, M.J., 1994)

115. Shaphiro, S.C., "Encyclopedia of Artificial Intelligence", John Wiley & Sons, Second Edition, 1992.

(Sharma, J., Flewelling, D. & Egenhofer, M.J., 1994)

116. Sharma, J., Flewelling, D. & Egenhofer, M.J., "*A Qualitative Spatial Reasoner*", Sixth International Symposium on Spatial Data Handling, Edinburgh, Scotland, 1994, pp.665-681.

(Sheth, A.P., Gala, S. & Navathe, S., 1993)

117. Sheth, A., Gala, S. & Navathe, S., "*On Automatic Reasoning for Schema Integration*", International Journal of Intelligent and Cooperative Information Systems, Vol. 2, No. 1, 1993, 23-50

(Sheth, A.P., 1999)

118. Sheth, A., "Changing focus on Interoperability in Information Systems: from System, Syntax, structure to Semantics", in: Goodchild, M., Egenhofer, M. Fegeas, R. & Kottman, C., (Eds.), Interoperating Geographic Information Systems, Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA, 1999.

(Smith, B., 1995a)

119. Smith, B., "*Formal Ontology, Common Sense, and Cognitive Science*", International Journal of Human Computer Studies, Vol. 43, 1995, pp. 641-667.

(Smith, B., 1995b)

120. Smith, B., "*The Structures of the Commonsense World*", Acta Philosophica Fennica, Vol. 58, 1995, pp. 290-317.

(Smith, B., 1998)

121. Smith, B., "An Introduction to Ontology", in: Peuquet, D., Smith, B. and Brogaard, B. (Eds.), *The Ontology of Fields*, National Center for Geographic Information and Analysis, Santa Barbara, CA, USA, 1998, pp. 10-14.4

(Smith, B. & Mark, D.M., 1998)

122. Smith, B., & Mark, D.M. (1998 in press) *Ontology and geographic kinds. Proceedings, International Symposium on Spatial Data Handling*, Vancouver, Canada, 1998, pp. 308-320.

(Smith, B. & Mark, D.M., 2001)

123. Smith, B., and Mark, D.M., "Geographical categories: an ontological investigation", *International Journal of Geographical Information Science*, 2001, Vol. 15, No. 7, pp. 591-612.

(Smith, B., 2003)

124. Smith, B., "*Ontology*", In Luciano Floridi (Ed.), *The Blackwell Guide to Philosophy, Information and Computers*, Oxford – New cork, Blackwell, 2003).

(Smith, B. & Mark, D.M., 2003)

125. Smith, B., and Mark, D.M., "Do Mountains Exist? Towards an Ontology of Landforms", *International Journal of Environment and Planning B*, 2003, Vol. 30, No. 3, pp. 411-427.

(Smith, B., 2004)

126. Smith, B., "Beyond Concepts: Ontology as Reality Representation", in Varzi, A. & Vieu, L (Eds.), *Proceedings of the International Conference on Formal Ontology and Information Systems*, Turin, Italy, 2004

(Sowa, J., 2000)

127. Sowa, J. "*Knowledge Representation: Logical, Philosophical, and Computational Foundations*", Pacific Grove, CA., Brook/Cole, a division of Thomson Learning, 2000.

(Spaccapietra, S., Cullot, N., Parent, C. & Vangenot, C., 2000)

128. Spaccapietra, S., Cullot, N., Parent, C. & Vangenot, C., "*On Spatial Ontologies*", in *Proceedings of the VI Brazilian Symposium on Geoinformatics, GeoInfo'2004*, Sao Paulo, Brazil, 2004.

(Steyvers, M. & Tenenbaum, J.B., 2005)

129. Steyvers, M. & Tenenbaum, J.B., "The Large-Scale Structure of Semantic Networks: Statistical Analyses and a Model of Semantic Growth", *Journal of Cognitive Science*, Vol. 29, 2005, pp. 41-78.

(Studer, R., Benjamins, V.R. & Fensel, D., 1998)

130. Studer, R., Benjamins, V.R. & Fensel, D., "Knowledge Engineering: Principles and Methods", *Journal of Data and Knowledge Engineering*, Vol. 25, 1998, pp. 161-197.

(Torres, M., 2002)

131. Torres M., "*Semantics Definition to Represent Spatial Data*", In: Levachkine, S., Ruas, A., Bodansky, E. (eds.), *e-Proceedings of the International Workshop on Semantic Processing of Spatial Data (GEOPRO' 2002)*, Mexico City, 2002.

(Torres, M., Moreno, M., Quintero, R., *et al.*, 2005)

132. Torres, M., Moreno, M., Quintero, R. & Fonseca, F., "Ontology-driven description of spatial data for their semantic processing", in: Rodríguez, M.A., Cruz, I.F., Levashkin, S. & Egenhofer, M.J. (Eds.), *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 3799, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2005, pp. 242-249.

(Torres, M. & Levachkine, S., 2007)

133. Torres, M. & Levachkine, S., "Obtaining semantic descriptions based on conceptual schemas embedded into a geographic context", *Lecture Notes in Geoinformation and Cartography*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2007, ISSN: 1863-2246, pp. 209-222.

(Uschold, M. & King, M., 1995)

134. Uschold, M. & King, M. "A Methodology for Building Ontologies", in *IJCAI 95 Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing*, Montreal, 1995

(Uschold, M. & Grüninger, M., 1996)

135. Uschold, M. & Gruninger, M., "Ontologies: Principles, Methods and Applications", *International Journal of Knowledge Engineering*, Vol. 11, No. 2, 1996, pp. 93-155.

(Vacariu, L. Letia, I.A. & Fodor, G.A., 2000)

136. Vacariu, L, Letia, I.A. & Fodor G.A., "Facing Different Spatial Ontologies in Heterogeneous Multi-Agents", *1st IEEE Electro Information Technology Conference*, Chicago, USA, 2000.

(Van der Vet, P.E., Speel, P.H. & Mars, N.J.I., 1995)

137. Van der Vet, P.E., Speel, P.H. & Mars, N.J., "Ontologies for very large knowledge bases in material science: a case study", In *Proceedings of the Second International Conference on Building and Sharing of very Large-Scale Knowledge Bases (KB&KS'95)*, The Netherlands, 1995.

(Van Heijenoort, J., 1967)

138. Van Heijenoort, J., "From Frege to Gödel", Cambridge Press, Harvard University Press, 1967, pp. 152-182.

(Van Heijst, G., Schreiber, A.T. & Wielinga, B.J., 1996)

139. Van Heijst, G., Schreiber, A.T. & Wielinga, B.J., "Using Explicit Ontologies in KBS Development", *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 46, No. 2-3, 1997, pp. 183-292.

(Visser, P.R., Jones, D.M., Beer, M., *et al.*, 1999)

140. Visser, P.R., Jones, D.M., Beer, M., Bench-Capon, T., Diaz, B. & Shave, M., "Resolving ontological heterogeneity in the KRAFT project", in 10th International Conference and Workshop on Database and Expert Systems Applications, DEXA '99, University of Florence, Italy, 1999.

(Voudouris, V., Fisher, P.F. & Wood, J., 1996)

141. Voudouris, V., Fisher, P.F. & Wood, J., "Capturing and Representing Conceptualization Uncertainty Interactively using Object-Fields", in: Riedl, A., Wolfgang, K. & Elmes, G.A. (Eds.), *Progress in Spatial Data Handling*, 12th International Symposium on Spatial Data Handling, Springer-Verlag, 2006, pp. 755-770.

(Welty, C. & Guarino, N., 2001)

142. Welty, C. & Guarino, N., "Supporting ontological analysis of taxonomic relationships", *Data and Knowledge Engineering*, Vol. 39, No. 1, 2001, pp. 51-74.

(Wielinga, B.J. & Schreiber, A.T., 1993)

143. Wielinga, B.J. & Schreiber, A.T., "Reusable and Sharable Knowledge Bases: An European Perspective", in *Proceedings of the First International Conference on Building and Sharing of very Large-Scaled Knowledge Bases*, Tokyo, Japan, 1993, Information Processing Development Center, pp. 136-153.

(Worboys, M.F., 1995)

144. Worboys, M.F., "GIS – A Computing Perspective", Taylor & Francis, London, 1995.

(Worboys, M.F., 1996)

145. Worboys, M.F., "Metrics and topologies for geographic spatial", In: Kraak, M.J. & Molenaar, M. (Eds.) *Advances in GIS Research Volume II*, *Proceedings of the 7th International Symposium on Spatial Data Handling*, Taylor & Francis, 1996, pp. 365-375.

(Zuñiga, G.L., 1999)

146. Zuñiga, G.L., "An Ontology of Economic Objects", *The American Journal of Economics and Sociology*, Vol. 58, 1999, pp. 299-312.

(Zuñiga, G.L., 2001)

147. Zuñiga, G.L., "Ontology: Its Transformation From Philosophy to Information Systems", in: Guarino, N., Smith, B. & Welty, C. (Eds.), Proceedings of the International Conference on Formal Ontology in Information Systems, Vol. 2001, ACM Press, Ogunquit, Maine, USA, 2001, pp. 187-197.

Anexo 1. Código Fuente

Código para generar y parsear esquema conceptual con Kaab-Ontology

```

import java.io.IOException;
import java.util.ArrayList;
import java.util.Iterator;
import java.util.List;
import javax.xml.parsers.DocumentBuilder;
import javax.xml.parsers.DocumentBuilderFactory;
import javax.xml.parsers.ParserConfigurationException;
import org.w3c.dom.Document;
import org.w3c.dom.Element;
import org.w3c.dom.NodeList;
import org.xml.sax.SAXException;

public class DomParserExample {
    List Kaab;
    Document Conceptual_Schema;
    public DomParserSchema(){
        myEmpls = new ArrayList(Kaab);
    }
    public void runParser() {
        parseXmlFile();
        parseDocument(Schema);
        printData(Kaab);
    }
    private void parseXmlFile(){
        DocumentBuilderFactory dbf = DocumentBuilderFactory.newInstance();
        try {
            DocumentBuilder db = dbf.newDocumentBuilder(Schema);
            dom = db.parse("kaab.owl");
        }catch(ParserConfigurationException pce) {
            pce.printStackTrace();
        }catch(SAXException se) {
            se.printStackTrace();
        }catch(IOException ioe) {
            ioe.printStackTrace();}
        }
    private void parseDocument(attributes){
        Element docEle = dom.getDocumentElement(Schema);
        NodeList nl = docEle.getElementsByTagName("Conceptual_Schema");
        if(nl != null && nl.getLength() > 0) {
            for(int i = 0 ; i < nl.getLength();i++) {
                Element e1 = (Element)nl.item(i);
                Employee e = getEmployee(e1);
                Kaab.add(Schema);}
        }
    private attributes(Conceptual_Schema, Geographic_Domain) get attributes(Element Kaab)
    {
        String relation = getTextValue(attr1,"Relation");
        int relation = getIntValue(attr1,"Spatial");
        int relation = getIntValue(attr1,"Logical");
        String relation = attr1.getAttribute("Topological");
        String relation attr1 = new Relation(Topological,Geometrical,);
        return relation;

        String spatial_reference = getTextValue(attr2,"Spatial Reference");
        String spatial_reference = getTextValue(attr2,"Datum");
        String spatial_reference = getTextValue(attr2,"Sheroid");
        String spatial_reference = attr2.getAttribute("Projection");
        String spatial_reference = attr2.getAttribute("Coordinate_System");
        int spatial_reference = attr2.getAttribute("Extreme_Coordinates");
        return spatial_reference;

        String geographic_object = getTextValue(attr3,"Geographic Object");
        String geographic_object = getTextValue(attr3,"Name");
        String geographic_object = getTextValue(attr3,"Layer");
        String geographic_object = attr3.getAttribute("Punctual");
        String geographic_object = attr3.getAttribute("Linear");
        String geographic_object = attr1.getAttribute("Areal");

```

```

String geographic_object atr2 = new geographic_object(punctual,linear,areal);
return geographic_object;

String type = getTextValue(attr3,"Type");
String type = getTextValue(attr3,"Thematic Content");
String type = getTextValue(attr3,"Thematics");
String type = attr3.getAttribute("Name");
String type atr3 = new geographic_object(Name, Thematic,Symbol);
return type;

String measurement = getTextValue(attr4,"Measurement");
String measurement = getTextValue(attr4,"Simple Measurement");
String measurement = getTextValue(attr4,"Complex Measurement");
String measurement = attr4.getAttribute("Punctual Measure");
String measurement = attr4.getAttribute("Linear Measure");
String measurement = attr4.getAttribute("Areal Measure");
String measurement = attr4.getAttribute("Punctual Punctual");
String measurement = attr4.getAttribute("Punctual Linear");
String measurement = attr4.getAttribute("Punctual Areal");
String measurement = attr4.getAttribute("Linear Linear");
String measurement = attr4.getAttribute("Linear Areal");
String measurement = attr4.getAttribute("Areal Areal");
String measurement atr4 = new geographic_object(Simple Measurement, Complex Measurement);
return measurement;
}

private String getTextValue(Element ele, String tagName) {
String textVal = null;
NodeList nl = ele.getElementsByTagName(tagName);
if(nl != null && nl.getLength() > 0) {
Element el = (Element)nl.item(0);
textVal = el.getFirstChild().getNodeValue();
}
return textVal;
}

private int getIntValue(Element ele, String tagName) {
return Integer.parseInt(getTextValue(ele,tagName));
}

private void printData(Conceptual_Schema){
System.out.println("Instances '" + Kaab.size() + "'.");
Iterator attributes = Kaab.iterator();
while(attributes.hasNext()) {
System.out.println(attributes.next(Conceptual_Schema).toString(Kaab));}
}

public static void main(String[] args){
DomParserExample dpe = new DomParserExample(Kaab,Conceptual_Schema);
dpe.runExample();}
}

```

Código generador de descripciones simbólicas y semánticas en XML

```

import java.io.File;
import java.io.FileOutputStream;
import java.io.IOException;
import java.util.ArrayList;
import java.util.Iterator;
import java.util.List;
import javax.xml.parsers.DocumentBuilder;
import javax.xml.parsers.DocumentBuilderFactory;
import javax.xml.parsers.ParserConfigurationException;
import org.w3c.dom.Document;
import org.w3c.dom.Element;
import org.w3c.dom.Text;
import com.sun.org.apache.xml.internal.serialize.OutputFormat;
import com.sun.org.apache.xml.internal.serialize.XMLSerializer;
import org.apache.xml.serialize.XMLSerializer;
import org.apache.xml.serialize.OutputFormat;
public class XMLCreator{
List Instances;}
public XMLCreator(template) {
Instances = new ArrayList(Conceptual_Schema);
loadData(Conceptual_Schema);
createDocument(Instances);}
public void runXML(Conceptual_Schema){

```



```

System.out.println("Started ... ");
createDOMTree(Instances,Conceptual_Schema);
printToFile(DescriptionXML);
System.out.println("Generated file successfully.");
}
private void loadData(Instances){
Instances.add(new Book("[Tematica del objeto]", "(objeto)", <relacionado con>));}
printToFile(DescriptionXML);
private void createDocument() {
DocumentBuilderFactory dbf = DocumentBuilderFactory.newInstance(Conceptual_Schema);
try {
DocumentBuilder db = dbf.newDocumentBuilder();
dom = db.newDocument();
}catch(ParserConfigurationException pce) {
System.out.println("Error while trying to instantiate DocumentBuilder " + pce);
System.exit(1);}
}
private void createDOMTree(arg){
Element rootEle = dom.createElement("Conceptual_Schema");
dom.appendChild(rootEle);
Iterator it = Instances.iterator();
while(it.hasNext()) {
Book b = (Book)it.next();
Element bookEle = createBookElement(b);
rootEle.appendChild(bookEle);}
}
private Element createSimbolic_Descriptio_Element(Instance b){
Element InstanceEle = dom.createElement("Description");
InstanceEle.setAttribute("Semantic Description", b.getSubject());
Element authEle = dom.createElement("Description");
Text authText = dom.createTextNode(b.getConceptual_Schema());
authEle.appendChild(Terminal_Concept);
bookEle.appendChild(NonTerminal_Concept);
Element titleEle = dom.createElement("CN");
Text titleText = dom.createTextNode(b.getCT());
titleEle.appendChild(Symbolic_Description);
bookEle.appendChild(Semantic_Description);
return InstanceEle;
}
private void printToFile(){
try
{
OutputFormat format = new OutputFormat(dom);
format.setIndenting(true);
XMLSerializer serializer = new XMLSerializer(System.out, format);
XMLSerializer serializer = new XMLSerializer(
new FileOutputStream(new File("description.sec")), format);
serializer.serialize(dom);
} catch(IOException ie) {
ie.printStackTrace();}
}
public static void main(String args[]) {
XMLCreator xce = new XMLCreator(Semantic_Description);
xce.runXML(Semantic_Description);}
}
DocumentBuilder db = dbf.newDocumentBuilder();
dom = db.newDocument();
}catch(ParserConfigurationException pce) {
System.out.println("Error while trying to instantiate DocumentBuilder " + pce);
System.exit(1);}

```

Código de aplicación web-mapping

```

<%@page language="java" contentType="text/html; charset=iso-8859-1" %>
<%@ taglib uri="http://jakarta.apache.org/struts/tags-bean"prefix="bean"%>
<%@ taglib uri="http://jakarta.apache.org/struts/tags-html"prefix="html"%>
<%@ taglib uri="http://jakarta.apache.org/struts/tags-logic"prefix="logic"%>
<%@ taglib uri="http://jakarta.apache.org/struts/tags-tiles"prefix="tiles"%>
<%@ taglib uri="http://jakarta.apache.org/struts/tags-template"prefix="template"%>
<%@ taglib uri="http://jakarta.apache.org/struts/tags-nested"prefix="nested"%>
<%@ page import="org.alov.map.*"%>
<%@ page import="java.util.*"%>
<%@ page import="java.text.*"%>
<%@ page import="java.util.Hashtable"%>

```

```

<%@ page import="java.util.ArrayList"%>
<%@ page import="com.checkingTour.persistence.domain.Hotel"%>
<%@ page import="com.checkingTour.persistence.domain.Zona"%>
<%@ page import="com.checkingTour.persistence.domain.ServiciosExtraHotel"%>
<%@ page import="com.checkingTour.persistence.domain.Habitaciones"%>
<%@ page import="com.checkingTour.persistence.domain.TelefonoHotel"%>
<%@ page import="org.alov.serv.OGC_Bean"%>
<!DOCTYPE HTML PUBLIC "-//W3C//DTD HTML 4.01 Transitional//EN">
<%!
String TABLE_BGCOLOR="#8888ff";
String TH_BGCOLOR="#162F49";
String TH_TEXT_COLOR="#CDCDCD";
String TD_BGCOLOR="#F1F1F1";
String TD_BGCOLOR2="#E3E3E3";
%>
<%
    if(session.getAttribute("listaZonas") == null){
        ArrayList listaZonas = new ArrayList();

        Zona zonas = new Zona();
        zonas.setZona("-- Seleccione una zona --");
        listaZonas.add(zonas);

        zonas = new Zona();
        zonas.setZona("ESTE");
        listaZonas.add(zonas);

        zonas = new Zona();
        zonas.setZona("OESTE");
        listaZonas.add(zonas);

        zonas = new Zona();
        zonas.setZona("DORADA");
        listaZonas.add(zonas);

        session.setAttribute("listaZonas", listaZonas);
        session.setAttribute("zonaSeleccionada", "0");
    }
%>
<%Hashtable tablaPlayas = (Hashtable)session.getAttribute("tablaPlayas");
Integer expansion = (Integer)session.getAttribute("expansion");
%>
<jsp:useBean id="ogcBean" scope="request" class="org.alov.serv.OGC_Bean"/>
<html>
<head>
<TITLE>Caso 1</TITLE>
<script language="javascript">
<!--
var stdOptions = "resizable=yes,directories=no,left=10,top=10,toolbar=no";
function openLegend () {
    var url = "<%=ogcBean.replaceParam("request","GetLegend")%>";
    var options = stdOptions + ",width=600,height=400,scrollbars=no" ;
    window.open(url,"maplegend",options);
}
//-->
function enviar(){
    document.forms[2].submit();
}

function enviarPlaya(){
    document.forms[3].submit();
}
</script>
</head>
<%
session = request.getSession(true);
OGC_Bean ogcBeanZ = null;
FloatRectangle bBox = null;
double dx = 0;
double dy = 0;
float z = 0;
String zoom = "";
String full[]=new String[6];
Project project = null;
float x1 = 0;

```

```

float y1 = 0;
float x2 = 0;
float y2 = 0;
float z1 = 0;
float z2 = 0;
String wmsUrl = "";
String zoomin = "";
String zoomout = "";
String zoomext = "";
Date d = new Date();
SimpleDateFormat sdf = new SimpleDateFormat();
sdf.applyPattern("EEEE, dd/MM/yy");
String date = sdf.format(new Date());
sdf.applyPattern("h:mm a");
String hour = sdf.format(new Date());
try{
    bBox = ogcBean.getBBox();
    dx = Math.abs(bBox.x2 - bBox.x) / 3;
    dy = Math.abs(bBox.y2 - bBox.y) / 3;
    project = ogcBean.getProject();
    z = 1.0f;
    zoom = ogcBean.getParam("zoom");
    if( zoom != null ) {
        try {
            z = Float.parseFloat(zoom);
        } catch(Exception e) {
            z = 1.0f;
        }
    } else {
        try {
            full = ogcBean.getBBoxZoom(1).split(",");
            x1 = Float.parseFloat(full[0]);
            y1 = Float.parseFloat(full[1]);
            x2 = Float.parseFloat(full[2]);
            y2 = Float.parseFloat(full[3]);
            z1 = (float)((bBox.x2 - bBox.x)/(x2 - x1));
            z2 = (float)((bBox.y2 - bBox.y)/(y2 - y1));

            z = (z1 < z2)? z1 : z2;
        } catch(Exception e) {
            z = 1.0f;
        }
    }
    wmsUrl = ogcBean.getProjectId() + ".wms?request=GetPage"+
            "&width="+ogcBean.getParam("width")+
            "&height="+ogcBean.getParam("height");
    if( ogcBean.getParam("layers") != null )
        wmsUrl += "&layers="+ogcBean.getParam("layers");

    if( ogcBean.getParam("query_layers") != null )
        wmsUrl += "&query_layers="+ogcBean.getParam("query_layers");
    zoomin = wmsUrl+ "&bbox="+ ogcBean.getBBoxZoom(z/2) + "&zoom="+ (z/2);
    zoomout = wmsUrl+ "&bbox="+ ogcBean.getBBoxZoom(z*2) + "&zoom="+ (z*2);
    zoomext = wmsUrl+ "&bbox="+ ogcBean.getBBoxZoom(1) + "&zoom=1";
} catch (Exception ex){
    ogcBeanZ = (OGC_Bean)session.getAttribute("ogcBeanX");
    bBox = ogcBeanZ.getBBox();
    dx = Math.abs(bBox.x2 - bBox.x) / 3;
    dy = Math.abs(bBox.y2 - bBox.y) / 3;
    project = ogcBeanZ.getProject();
    z = 1.0f;
    zoom = ogcBeanZ.getParam("zoom");
    if( zoom != null ) {
        try {
            z = Float.parseFloat(zoom);
        } catch(Exception e) {
            z = 1.0f;
        }
    } else {
        try {
            full = ogcBeanZ.getBBoxZoom(1).split(",");
            x1 = Float.parseFloat(full[0]);
            y1 = Float.parseFloat(full[1]);
            x2 = Float.parseFloat(full[2]);
            y2 = Float.parseFloat(full[3]);
            z1 = (float)((bBox.x2 - bBox.x)/(x2 - x1));

```

```

        z2 = (float)((bBox.y2 - bBox.y)/(y2 - y1));
        z = (z1 < z2)? z1 : z2;
    } catch(Exception e) {
        z = 1.0f;
    }
}
wmsUrl = ogcBeanZ.getProjectId() + ".wms?request=GetPage"+
        "&width="+ogcBean.getParam("width")+
        "&height="+ogcBean.getParam("height");
if( ogcBeanZ.getParam("layers") != null )
    wmsUrl += "&layers="+ogcBean.getParam("layers");

if( ogcBeanZ.getParam("query_layers") != null )
    wmsUrl += "&query_layers="+ogcBeanZ.getParam("query_layers");
zoomin = wmsUrl+ "&bbox="+ ogcBeanZ.getBBoxZoom(z/2) + "&zoom="+ (z/2);
zoomout = wmsUrl+ "&bbox="+ ogcBeanZ.getBBoxZoom(z*2) + "&zoom="+ (z*2);
zoomext = wmsUrl+ "&bbox="+ ogcBeanZ.getBBoxZoom(1) + "&zoom=1";
}
%>
<BODY bgcolor="#000033">
    <table width="100%" align="center" bgcolor="#000033">
    <TR>
        <td
            background="imagenes/titulo.jpg"
            bordercolor="black" style="width: 100%; height: 110px;" colspan="3">
        </td>
    </TR>
    <tr>
        <td height="37" colspan="2">
            <table border="0" cellspacing="0" cellpadding="0" height="37" width="100%"
                align="center" bgcolor="#000033">
            <tr bgcolor="#07578F">
                <td height="3" align="left" colspan="3"></td>
            </tr>
            <tr>
                <td width="10%" bgcolor="#000033" align="left">
                <font color="<%=TH_TEXT_COLOR%>" size="1"><%= date %></font>
                </td>
                <td width="80%"></td>
                <td width="10%" bgcolor="#000033" align="left">
                <font color="<%=TH_TEXT_COLOR%>" size="1"><%= hour %></font>
                </td>
            </tr>
            </table>
        </td>
    </tr>
    </table>
    <table width="100%" align="center" bgcolor="#000033">
    <tr>
        <td width="50%">
            <table border="0" cellspacing="0" cellpadding="0" height="100%" width="100%"
                align="center">
            <TR>
            <TD>
                <table border="0" width="50%" align="left">
                <tr>
                <td>
                <table border="0">
                <tr>
                <td>
                <a href="<%=ogcBeanZ.replaceParam("bbox",ogcBeanZ.getBBoxShift(-dx,dy))%>">
                
                </a>
                </td>
            </tr>
            <tr>
            <td align="center">
            <a href="<%=ogcBeanZ.replaceParam("bbox",ogcBeanZ.getBBoxShift(0,dy))%>">
            
            </a>
            </td>
            <td>
            <a href="<%=ogcBeanZ.replaceParam("bbox",ogcBeanZ.getBBoxShift(dx,dy))%>">
            
            </a>
            </td>
            </tr>
            </table>
        </td>
    </tr>
    </table>
    </tr>
    </table>

```

```

<td>
<a href="<%=ogcBeanZ.replaceParam("bbox",ogcBeanZ.getBBoxShift(-dx,0))%>">

</a>
</td>
<td>
<form action="<%=ogcBeanZ.getProjectId()%>.wms" method="get" target="_blank">
<input type="hidden" name="request" value="GetFeatureInfo">
<%=ogcBeanZ.getMapForm()%>
<input type="image" src="<%=ogcBeanZ.replaceParam("request","GetMap")%>">
</form>
</td>
<td>
<a href="<%=ogcBeanZ.replaceParam("bbox",ogcBeanZ.getBBoxShift(dx,0))%>">

</a>
</td>
</tr>
<tr>
<td>
<a href="<%=ogcBeanZ.replaceParam("bbox",ogcBeanZ.getBBoxShift(-dx,-dy))%>">

</a>
</td>
<td align="center">
<a href="<%=ogcBeanZ.replaceParam("bbox",ogcBeanZ.getBBoxShift(0,-dy))%>">

</a>
</td>
<td>
<a href="<%=ogcBeanZ.replaceParam("bbox",ogcBeanZ.getBBoxShift(dx,-dy))%>">

</a>
</td>
</tr>
</table>
</td>
<td>
<table border="0">
<tr>
<td>
<a href="<%=zoomin%>">

</a>
</td>
</tr>
<tr>
<td>
<a href="<%=zoomout%>">

</a>
</td>
</tr>
<tr>
<td>
<a href="<%=zoomext%>">

</a>
</td>
</tr>
</tr>
<tr>
<td>
<a href="<%=ogcBeanZ.replaceParam("request","GetMap")%>" target="_blank">

</a>
</td>
</tr>
<tr>
<td>
<script language="javascript">
document.write("<a href='\"javascript:openLegend()\"'><img alt='\"mostrar leyenda\"'
src='\"img/leyenda.GIF\"' border='\"0\"'></a>");
</script>
<noscript>
<a href="<%=ogcBeanZ.replaceParam("request","GetLegend")%>" target="_blank">

```

```

        
    </a>
</noscript>
</td>
</tr>
</table>
</td>
</tr>
<tr>
    <td colspan="2" >
        <form action="<%=ogcBeanZ.getProjectId()%>.wms" method="get">
            <input type="hidden" name="request" value="GetPage">
            <input type="hidden" name="height" value="<%=ogcBeanZ.getParam("height")%>">
            <input type="hidden" name="width" value="<%=ogcBeanZ.getParam("width")%>">
            <table width="100%" border="0" cellpadding="2" cellspacing="1"
                bgcolor="<%=TABLE_BGCOLOR%>">
                <tr bgcolor="<%=TH_BGCOLOR%>">
                <td align="left" colspan="2">
                <font color="<%=TH_TEXT_COLOR%>">
                Control del mapa
                </font>
                </td>
            </tr>
            <tr bgcolor="<%=TD_BGCOLOR%>">
                <td>
                    Capas visibles
                </td>
                <td align="left">
                    <%String sLeg = ogcBeanZ.replaceParam_(ogcBeanZ.getRequest(),"request","GetLegend",false);
                    StringBuffer layList = new StringBuffer();
                    layList.append("<SELECT NAME=query_layers SIZE=1>");
                    String parActive = ogcBeanZ.getParam("query_layers");
                    Vector layers = project.layers;
                    int count = layers.size();
                    for(int i=0; i<count; i++){
                        Layer lyr = (Layer)layers.elementAt(i);
                        if(!ogcBeanZ.isLegend(lyr.id)){
                            if(ogcBeanZ.isVisible(lyr.id)){
                                %>
                                <input name="layers" type="hidden" value="<%=lyr.id%>">
                                <% }
                            } else {%>
                                <input name="layers"
                                    type="checkbox"
                                    <%= (ogcBeanZ.isVisible(lyr.id))?"checked":"" %>
                                    value="<%=lyr.id%>"><%=lyr.getName() %>
                                </input>
                                <br>
                                <%
                                if ( lyr.canSearch ) {
                                    layList.append("\n<OPTION VALUE=\"\"").append(lyr.id).append("\");
                                    if(parActive==null)
                                        parActive = lyr.id;
                                    if(lyr.id.equals(parActive))
                                        layList.append(" SELECTED");
                                    layList.append(">").append(lyr.getName()).append("</OPTION>");
                                }
                            } //for layers
                            layList.append("</SELECT>");
                            String parTheme = ogcBeanZ.getParam("styles");
                            if ( (parTheme!=null) && (parTheme.indexOf(",")>0) ) {
                                parTheme = parTheme.substring(0,parTheme.indexOf(","));
                                count = project.themes.entrySet().size();
                                StringBuffer themeList = new StringBuffer();
                                themeList.append("<SELECT NAME=styles SIZE=1>");
                                Iterator iterator = project.themes.keySet().iterator();
                                while(iterator.hasNext()) {
                                    String theme_name = (String)iterator.next();
                                    String theme_id = (String)project.themes.get(theme_name);
                                    themeList.append("<OPTION VALUE=\"\"").append(theme_id);
                                    if ( (parTheme!=null) && (theme_id.equals(parTheme)) ) {
                                        themeList.append(" SELECTED");
                                    }
                                }
                                themeList.append('>').append(theme_name);
                            } //while
                            themeList.append("</SELECT>");%>
                </td>
            </tr>
        </table>
    </td>
</tr>

```

```

</td>
</tr>
<!-- ACTIVE LAYER AND THEMES -->
<tr bgcolor="<%=TD_BGCOLOR%>">
<td>
    Capa activa
</td>
<td>
    <%=layList%>
</td>
</tr>
<!-- DOMAINS -->
<tr bgcolor="<%=TD_BGCOLOR%>">
<td>
    Acercar a
</td>
<td>
    <SELECT NAME=bbbox SIZE=1>
    <OPTION VALUE="<%=ogcBeanZ.getBBox_()%" selected>
    &nbsp;
</OPTION>
<% iterator = project.domains.keySet().iterator();
while (iterator.hasNext()) {
    String domain_name = (String)iterator.next();
    FloatRectangle ext = ((Domain)project.domains.get(domain_name)).ext;%>
<OPTION VALUE="<%=ogcBeanZ.getBBoxString(ext)%">
<%=domain_name%>
</OPTION>
<% } %>
</SELECT>
</td>
</tr>
<tr bgcolor="<%=TD_BGCOLOR%>">
<td align="right" colspan="2">
<input type="submit" value="Aplicar" align="center">
</td>
</tr>
</table>
</form>
</td>
</tr>
</table>
</td>
</TR>
</TABLE>
</td>
<td width="50%">
<table bordercolor="black" style="width: 100%; height: 500px" bgcolor="#000033">
<tr>
<td align="right" colspan="1">
<html:form action="/muestraHotel.do?sel=zona" scope="session">
<html:select property="zona" onchange="enviar()" >
<logic:present name="listaZonas" scope="session">
<logic:iterate name="listaZonas" indexId="index" id="listaZonas"
type="com.checkingTour.persistence.domain.Zona" scope="session">
<%if (index.intValue() == Integer.parseInt((String)session.getAttribute("zonaSeleccionada"))
)%>
<option value="<%=String.valueOf(index.intValue())%" selected="selected">
<bean:write name="listaZonas" property="zona"/>
</option>
<%}else{%>
<option value="<%=String.valueOf(index.intValue())%" >
<bean:write name="listaZonas" property="zona"/>
</option>
<%}%>
</logic:iterate>
</logic:present>
</html:select>
</html:form>
</td>
<td align="right" colspan="1">
<html:form action="/muestraHotel.do?sel=playa" scope="session">
<html:select property="cercaniaH" onchange="enviarPlaya()" >
<option value="-1" >
-- Seleccione una Cercania --
</option>

```

```

        <%if(session.getAttribute("tablaPlayas") != null){%>
        <%for (int i = 0; i < tablaPlayas.size() ; i++){%>
        <%if(tablaPlayas.get(String.valueOf(i)).equals((String)session.getAttribute("playaSeleccio
nada")) ){%>
        <option value="<%=tablaPlayas.get(String.valueOf(i))%" selected="selected">
        <%=tablaPlayas.get(String.valueOf(i))%>
        </option>
        <%}else{%>
        <option value="<%=tablaPlayas.get(String.valueOf(i))%" >
        <%=tablaPlayas.get(String.valueOf(i))%>
        </option>
        <%}%>
    <%}%>
</html:select>
</html:form>
</font>
</div>
</td>
</tr>
</table>
</body>
</html>

```

Código de consultas en web-mapping

```

<%@ page language="java"%>
<%@ taglib uri=http://jakarta.apache.org/struts/tags-bean prefix="bean"%>
<%@ taglib uri=http://jakarta.apache.org/struts/tags-html prefix="html"%>
<html>
<head>
<title>Recuperacion de Datos Geoespaciales</title>
</head>
<body>
<TABLE border="1" bordercolor="black" style="width: 100%; height: 500px" bgcolor="#000033">
<!-- <TR> -->
<TD-->
<!--
        background="imagenes/titulo.jpg"-->
<!--
        bordercolor="black" align="center"-->
<!--
        style="width: 100%; height: 110px; " colspan="2"></TD-->
<!-- </TR>-->
<TR>
        <td bordercolor="black" style="width: 20%; height: 400px">
        <table bgcolor="#000033" height="100%" bordercolor="black">
<tr>
        <td align="right"><a href="http://www.acapulco.gob.mx/"> 
</a></td>
</tr>
<tr>
        <td align="right"><a href="http://www.acapulco.com/es/">
</a></td>
</tr>
<tr>
        <td align="right"><a href="http://www.aca-novenet.com.mx/"> </a>
</td>
</tr>
<tr>
<td align="right"><a
        href="http://www.acabtu.com.mx/btu/directorio.html">
</a></td>
</tr>
</table>
<td bordercolor="black" align="center"
        style="width: 80%; height: 400px">
<TABLE
        background="imagenes/BahiaNoche.jpg"
        style="width: 42%; height: 222px">
<tr>
<TD align="right"><html:link href="/CeckingTourWeb/acapulcoHot.wms?request=GetPage">

</html:link></TD>
<TD align="right"><html:link href="/CeckingTourWeb/acapulcoRes.wms?request=GetPage">

```



```


</html:link></TD>
</TR>
</TABLE>
</td>
<tr>
  <td bordercolor="black" align="center" colspan="2"
  style="width: 100%; height: 20px;">
  <H5 align="center"><FONT color="#CCCCFF" face="#000066">Derechos
  Reservados</FONT></H5>
  <H5 align="center"><FONT color="#CCCCFF" face="#000066">Instituto
  Politecnico Nacional</FONT></H5>
  <H5 align="center"><FONT color="#CCCCFF" face="#000066">CIC</FONT></H5>
</TD>
</TR>
</TABLE>
</body>
</html>

```

Código de consulta en SPARQL en la ontología

Consulta 1.

```

import com.hp.hpl.jena.ontology.OntClass;
import com.hp.hpl.jena.ontology.OntModel;
import com.hp.hpl.jena.ontology.OntModelSpec;
import com.hp.hpl.jena.rdf.model.ModelFactory;
import com.hp.hpl.jena.util.FileManager;
import com.hp.hpl.jena.util.iterator.ExtendedIterator;
public class Esl extends Object {
  /**
   * @param args
   */
  public static void main(String[] args) {
    // TODO Metodo stub auto-generado
    OntModel model = null;

    //Crear un modelo utilizando como razonador OWL MEM_RULE_INF
    model = ModelFactory.createOntologyModel( OntModelSpec.OWL_MEM_RULE_INF );
    //Abrir el archivo con la ontología
    java.io.InputStream in = FileManager.get().open( "c://TurismoAcapulco.owl" );
    if (in == null) {
      throw new IllegalArgumentException("Archivo no encontrado");
    }

    //leer el archivo RDF/XML
    model.read(in, "");

    //El siguiente codigo muestra un listado con las clases e
    //instancias existentes en el modelo
    System.out.println( "Clases/Instancias");
    System.out.println( "=====");
    ExtendedIterator iteratorClasses = model.listClasses();
    while ( iteratorClasses.hasNext() ){
      OntClass ontClass = (OntClass) iteratorClasses.next();
      System.out.println( ontClass );
      ExtendedIterator iteratorInstances = ontClass.listInstances();
      while ( iteratorInstances.hasNext() ){
        System.out.println( "t"+iteratorInstances.next() );
      }
      System.out.println("");
    }
    System.out.println( "=====");
  }
}

```

Consulta 2.

```
import com.hp.hpl.jena.ontology.OntModel;
import com.hp.hpl.jena.ontology.OntModelSpec;
import com.hp.hpl.jena.query.QueryExecution;
import com.hp.hpl.jena.query.QueryExecutionFactory;
import com.hp.hpl.jena.query.QueryFactory;
import com.hp.hpl.jena.query.ResultSet;
import com.hp.hpl.jena.query.ResultSetFormatter;
import com.hp.hpl.jena.rdf.model.ModelFactory;
import com.hp.hpl.jena.util.FileManager;
public class Es2 extends Object {
    /**
     * @param args
     */
    public static void main(String[] args) {
        // TODO Metodo stub auto-generado
        OntModel model = null;
        String ns = "http://www.owl-ontologies.com/Ontology1173811255.owl";

        //Crear un modelo utilizando como razonador OWL_MEM_RULE_INF
        model = ModelFactory.createOntologyModel( OntModelSpec.OWL_MEM_RULE_INF );

        //Abrir el archivo con la ontología
        java.io.InputStream in = FileManager.get().open( "C:/TurismoAcapulco.owl" );
        if (in == null) {
            throw new IllegalArgumentException("Archivo no encontrado");
        }

        //Leer el archivo RDF/XML
        model.read(in, "");

        //El siguiente código ejecuta una consulta SPARQL que
        //devuelve la propiedad correspondiente a la Direccion de la instancia CruzRoja
        String queryString =
            "PREFIX result: <http://www.owl-ontologies.com/Ontology1173811255.owl#>
            "
            "SELECT ?Hospitales "+
            "WHERE "+
            "{ "+
            "  result:CruzRoja result:direccionServicio ?Hospitales . "+
            "}";

        com.hp.hpl.jena.query.Query query = QueryFactory.create(queryString);

        //Ejecutar la consulta y obtener los resultados
        QueryExecution qe = QueryExecutionFactory.create(query, model);

        try {
            ResultSet results = qe.execSelect();
            ResultSetFormatter.out(System.out, results, query);
        } finally { qe.close(); }
    }
}
```

Consulta 3.

```
import com.hp.hpl.jena.ontology.OntModel;
import com.hp.hpl.jena.ontology.OntModelSpec;
import com.hp.hpl.jena.query.QueryExecution;
import com.hp.hpl.jena.query.QueryExecutionFactory;
import com.hp.hpl.jena.query.QueryFactory;
import com.hp.hpl.jena.query.ResultSet;
import com.hp.hpl.jena.query.ResultSetFormatter;
import com.hp.hpl.jena.rdf.model.ModelFactory;
import com.hp.hpl.jena.util.FileManager;
public class Es3 extends Object {
    /**
     * @param args
     */
    public static void main(String[] args) {
        // TODO Metodo stub auto-generado
        OntModel model = null;
```

```

String ns = "http://www.owl-ontologies.com/Ontology1173811255.owl";

//Crear un modelo utilizando como razonador OWL MEM_RULE_INF
model = ModelFactory.createOntologyModel( OntModelSpec.OWL_MEM_RULE_INF );

//Abrir el archivo con la ontología
java.io.InputStream in = FileManager.get().open( "C:/TurismoAcapulco.owl" );
if (in == null) {
    throw new IllegalArgumentException("Archivo no encontrado");
}

//Leer el archivo RDF/XML
model.read(in, "");

//El siguiente código ejecuta una consulta SPARQL que
//devuelve todas las instancias de Bares que presenta el Hotel AcapulcoDiana
String queryString =
    "PREFIX result: <http://www.owl-ontologies.com/Ontology1173811255.owl#> "+
    "SELECT ?Bares "+
    "WHERE "+
    "{ "+
    "  result:AcapulcoDiana result:hasA ?Bares . "+
    "}";

com.hp.hpl.jena.query.Query query = QueryFactory.create(queryString);

//Ejecutar la consulta y obtener los resultados
QueryExecution qe = QueryExecutionFactory.create(query, model);

try {
    ResultSet results = qe.execSelect();
    ResultSetFormatter.out(System.out, results, query) ;
} finally { qe.close() ; }

}

```

Consulta 4.

```

import com.hp.hpl.jena.ontology.OntModel;
import com.hp.hpl.jena.ontology.OntModelSpec;
import com.hp.hpl.jena.query.QueryExecution;
import com.hp.hpl.jena.query.QueryExecutionFactory;
import com.hp.hpl.jena.query.QueryFactory;
import com.hp.hpl.jena.query.ResultSet;
import com.hp.hpl.jena.query.ResultSetFormatter;
import com.hp.hpl.jena.rdf.model.ModelFactory;
import com.hp.hpl.jena.util.FileManager;
public class Es4 extends Object {
    /**
     * @param args
     */
    public static void main(String[] args) {
        // TODO Metodo stub auto-generado
        OntModel model = null;
        String ns = "http://www.owl-ontologies.com/Ontology1173811255.owl";

        //Crear un modelo utilizando como razonador OWL MEM_RULE_INF
        model = ModelFactory.createOntologyModel( OntModelSpec.OWL_MEM_RULE_INF );

        //Abrir el archivo con la ontología
        java.io.InputStream in = FileManager.get().open( "C:/TurismoAcapulco.owl" );
        if (in == null) {
            throw new IllegalArgumentException("Archivo no encontrado");
        }

        //Leer el archivo RDF/XML
        model.read(in, "");

        //El siguiente código ejecuta una consulta SPARQL que devuelve todas
        //las instancias correspondientes al tipo de comida de un restaurant
        String queryString =
            "PREFIX result: <http://www.owl-ontologies.com/Ontology1173811255.owl#> "+
            "SELECT ?Restaurante "+
            "WHERE "+
            "{ "+

```

```

        "    result:HardRock result:tipoComida ?Restaurante . "+
        "});";

com.hp.hpl.jena.query.Query query = QueryFactory.create(queryString);

//Ejecutar la consulta y obtener los resultados
QueryExecution qe = QueryExecutionFactory.create(query, model);

try {
    ResultSet results = qe.execSelect();
    ResultSetFormatter.out(System.out, results, query) ;
} finally { qe.close() ; }
}
}

```

Consulta 5.

```

import com.hp.hpl.jena.ontology.OntModel;
import com.hp.hpl.jena.ontology.OntModelSpec;
import com.hp.hpl.jena.query.QueryExecution;
import com.hp.hpl.jena.query.QueryExecutionFactory;
import com.hp.hpl.jena.query.QueryFactory;
import com.hp.hpl.jena.query.ResultSet;
import com.hp.hpl.jena.query.ResultSetFormatter;
import com.hp.hpl.jena.rdf.model.ModelFactory;
import com.hp.hpl.jena.util.FileManager;
public class Es5 extends Object {
    /**
     * @param args
     */
    public static void main(String[] args) {
        // TODO Metodo stub auto-generado
        OntModel model = null;
        String ns = "http://www.owl-ontologies.com/Ontology1173811255.owl";

        //Crear un modelo utilizando como razonador OWL_MEM_RULE_INF
        model = ModelFactory.createOntologyModel( OntModelSpec.OWL_MEM_RULE_INF );

        //Abrir el archivo con la ontología
        java.io.InputStream in = FileManager.get().open( "C:/TurismoAcapulco.owl" );
        if (in == null) {
            throw new IllegalArgumentException("Archivo no encontrado");
        }

        //Leer el archivo RDF/XML
        model.read(in, "");

        //El siguiente código ejecuta una consulta SPARQL que devuelve todas
        //las instancias correspondientes a hoteles y las etiquetas de los mismos
        String queryString =
            "PREFIX result: <http://www.owl-ontologies.com/Ontology1173811255.owl#> "+
            "SELECT * "+
            "WHERE "+
            "{ "+
            "    ?Hotel result:NombreHotel ?NombreHotel."+
            "}";

        com.hp.hpl.jena.query.Query query = QueryFactory.create(queryString);

        //Ejecutar la consulta y obtener los resultados
        QueryExecution qe = QueryExecutionFactory.create(query, model);

        try {
            ResultSet results = qe.execSelect();
            ResultSetFormatter.out(System.out, results, query) ;
        } finally { qe.close() ; }
    }
}

```

Consulta 6.

```

import com.hp.hpl.jena.ontology.OntModel;
import com.hp.hpl.jena.ontology.OntModelSpec;
import com.hp.hpl.jena.query.QueryExecution;
import com.hp.hpl.jena.query.QueryExecutionFactory;
import com.hp.hpl.jena.query.QueryFactory;
import com.hp.hpl.jena.query.ResultSet;
import com.hp.hpl.jena.query.ResultSetFormatter;
import com.hp.hpl.jena.rdf.model.ModelFactory;
import com.hp.hpl.jena.util.FileManager;
public class Es6 extends Object {
    /**
     * @param args
     */
    public static void main(String[] args) {
        // TODO Metodo stub auto-generado
        OntModel model = null;
        String ns = "http://www.owl-ontologies.com/Ontology1173811255.owl";

        //Crear un modelo utilizando como razonador OWL_MEM_RULE_INF
        model = ModelFactory.createOntologyModel( OntModelSpec.OWL_MEM_RULE_INF );

        //Abrir el archivo con la ontología
        java.io.InputStream in = FileManager.get().open( "C:/TurismoAcapulco.owl" );
        if (in == null) {
            throw new IllegalArgumentException("Archivo no encontrado");
        }

        //Leer el archivo RDF/XML
        model.read(in, "");

        //El siguiente código ejecuta una consulta SPARQL que devuelve todas
        //las instancias correspondientes a hoteles y sus direcciones correspondientes
        String queryString =
            "PREFIX result: <http://www.owl-ontologies.com/Ontology1173811255.owl#> "+
            "SELECT * "+
            "WHERE "+
            "{ "+
            "    ?Hotel result:CostoHabitacion ?CostoHabitacion."+
            "}";

        com.hp.hpl.jena.query.Query query = QueryFactory.create(queryString);

        //Ejecutar la consulta y obtener los resultados
        QueryExecution qe = QueryExecutionFactory.create(query, model);

        try {
            ResultSet results = qe.execSelect();
            ResultSetFormatter.out(System.out, results, query);
        } finally { qe.close(); }
    }
}

```

Consulta 7.

```

import com.hp.hpl.jena.ontology.OntModel;
import com.hp.hpl.jena.ontology.OntModelSpec;
import com.hp.hpl.jena.query.QueryExecution;
import com.hp.hpl.jena.query.QueryExecutionFactory;
import com.hp.hpl.jena.query.QueryFactory;
import com.hp.hpl.jena.query.ResultSet;
import com.hp.hpl.jena.query.ResultSetFormatter;
import com.hp.hpl.jena.rdf.model.ModelFactory;
import com.hp.hpl.jena.util.FileManager;
public class Es7 extends Object {
    /**
     * @param args
     */
    public static void main(String[] args) {
        // TODO Metodo stub auto-generado
        OntModel model = null;
        String ns = "http://www.owl-ontologies.com/Ontology1173811255.owl";

```

```

//Crear un modelo utilizando como razonador OWL_MEM_RULE_INF
model = ModelFactory.createOntologyModel( OntModelSpec.OWL_MEM_RULE_INF );

//Abrir el archivo con la ontología
java.io.InputStream in = FileManager.get().open( "C:/TurismoAcapulco.owl" );
if (in == null) {
    throw new IllegalArgumentException("Archivo no encontrado");
}

//Leer el archivo RDF/XML
model.read(in, "");

//El siguiente código ejecuta una consulta SPARQL que devuelve todas
//las instancias correspondientes a hoteles con el costo de habitacion de cada uno
String queryString =
    "PREFIX result: <http://www.owl-ontologies.com/Ontology1173811255.owl#> "+
    "SELECT * "+
    "WHERE "+
    "{ "+
    "    ?Hotel result:CostoHabitacion ?CostoHabitacion."+
    "} ORDER BY ?CostoHabitacion";

com.hp.hpl.jena.query.Query query = QueryFactory.create(queryString);

//Ejecutar la consulta y obtener los resultados
QueryExecution qe = QueryExecutionFactory.create(query, model);

try {
    ResultSet results = qe.execSelect();
    ResultSetFormatter.out(System.out, results, query);
} finally { qe.close(); }
}
}

```

Consulta 8.

```

import com.hp.hpl.jena.ontology.OntModel;
import com.hp.hpl.jena.ontology.OntModelSpec;
import com.hp.hpl.jena.query.QueryExecution;
import com.hp.hpl.jena.query.QueryExecutionFactory;
import com.hp.hpl.jena.query.QueryFactory;
import com.hp.hpl.jena.query.ResultSet;
import com.hp.hpl.jena.query.ResultSetFormatter;
import com.hp.hpl.jena.rdf.model.ModelFactory;
import com.hp.hpl.jena.util.FileManager;
public class Es8 extends Object {
/**
    * @param args
    */
    public static void main(String[] args) {
        // TODO Metodo stub auto-generado
        OntModel model = null;
        String ns = "http://www.owl-ontologies.com/Ontology1173811255.owl";

        //Crear un modelo utilizando como razonador OWL_MEM_RULE_INF
        model = ModelFactory.createOntologyModel( OntModelSpec.OWL_MEM_RULE_INF );

        //Abrir el archivo con la ontología
        java.io.InputStream in = FileManager.get().open( "C:/TurismoAcapulco.owl" );
        if (in == null) {
            throw new IllegalArgumentException("Archivo no encontrado");
        }

        //Leer el archivo RDF/XML
        model.read(in, "");

        //El siguiente código ejecuta una consulta SPARQL que devuelve los hoteles
        //cuyo costo de habitacion sea de 1100 o 1200 pesos
        String queryString =
            "PREFIX result: <http://www.owl-ontologies.com/Ontology1173811255.owl#> "+
            "SELECT * "+
            "WHERE "+
            "{ "+
            "?Hotel result:CostoHabitacion ?CostoHabitacion."+
            "FILTER (?CostoHabitacion = 1100 || ?CostoHabitacion = 1200 )" +

```

```

        }";
    com.hp.hpl.jena.query.Query query = QueryFactory.create(queryString);

    //Ejecutar la consulta y obtener los resultados
    QueryExecution qe = QueryExecutionFactory.create(query, model);

    try {
        ResultSet results = qe.execSelect();
        ResultSetFormatter.out(System.out, results, query) ;
    } finally { qe.close() ; }
}
}

```

Consulta 9.

```

import com.hp.hpl.jena.ontology.OntModel;
import com.hp.hpl.jena.ontology.OntModelSpec;
import com.hp.hpl.jena.query.QueryExecution;
import com.hp.hpl.jena.query.QueryExecutionFactory;
import com.hp.hpl.jena.query.QueryFactory;
import com.hp.hpl.jena.query.ResultSet;
import com.hp.hpl.jena.query.ResultSetFormatter;
import com.hp.hpl.jena.rdf.model.ModelFactory;
import com.hp.hpl.jena.util.FileManager;
public class Es9 extends Object {
    /**
     * @param args
     */
    public static void main(String[] args) {
        // TODO Metodo stub auto-generado
        OntModel model = null;
        String ns = "http://www.owl-ontologies.com/Ontology1173811255.owl";

        //Crear un modelo utilizando como razonador OWL_MEM_RULE_INF
        model = ModelFactory.createOntologyModel( OntModelSpec.OWL_MEM_RULE_INF );

        //Abrir el archivo con la ontología
        java.io.InputStream in = FileManager.get().open( "C:/TurismoAcapulco.owl" );
        if (in == null) {
            throw new IllegalArgumentException("Archivo no encontrado");
        }

        //Leer el archivo RDF/XML
        model.read(in, "");

        //El siguiente código ejecuta una consulta SPARQL que devuelve los hoteles
        //cuyo costo de habitacion es menor a 500 pesos ordenados de menor a mayor
        String queryString =
            "PREFIX po: <http://www.owl-ontologies.com/Ontology1173811255.owl#> "+
            "SELECT *"+
            "WHERE "+
            "{"+
            "?Hotel po:CostoHabitacion ?CostoHabitacion."+
            "FILTER (?CostoHabitacion < 500)"+
            "}" +
            "ORDER BY ?CostoHabitacion";

        com.hp.hpl.jena.query.Query query = QueryFactory.create(queryString);

        //Ejecutar la consulta y obtener los resultados
        QueryExecution qe = QueryExecutionFactory.create(query, model);

        try {
            ResultSet results = qe.execSelect();
            ResultSetFormatter.out(System.out, results, query) ;
        } finally { qe.close() ; }
    }
}

```

Consulta 10.

```
import com.hp.hpl.jena.ontology.OntModel;
import com.hp.hpl.jena.ontology.OntModelSpec;
import com.hp.hpl.jena.query.QueryExecution;
import com.hp.hpl.jena.query.QueryExecutionFactory;
import com.hp.hpl.jena.query.QueryFactory;
import com.hp.hpl.jena.query.ResultSet;
import com.hp.hpl.jena.query.ResultSetFormatter;
import com.hp.hpl.jena.rdf.model.ModelFactory;
import com.hp.hpl.jena.util.FileManager;
public class Es10 extends Object {
    /**
     * @param args
     */
    public static void main(String[] args) {
        // TODO Metodo stub auto-generado
        OntModel model = null;
        String ns = "http://www.owl-ontologies.com/Ontology1173811255.owl";

        //Crear un modelo utilizando como razonador OWL_MEM_RULE_INF
        model = ModelFactory.createOntologyModel( OntModelSpec.OWL_MEM_RULE_INF );

        //Abrir el archivo con la ontología
        java.io.InputStream in = FileManager.get().open( "C:/TurismoAcapulco.owl" );
        if (in == null) {
            throw new IllegalArgumentException("Archivo no encontrado");
        }

        //Leer el archivo RDF/XML
        model.read(in, "");

        //El siguiente código ejecuta una consulta SPARQL que devuelve los hoteles
        //cuyo costo de habitacion es menor a 500 pesos ordenados de mayor a menor
        String queryString =
            "PREFIX po: <http://www.owl-ontologies.com/Ontology1173811255.owl#> "+
            "SELECT *"+
            "WHERE "+
            "{"+
            "?Hotel po:CostoHabitacion ?CostoHabitacion."+
            "FILTER (?CostoHabitacion < 500)"+
            "}" +
            "ORDER BY DESC(?CostoHabitacion)";

        com.hp.hpl.jena.query.Query query = QueryFactory.create(queryString);

        //Ejecutar la consulta y obtener los resultados
        QueryExecution qe = QueryExecutionFactory.create(query, model);

        try {
            ResultSet results = qe.execSelect();
            ResultSetFormatter.out(System.out, results, query);
        } finally { qe.close(); }
    }
}
```


Anexo 2. Ontología de Dominio

En este anexo se adjunta un **CD-ROM**, el cual contiene las ontologías de aplicación y de dominio geográfico diseñadas e implementadas en esta tesis. El motivo de colocar éste, se debe a la cantidad de líneas de código que describen y definen a las ontologías. Estas estructuras de representación de conocimiento han sido desarrolladas en el editor Protégé, ver. 3.3 beta, el formato nativo es OWL Full.

Asimismo, este CD contiene el presente documento de tesis en formato PDF y los códigos fuente de la aplicación y ejemplos desarrollados en lenguaje Java; así como la API Jena, ALOVMAP y JTS.