



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN
COMPUTACIÓN

LABORATORIO DE PROCESAMIENTO INTELIGENTE DE
INFORMACION GEOESPACIAL

DESCRIPCIÓN DE CONCEPTOS
GEOMORFOLÓGICOS EN MODELOS
DIGITALES DE ELEVACIÓN

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRÍA
EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

PRESENTA:

PAOLA NAYELI CORTEZ HERRERA

DIRECTORES DE TESIS:

DR. ROLANDO QUINTERO TÉLLEZ
DR. SERGUEI LEVACHKINE



México D. F., Diciembre de 2008



SIP-14

INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México, D.F. siendo las 12:15 horas del día 13 del mes de Noviembre de 2008 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación del:

Centro de Investigación en Computación

para examinar la tesis de grado titulada:

“DESCRIPCIÓN DE CONCEPTOS GEOMORFOLÓGICOS EN MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN”

CORTEZ Apellido paterno	HERRERA materno	PAOLA NAYELI nombre(s)
		Con registro: B 0 6 1 0 4 6

aspirante al grado de: **MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACIÓN DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Presidente

Dr. Marco Antonio Moreno Ibarra

Secretario

Dr. Miguel Jesús Torres Ruiz

**Primer vocal
(Director de tesis)**

Dr. Rotando Quintero Téllez

**Segundo vocal
(Director de tesis)**

Dr. Serguei Pavlovich Levachkine

Tercer vocal

Dra. Hind Taud

Suplente

Dr. José Giovanni Guzmán Lugo

El Presidente del Colegio

Dr. Jaime Álvarez Gallegos
 INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
 CENTRO DE INVESTIGACION EN COMPUTACION
 DIRECCION



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESION DE DERECHOS

En la Ciudad de México el día 18 del mes Noviembre del año 2008, el (la) que suscribe Paola Nayeli Cortez Herrera alumno (a) del Programa de Maestría en Ciencias de la Computación con número de registro B061046, adscrito a Centro de Investigación en Computación, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de Dr. Rolando Quintero y Dr. Serguei Levachkine y cede los derechos del trabajo intitulado "Descripción de Conceptos Geomorfológicos en Modelos Digitales de Elevación", al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección Av. Juan de Dios Batiz S/N casi esq. Miguel Othón de Mendizábal, Unidad Profesional "Adolfo López Mateos" Edificio CIC. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Paola N. Cortez Herrera
Paola Nayeli Cortez Herrera
Nombre y firma

RESUMEN

Las personas podemos evaluar la cercanía de objetos geográficos de acuerdo a la percepción que se tiene de los mismos. Ante la pregunta si la ciudad “x” esta cerca de la ciudad “y”, las respuestas varían de acuerdo al entorno al que pertenecen tales objetos. Además, cuando se consideran objetos que no tienen áreas definidas (como los límites de dos montañas) las percepciones de las personas con respecto a la distancia (cerca o lejos) varían aún más. Por lo tanto, definir una metodología que permita procesar estos elementos ayudaría a resolver problemas que involucran los conceptos de proximidad.

Esta investigación está enfocada en determinar las relaciones de proximidad entre objetos geomorfológicos (montañas, cerros, llanuras), para encontrar conceptos de objetos geomorfológicos a través de otros objetos que los componen o definen. El caso de estudio de esta investigación consiste en encontrar un “valle” en un modelo digital de elevación (DEM).

La metodología desarrollada procesa las relaciones de “distancia” y “rodeado” entre objetos geomorfológicos para determinar si una zona puede ser catalogada como un valle. Se proponen definiciones de los conceptos “valle” y “rodeado” para acotar la investigación. Se particulariza la métrica de distancia en el dominio de las formas del terreno a través de la aplicación de encuestas, éstas permiten obtener la percepción que tienen las personas de la proximidad. Adicionalmente, se propone una metodología que permite especializar las métricas abstractas (relativas a distancia) y aplicarlas a un dominio particular (las formas del terreno almacenadas en modelos digitales de elevación). Los DEM utilizados en este trabajo corresponden al valle de México. Finalmente, se obtuvo una descripción del DEM, en donde se encuentran, entre otras formas, las descripciones de los valles dentro de los objetos contenidos en un modelo digital de elevación.

ABSTRACT

People can easily evaluate the proximity of geographical objects according to their perception. When asked if the city "x" is next to city "y", the answers may vary according to the environment that to such objects belong. Moreover, when considering objects that have no defined areas (such as mountains) perceptions of people with regard to the distance (near or far) vary even more. Therefore, defining a methodology to process these elements would help us to solve problems that involve the concepts of proximity.

This work is focused on identifying the proximity relations between geomorphologic objects (mountains, hills, plains), to find "new" geomorphologic concepts through other objects that make them up. The case of study is to find a "valley" in a digital elevation model (DEM).

The methodology developed processes the "distance" and "surrounding" relations between geomorphologic objects to determine if an area can be called as a "valley". Proposed definitions of the terms "valley" and "surrounding" to narrow the investigation. The distance measure is particularized for the landforms domain through the implementation of surveys. They allow to get the perception that people have about distances. Additionally, we proposed a methodology that allows specializing abstract metrics (distance, in our case study) and apply to a specified domain (landforms contained within DEMs). The DEM used in this study correspond to the valley of Mexico. Finally, we got the DEM description, where we put, among other landforms, the descriptions of valleys within the DEM.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS y a la vida por permitirme haber llegado hasta el día de hoy.

A mis padres Guadalupe Herrera Rahal y Gerardo Cortez Santiago, por su inmenso amor y comprensión. Por darme todo su apoyo para lograr esta meta. Los amo, mil gracias por todo papis.

A mi hermana Sheila Sarai, la beba por darme la fuerza cuando pensé que no lograría terminar esta meta.

A la familia Sánchez Ángeles, porque son parte fundamental de este logro, por abrirme las puertas de su hogar y su corazón. Los quiero mucho.

A la persona que me ha enseñado el significado de la palabra compartir, por tu apoyo y esos momentos llenos de magia TE AMO Félix.

A mi asesor Rolando Quintero, por su paciencia y ayuda para guiarme en este logro y confiar en mí. Muchas gracias.

Al Dr. Serguei Levachkine por hacerme más fuerte.

A mis profesores Marco Moreno, Miguel Torres, Giovanni Guzmán, por sus enseñanzas.

A Ignacio Minjares por ayudarme para iniciar mi vida de docente.

A mis amigos del alma Iris Adriana y Héctor Miguel, por esas porras cuando me han visto llorar, y esos cafecitos. Valen mil!!

A mi amiga Karina Verastegui, por encontrarnos en el momento que mas me hacía falta.

A mis nuevos amigos y compañeros los Cosh Gerita, Johnito, Childly y Roby indudablemente han ayudado a hacer de esta estancia en el laboratorio algo inolvidable, son un amor.

Y a mi amiga Sara García junto con las personas que se dieron cuenta del inicio de esta meta, se les agradece el apoyo y animo.

Prueba superada!!



*En mis dominios nunca se oculta el sol,
solo en ocasiones se nubla*

ÍNDICE

RESUMEN	4
ABSTRACT	5
AGRADECIMIENTOS	6
ÍNDICE	8
ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS	10
CAPITULO 1	
INTRODUCCIÓN	12
1.1 Planteamiento del problema.....	12
1.2 Fundamentos	15
1.3 Hipótesis	17
1.4 Objetivos.....	17
1.5 Justificación.....	18
1.6 Alcance de la tesis	18
1.7 Estructura de la tesis	18
CAPITULO 2	
ESTADO DEL ARTE	20
2.1 Modelo Digital de Elevación (DEM – Digital Elevation Model).....	20
2.1.1 Aplicaciones de los DEM	23
2.2 Semántica Espacial	24
2.2.1 Representación Semántica de los DEM.....	26
2.3 Topología.....	27
2.3.1 F.B Zhan	28
2.3.2 Xiaobai Yao y Jean-Claude Thill.....	29
2.4 Lógica Difusa (FL - Fuzzy Logic)	32
CAPITULO 3	
MARCO TEÓRICO	35
3.1 Ontologías	35
3.1.1 Thomas Gruber.....	35
3.1.2 Nicola Guarino.....	38
3.1.3 David M. Mark y Andrew G. Turk.....	42
3.1.4 Otros trabajos relacionados con ontologías	43
3.2 Definiciones	45
3.3 Computo de Palabras (CW – Computing with Words)	48
3.4 MATLAB	55

CAPITULO 4	
METODOLOGÍA.....	57
4.1 <i>Introducción</i>	57
4.2 <i>Descripción general de la metodología</i>	60
4.3 <i>Enfoque de la metodología</i>	61
4.4 <i>Análisis de la metodología</i>	71
CAPITULO 5	
RESULTADOS	79
5.1 <i>Extractos y relaciones</i>	79
5.2 <i>Conceptualización</i>	81
5.3 <i>Encuestas</i>	85
5.4 <i>Metodología Base</i>	94
5.5 <i>Relación topológica “rodeado de”</i>	95
5.6 <i>Implantación de la metodología</i>	98
CAPITULO 6	
CONCLUSIONES Y TRABAJO A FUTURO	104
6.1 <i>Conclusiones</i>	104
6.1.1 <i>Alcances y limitaciones</i>	105
6.2 <i>Trabajo futuro</i>	106
6.3 <i>Trabajos presentados</i>	106
ANEXOS	107
<i>Formato de la hoja de respuestas de la encuesta piloto</i>	107
<i>Información adicional sobre las encuestas</i>	110
REFERENCIAS	111

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Figura 1.1. Como sabemos que algo está ¿cerca o lejos?.....	13
Figura 1.2 Converger dos mundos.....	14
Figura 2.1 a) y b) Distintas representaciones de un DEM correspondiente a un estado de Estados Unidos y	22
c) Imagen del valle de México en un DEM, representado en 3D.....	22
Figura 2.2 Triangulo Semántico [Werner, 2005]	25
Figura 2.3 Objeto difuso.....	29
Figura 2.4 Regla en que se basa la lógica difusa.....	32
Figura 2.5 Vaso “medio lleno” o “medio vacío”.....	33
Figura 3.1 Tipos de ontologías, de acuerdo a su nivel de dependencia para una tarea en particular [Las líneas representan relaciones de especialización]	41
Figura 3.2 El paradigma de los cuatro universos desarrollados por Gomes y Velho [1995]	44
Figura 3.3 La perspectiva humana del paradigma de los cuatro universos [Fonseca et al, 2002].....	44
Figura 3.4 Ejemplo de una relación.....	47
Figura 3.5 f^* es un grafo difuso con aproximación a la función f [Zadeh, 1996]	51
Figura 3.6 Maximización de una función, una función en un intervalo- evaluado, y un grafo difuso.....	51
Figura 3.7 Percepciones de las relaciones de dos objetos geomorfológicos	52
Figura 3.8 Estructura Conceptual del CW [Zadeh, 1996]	53
Figura 3.9 Estructura conceptual de la teoría computacional de percepciones. [Zadeh, 1999].....	54
Figura 4.1 Metodología general propuesta	58
Figura 4.2 Metodología en particular sobre la descripción que interesa en el caso de estudio.....	59
Tabla 4.1 Definición de los conceptos: cerca, lejos, rodeado, alrededor y entre.	62
Figura 4.3 Entorno de un paisaje	63
Figura 4.4 Muestra la diferencia en la apreciación que sufren las distancias cuando se toman como referencias distintos lugares.....	64
Figura 4.5 ¿Qué está más cerca del CIC, la UNAM o la ciudad de Pachuca?	65
Figura 4.6a Idea de la distancia sobre los objetos	66
Figura 4.6b La distancia aplicada a los objetos	66
Figura 4.7 Esquema general para dar semántica a las propiedades de cualquier objeto geográfico	67
Figura 4.8 Dominio de las formas del terreno	68
Figura 4.9 Dominio de las distancias en las formas del terreno	68
Figura 4.10 Imagen del valle de México proporcionada por: www.sma.df.gob.mx/.../mapas/images/dom_2b.jpg	70
Figura 4.11 Representación de la manera en cómo se concibe el concepto “rodeado de” en la metodología. Los objetos elevaciones y llanura deben de estar cerca para determinar que se ha encontrado un valle.	71
Figura 4.12 Clasificación de las distancias.....	71
Figura 4.13 Diferentes distancias que posee un objeto de acuerdo a los objetos con que se relaciona	72
Figura 4.14 Representación de las distancias de dos objetos geográficos [extractos]. ..	73

Figura 4.15 Haciendo un mapeo de números a conceptos	74
Figura 4.16 Forma en que se obtiene la función de membresía de las variables lingüísticas de distancia	74
Figura 4.17 Fórmula que encuentra la función de membresía	75
Figura 4.18 Funciones de difusificación	76
Figura 4.19 Forma en que en esta metodología se concibe la relación ‘x’ esta “rodeado de”	77
Figura 4.20 Muestra la manera en que la metodología considera que la llanura ‘x’ “no está rodeada” de elevaciones	77
Figura 5.1 Extractos y relaciones necesarios en la investigación.....	80
Figura 5.2. Fragmentos de la ontología top_ontology.....	81
Figura 5.3 Ontología Hunxeet	82
Figura 5.4 La conceptualización con la clase distancia agregada	83
Figura 5.5. Representación de la distancia_f en la ontología	84
Figura 5.6 Tipos de relaciones que se establecen con la clase distancia	84
Figura 5.7. Clasificación de las escalas de las distancias	86
Figura 5.8 Imágenes que conforman la primera parte de la encuesta.....	87
Figura 5.9 Imagen perteneciente a la segunda parte de la encuesta.	87
Figura 5.10 Resultados obtenidos de la pregunta número uno de la encuesta “piloto” aplicada.....	88
Figura 5.11 La imagen de la figura 9 de la encuesta con su gráfica respectiva.	89
Tabla 5.1 Los valores de las distancias tomadas de la encuesta siendo vinculadas a un concepto.....	90
Tabla 5.2 Los datos clasificados de la encuesta con su correspondiente media y desviación estándar calculada.....	91
Figura 5.12 Gráfica que muestra los datos arrojados por la encuesta en términos de distancias y conceptos	92
Tabla 5.3 Muestra la probabilidad de las distancias con cada uno de las clasificaciones de la distancia	93
Figura 5.13 Imágenes de la metodología. a) Imagen del DEM antes de ser procesado, b) muestra algunos extractos, las firmas de dichos extractos se encuentran escritas arriba de cada gráfica.....	94
Figura 5.14 Fotografía de la ciudad de Monterrey	95
Figura 5.15 Análisis de la figura 5.14 donde se aprecia únicamente los puntos que nos interesan.....	95
Figura 5.16 Los cálculos realizados por la metodología	99
Figura 5.17 Representación del área de las elevaciones cercanas a la llanura.	99
Figura 5.18 Forma en que la metodología indica que un objeto no se encuentra rodeado	100
Figura 5.19 Imagen del DEM a analizar.....	101
Figura 5.20 Imagen que muestra el contorno de las elevaciones cercanas a la llanura	101
Figura 5.21 El análisis de hacer los cálculos correspondientes son reflejados en el programa con enunciados	102
Figura 5.22 Resultado final de la investigación	103

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se define el marco general del trabajo, se presenta el planteamiento del problema, así como los objetivos, la justificación y una breve descripción de los demás capítulos.

1.1 Planteamiento del problema

Entre los seres humanos, al preguntarnos qué tan lejos o cerca se encuentra la ciudad del DF de la ciudad de Cuernavaca, se viene a la mente que ambas ciudades están cerca; esto debido a que se encuentran separadas a menos de una hora de distancia, que en realidad son unos 45 minutos de camino. Obvio es decir que la respuesta se nos vino a la mente quizás analizando el tiempo para llegar a la otra ciudad o simplemente fue una respuesta que se dijo sin analizarla previamente, debido a que en nuestra mente ya se encuentra información relacionada con las comparaciones entre lo que es cerca y lo que es lejos. Es decir, en nuestra mente se considera el contexto¹ de la pregunta, de manera que podemos responder sin necesidad de hacer un estudio minucioso y pensar en cosas científicas o hacer cálculos. Ver Figura 1.1

Independientemente de los términos que se incluyan en una pregunta, ésta tiene un objetivo, el hecho de saber el “Para qué” se pregunta. Tal vez únicamente se desea tener una visión aproximada de la distancia cuando nosotros la desconocemos o bien por curiosidad. Nótese que al responder nuestra mente es la encargada de situarnos en un contexto si es que la pregunta no lo tiene. Por ejemplo retomando la pregunta anterior la respuesta fue dada pero tal vez sin antes ponernos a pensar con qué fin se hizo o bien con que se va a comparar la distancia entre dos ciudades; pues podría ser

¹ Entorno físico o de situación, ya sea político, histórico, cultural o de cualquier otra índole, en el cual se considera un hecho.

que se hizo la pregunta para saber si se puede viajar a la otra ciudad en un mismo día, por ejemplo.



Figura 1.1. Como sabemos que algo está ¿cerca o lejos?

Otra forma en cómo se puede analizar el escenario que crea nuestra mente se tiene al preguntar si un objeto que se encuentra a 50 metros de distancia se considera que esta ¿lejos o cerca? Obviamente responderemos intuitivamente que es cerca, pero si cambiamos la pregunta y decimos si 50 metros son lejos o cerca para una hormiga, aquí la respuesta será lejos ya que el paso de la hormiga comparado con el del humano es bastante distinto. Y es que en esta pregunta ya se involucra el contexto de los objetos (personas, animales o cosas) para determinar la apreciación de la distancia. Ya se puede diferenciar que una hormiga por su tamaño tardará mucho más tiempo que la persona en recorrer los 50 metros.

Cuando las distancias se plasman en objetos que siempre están fijos y no sufren movimientos, ¿cómo somos capaces de determinar dichas distancias de manera que las personas puedan responder si dos automóviles estacionados están cerca o lejos? Y si aparte de que se encuentren fijos los objetos le agregamos que no tengan áreas bien definidas (como los limites de dos montañas); los seres humanos son capaces de determinar las relaciones de proximidad de los dichos objetos pero, ¿Cómo se podrá determinar las relaciones de proximidad entre estos objetos, a través de una computadora? Esta pregunta ha sido el motivo fundamental de este trabajo, debido a

que actualmente la mayoría de las tareas que realizan las personas en sus actividades requiere el uso de una computadora.

Las computadoras trabajan con información numérica, es decir ceros y unos, pero los seres humanos no necesariamente. Un ser humano responde usando su sentido común y su lógica, mientras que una computadora es incapaz de responder una pregunta sin antes haber realizado un procesamiento de la información; razón por la cual en este trabajo de tesis se busca converger estos dos mundos, Figura 1.2. Ya que se pretende describir cómo se encuentran relacionados los objetos geográficos presentes en los modelos digitales de elevación (DEM), dichas relaciones deberán tener un símil a como las personas pueden lograr establecerlas en su mente, por lo cual se va a recurrir a una conceptualización.

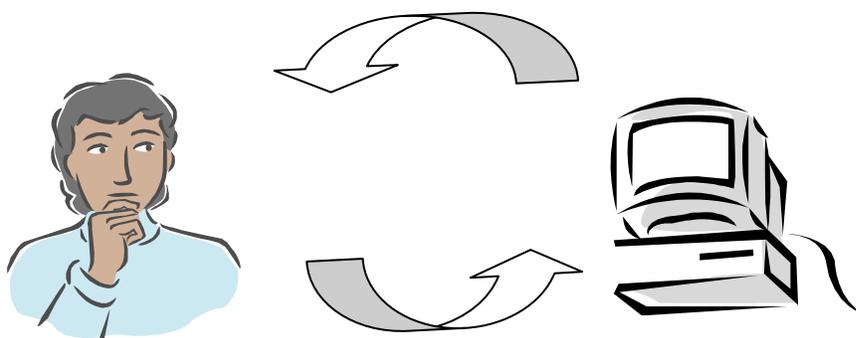


Figura 1.2 Convergencia de dos mundos

La conceptualización de las relaciones de distancia será obtenida a través de las opiniones de las personas que con el sentido común que poseen pueden identificar lo que es estar lejos o cerca sin necesidad de tener medidas para que pueda efectuar una relación de distancia, ya que simplemente teniendo el contexto en la mente, el ser humano se encarga de definir las relaciones de proximidad y puede determinarlas de manera sencilla; dando como resultado que las personas expresen las relaciones de cualquier objetos de manera natural. Algo que se debe de tener en cuenta es que el contexto siempre va a existir en cualquier entorno y situación, e influirá notablemente en la apreciación de las cosas.

Las relaciones espaciales cualitativas, incluidas las relaciones de proximidad, las relaciones direccionales, y relaciones topológicas, son utilizadas muy comúnmente en el lenguaje cotidiano de las personas para comunicarse y dar razón sobre el espacio. Sin embargo, la mayoría de las descripciones lingüísticas de las relaciones espaciales no puede utilizarse en los actuales sistemas de información geográfica (SIG). La

especificación de los significados de las relaciones espaciales cualitativas en el SIG ha sido un gran desafío en la investigación de los sistemas de información geográfica [Robinson, 2000]. Los componentes clave para la solución de este problema son modelos computacionales [Logan y Sandler, 1996] que vinculan las relaciones espaciales cualitativas con información métrica que se encuentran almacenada en la información actual SIG. Entre las relaciones espaciales cualitativas más comúnmente usadas, la topología y dirección son muy utilizadas en los GIS o por modelos que son potencialmente empleados en GIS.

Sin embargo, la interpretación del significado de las declaraciones de proximidad cualitativas sigue siendo muy difícil de alcanzar en un entorno SIG. La necesidad de un mecanismo de mapeo² entre métricas o relaciones cuantitativas y cualitativas es bastante evidente; es la base para seguir el razonamiento de proximidad en el sistema.

Las relaciones espaciales de proximidad se refieren específicamente a las expresiones lingüísticas (por ejemplo, "cerca", "lejos"), de las concepciones psicológicas de las personas sobre las distancias. La proximidad es un concepto fundamental en cualquier ontología de espacio [Worboys, 2001]. Creencias acerca de la distancia juegan un papel importante en la actividad humana.

Es importante mencionar que esta investigación encontrará las relaciones de proximidad de los objetos geográficos no tomando en cuenta el ambiente que rodee a tales objetos.

1.2 Fundamentos

En este trabajo se trata el cómo realizar la descripción de la forma en que se encuentran distribuidos los objetos geomorfológicos presentes en terrenos descritos por DEM. En otras palabras, identificar cómo se encuentran relacionados las llanuras, cuencas, montañas, cerros, etc.; ya que no basta con saber identificar los objetos presentes en la superficie terrestre [Villegas, 2007], sino se debe indicar como se encuentran distribuidos esos objetos en el terreno. El ser humano cuando observa el paisaje ve a los objetos como un todo; no se considera a un objeto "aislado" ya que en el mundo real las cosas no están así, pues todos los objetos tienen relaciones con

² El *mapeo* es la técnica de las correspondencias que existen entre los elementos del dominio y el contra dominio.

respecto a los demás. Las relaciones que en las que se va a enfocar este trabajo son las relaciones de proximidad: “cerca”, “lejos”, con el fin de llegar a una relación más compleja como lo es “rodeado de”; y dichas relaciones serán empleadas para describir semánticamente un DEM.

Para establecer los objetivos de este trabajo debemos tener una definición del concepto objeto geomorfológico, y encontramos las siguientes definiciones:

- Es una unidad geomorfológica, y es en gran medida definida por su forma en la superficie y localización en el paisaje, como parte del terreno, y, como tal, suele ser un elemento de la topografía³. Un objeto geomorfológico se clasifica por características como altitud, pendiente, orientación, la estratificación, la exposición de rocas, y el tipo de suelo.
- Es resultado de la interacción de los procesos químicos, físicos y biológicos sobre la superficie terrestre. [Dubois, 1999].

Diremos que un concepto geomorfológico es aquel objeto que tiene propiedades como altitud, rugosidad; y de acuerdo con su forma y extensión recibe un determinado nombre. Para medir y cuantificar la forma topológica del terreno nos ayudamos de la geomorfología, que es la ciencia que estudia las formas del terreno y las causas que las producen [Hugget, 2002].

La identificación de las relaciones entre los objetos geomorfológicos se realizará mediante una clasificación de la forma del terreno y la metodología que se desarrolla en este trabajo está basada en una conceptualización de las relaciones topológicas de proximidad. La metodología propuesta será anexada a una metodología previamente planteada [Quintero, 2007] con el fin de enriquecerla y obtener una descripción más complementada.

³ f. Arte de describir y delinear detalladamente la superficie de un terreno. // Conjunto de particularidades que presenta un terreno en su configuración superficial.

1.3 Hipótesis

A continuación se muestran las premisas sobre las cuales se propone una solución en la metodología de este trabajo:

- Proponer una metodología en general para conceptualizar las relaciones de proximidad en un dominio específico; en este caso el dominio corresponde a las formas del terreno.
- Encontrar las relaciones de proximidad básicas como “cerca” y “lejos” con el fin de llegar a la definición de la relación “rodeado de”, ya que esto permite el poder continuar definiendo otro tipo de relaciones compuestas, tal es el caso de “entre” y “por”.

1.4 Objetivos

El objetivo general de la presente tesis es:

- Definir y describir relaciones topológicas entre conceptos geomorfológicos obtenidos a partir de un Modelo Digital de Elevación, por medio de la conceptualización de dichas relaciones, con el fin de realizar una descripción semántica detallada del DEM, desarrollando herramientas que permitan describirlo.

Como objetivos particulares de este trabajo se presentan los siguientes:

- Analizar y conceptualizar las relaciones topológicas entre los conceptos geomorfológicos obtenidos del Modelo Digital de Elevación.
- Determinar cuándo se establece una relación topológica entre dos objetos geomorfológicos.
- Desarrollar la descripción semántica a partir de las relaciones topológicas previamente conceptualizadas y mostrarlas en un descriptor topológico.

1.5 Justificación

Hasta este momento no se han encontrado trabajos que tengan como finalidad el determinar las relaciones topológicas entre los objetos presentes en un DEM, razón por la cual es importante resaltar las características de este trabajo:

- Desarrollo de una metodología general para definir las relaciones topológicas de proximidad, sin que influyan factores numéricos, como la escala del terreno.
- Esta metodología partirá del conocimiento de los objetos que se encuentran presentes en un DEM, y únicamente se enfocará en determinar cómo se encuentran esos objetos relacionados entre ellos.
- Una vez conocidas las relaciones de proximidad básicas entre los objetos podemos encontrar otro tipo de relaciones más complejas y a su vez esto nos conducirá a encontrar más conceptos geomorfológicos compuestos.

1.6 Alcance de la tesis

- Conceptualizar las relaciones de proximidad: distancia y rodeado; con el fin de llegar a encontrar conceptos geomorfológicos más detallados.
- Encontrar los rangos de mapeo numérico-conceptual para las relaciones topológicas, obtenido con base en la percepción de los usuarios.
- Proponer una relación compuesta para considerar que un objeto se encuentra rodeado de los demás en la metodología planteada.

1.7 Estructura de la tesis

El capítulo uno muestra las ideas principales de la investigación así como los objetivos. En el segundo capítulo se hace referencia a los trabajos relacionados que ya previamente han abordado situaciones similares como la que vamos a trabajar. El tercer capítulo es referente al marco teórico en donde se repasan los conceptos generales que son usados en el trabajo. El capítulo cuarto y quinto hacen referencia a la metodología y resultados del trabajo, se exponen las ideas paso a paso del análisis que se realizó y la forma en que una vez que se implementó la metodología se

obtienen los resultados. En el capítulo seis se muestran las conclusiones y el trabajo a futuro. Se finaliza con los anexos correspondientes.

CAPITULO 2

ESTADO DEL ARTE

Para este trabajo es necesario determinar las relaciones topológicas existentes entre los objetos geomorfológico presentes en un DEM, hacer una conceptualización bien definida acerca de cómo se establecen dichas relaciones y tener previamente identificados los objetos presentes. Durante los últimos años se ha reconocido que en algunas ocasiones los datos espaciales suelen ser imprecisos, y esto ocurre particularmente en el área de los SIG`s [Petry, 2002]. En el enfoque que se plantea en este trabajo de tesis se encuentra que existe un problema al momento de hacer una definición sobre las relaciones de proximidad del objeto, ya que la obtención de dichas relaciones están basadas en la apreciación de los seres humanos; cosa similar ocurre para dar la definición de un objeto ya que se encuentran con información imprecisa y hasta cierto punto vaga, pero una vez conceptualizando los objetos geomorfológicos se puede resolver el problema. Así que se propone conceptualizar las relaciones de proximidad para atacar este problema.

Este capítulo está dedicado a proporcionar las definiciones básicas y mencionar los trabajos sobre las áreas que se profundizarán durante el desarrollo de la tesis, y cómo se pretende conceptualizar las relaciones topológicas de proximidad así como las ontologías que son necesarias para ello.

2.1 Modelo Digital de Elevación (DEM – Digital Elevation Model)

Para entender de una mejor manera qué es un Modelo Digital de elevación (DEM) se debe de tener una idea bien clara sobre el significado de la palabra modelo, dicho concepto originado en ámbitos geográficos, es definido como una representación simplificada de la realidad en la que aparecen algunas de sus propiedades [Joly, 1988:111]. De la definición se deduce que la versión de la realidad que se realiza a

través de un modelo pretende reproducir solamente algunas propiedades del objeto o sistema original que, por lo tanto, se ve representado por otro objeto de menor complejidad.

Los modelos se construyen estableciendo una relación de correspondencia con la realidad cuyas variantes pueden producir modelos de características notablemente diferentes.

El término DEM es usado en la literatura de manera inconsistente [Borough, 1986; Weibel and Heller, 1991], una definición de las varias existentes del término [Felicísimo, 1994] es: son estructuras numéricas de datos que representan la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua, la topografía.

Pero en este trabajo se tomará la definición de [Borough, 1986]: *“una representación de la variación continua del relieve sobre el espacio, por medio de una matriz de valores relacionados con una rejilla regular”*⁴.

No se proporciona ninguna otra información acerca de la superficie del terreno. Existen otros modelos para describir el terreno, como ejemplo tenemos los Modelos Digitales del Terreno [Digital Terrain Model - DTM], en los cuales además de las alturas se incluye otro tipo de información sobre el terreno. En la figura 2.1 se muestra la imagen de un DEM.

El gran impulso de la cartografía digital en los últimos años ha puesto al alcance de un grupo muy amplio de usuarios los DEM. En esencia, consisten en triadas de datos x, y, z; donde las dos primeras coordenadas son la ubicación horizontal de un punto de la superficie terrestre y la tercera, el valor de la altura topográfica. [García Estrada y López Hernández, 2003]

⁴ N. de la T. *“regular gridded matrix representation of the continuous variation of relief over space”*

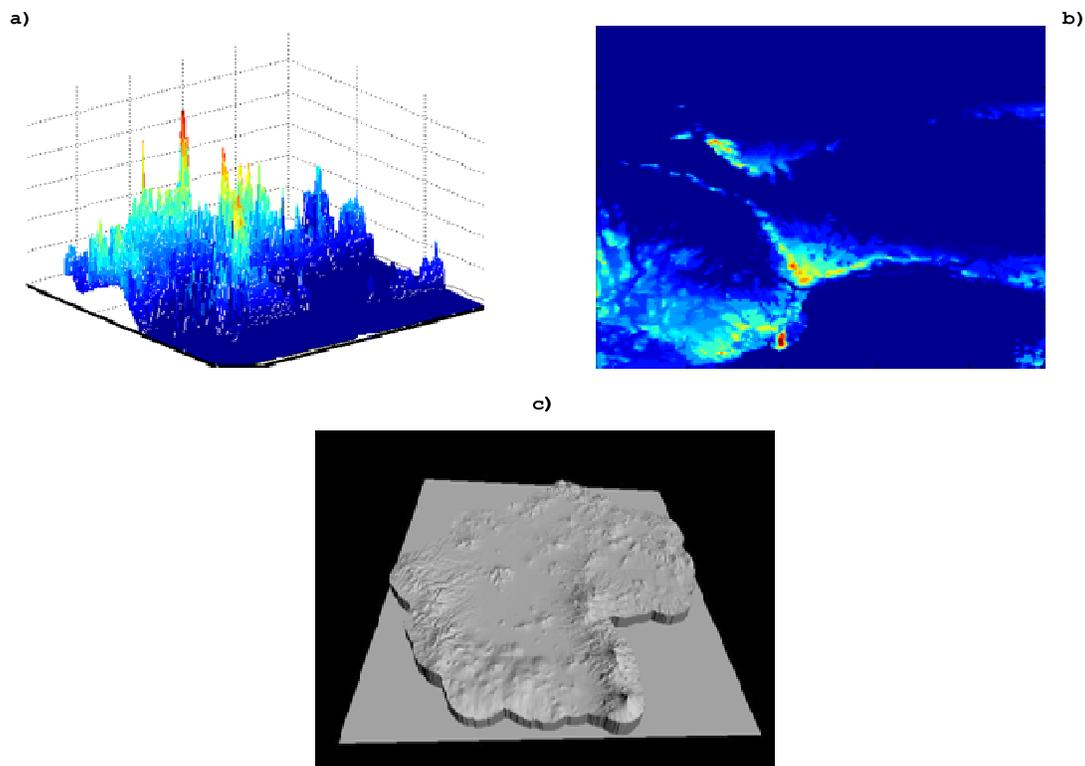


Figura 2.1 a) y b) Distintas representaciones de un DEM correspondiente a un estado de Estados Unidos y

c) Imagen del valle de México en un DEM, representado en 3D.

La simplicidad de tener una matriz con valores de elevación (fácilmente procesables con lenguajes procedurales) fue una de las razones por las cuales los DEM fueron tomados como estándar para el análisis del terreno a principios de los 70's [Evans, 1972]. Más recientemente, continúa siendo ampliamente utilizado como modelo de la superficie debido a su fácil integración en los modernos Sistemas de Información Geográfica (Geographical Information System – GIS) [Weibel and Heller, 1991].

Pero la utilización de los DEM como modelo de la superficie trae consigo algunos problemas. Primero, la fidelidad con la cual el DEM ha de describir la superficie del terreno depende tanto de la naturaleza del terreno (rugosidad, accidentes, etc.), como de la resolución del mismo DEM. Lo anterior quiere decir que existe una dependencia de la escala en el análisis que se realice con los DEM. Se han realizado trabajos respecto a esta dependencia de la escala [Garbrecht y Martz, 1993; Ackerman, 1993; Hodgson, 1995], y sin embargo muchas veces no es considerado cuando se realiza análisis del terreno con DEM. Un segundo problema con los DEM, es que no se proporciona información respecto a las relaciones que existen entre los valores

contenidos en el modelo; es decir que intuitivamente podemos considerar que existe una relación lineal entre dos valores adyacentes, pero en la realidad la relación podría ser alguna otra. Por lo cual este trabajo de tesis está enfocado en determinar tales relaciones.

La exactitud de los DEM y productos derivados de ellos depende de varios factores, incluida la resolución horizontal y vertical de precisión en la que la elevación de datos están representados, y la fuente de datos de la altitud. Esta precisión se hace cada vez más importante a medida que el ampliar el uso de datos DEM espacial para la predicción de los atributos del suelo [Thompson 2001].

Los DEM están desempeñando un rol importante en varios campos de los SIG, incluyendo en la ciencia ambiental, la prevención de riesgos y la ingeniería. Las características geométricas de los DEM (resolución, coordenadas, número de filas y columnas, etc.) describen los aspectos temáticos de terreno, con lo cual son representados sus características. De igual forma el uso de la forma geométrica del terreno analiza su distribución y la concentración de ciertos objetos geoespaciales que han sido incorporados a los DEM.

2.1.1 Aplicaciones de los DEM

Las aplicaciones de los DEM incluyen cualquier estudio que requiere como dato la altura topográfica de la Tierra y su variación espacial. Entre los estudios que se hacen en la exploración geotérmica pueden citarse los que se refieren a estimación de temperaturas medias anuales en función de la altura y orientación del terreno; fenómenos de erosión; trazo de carreteras o líneas de conducción; remoción de material; identificación de drenajes y representación tridimensional de las zonas geotérmicas para proyectos de realidad virtual con fines didácticos, entre varios más [García Estrada y López Hernández 2003].

Es posible construir modelos derivados del DEM, elaborados exclusivamente a partir de la información explícita o implícita contenida en el DEM, que describan la morfología de la zona (pendiente, orientación, etc.) y simulen aplicaciones. La utilidad y validez de estos modelos derivados está estrechamente relacionada con la calidad del DEM original. Incorporando información auxiliar es posible elaborar otros modelos más complejos, como pueden ser la predicción de zonas de saturación, la evaluación de riesgo de incendio o la elaboración de modelos de reflectancia; utilizando conjuntamente la descripción morfológica del terreno y simulaciones numéricas de

procesos físicos. Gracias a la naturaleza digital del DEM es posible utilizarlo para simular procesos dinámicos con facilidad, por ejemplo, el uso de un DEM complementado con una simulación de la trayectoria solar permite conocer la cantidad acumulada de horas de radiación directa que puede recibir un lugar determinado [Felicísimo, 1994]; también entre esos procesos podemos encontrar el de la simulación de los cambios en los objetos geográficos a través del tiempo [Hugget, 2002]. Otros modelos que pueden derivarse del uso de un DEM se utilizan para estudios de pendiente, aspecto, rugosidad del terreno, curvatura de valles, caudales, simulación 3D, cromostereoscopia, modelación hidrológica, etc.

2.2 Semántica Espacial

El término semántica (proviene del griego *semantikos*, 'lo que tiene significado'), se refiere a los aspectos del significado o interpretación de un determinado signo lingüístico, lenguaje o representación formal; esto es, palabras, expresiones y oraciones. La finalidad de la semántica es establecer el significado de los signos, lo que significan dentro del proceso que asigna tales significados.

Para llevar a cabo una expresión significativa es necesario que se cuente con los siguientes puntos: (1) la relación que existe en una muestra de signos con situaciones objetivas, reales o posibles, (2) la relación que existe en una muestra de signos con otras muestras, y con los conceptos que conciben. Estos conceptos dependen del contexto que se estén analizando. El contexto es un conjunto de circunstancias que permiten su correcta comprensión. En la figura 2.2 se muestra el triángulo semántico, el cual engloba las relaciones anteriormente mencionadas [Werner, 2005].

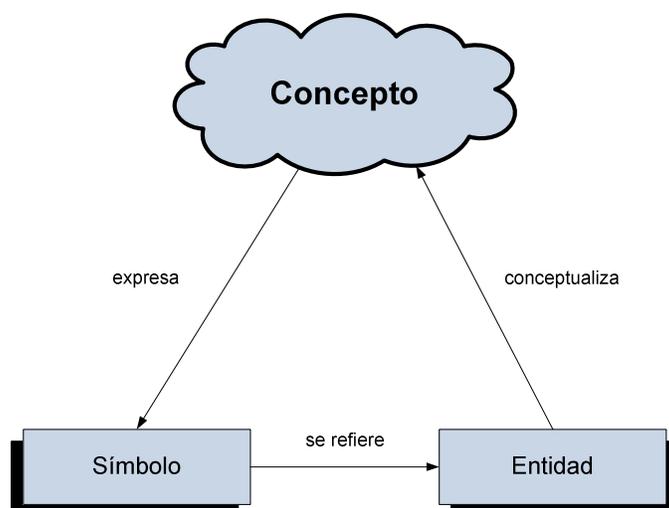


Figura 2.2 Triángulo Semántico [Werner, 2005]

De esta manera podemos decir que semántica espacial es establecer o mostrar el significado de los objetos espaciales que se encuentran en una representación geográfica.

Una parte importante de este trabajo es la definición de la semántica para los Datos Espaciales Raster (DER) que conforman los DEM. En el grupo de trabajo del Laboratorio de Procesamiento Inteligente de Información Geoespacial (PIIG) se han desarrollado diferentes aproximaciones al concepto de semántica espacial [Torres, 2005; Torres et al, 2004, 2005; Quintero, 2002, 2003a, 2003b]. Este concepto está siendo trabajado desde un punto de vista general, es decir, se pretende definir el cómo se debe hacer la descripción semántica de cualesquiera objetos espaciales. A este respecto, [Quintero, 2007] define la semántica espacial de la siguiente manera:

“La semántica de una colección de objetos espaciales, relacionados entre sí, es el conjunto de características que, después de aplicar un proceso de síntesis a los objetos espaciales, se mantiene invariante.”

La aplicación de los conceptos de semántica espacial a los DER tiene varios objetivos. El primero de ellos es servir como una línea de trabajo dentro del marco general que se ha creado en torno a la semántica espacial. De esta manera, se pueden demostrar los conceptos planteados sobre semántica a través de su aplicación para datos espaciales particulares. Por otro lado, la utilización de los DEM como caso de estudio permite abrir brecha en la aplicación de conceptos de semántica a otros tipos de datos

raster. Finalmente, el tratamiento semántico de los DEM podrá ser aplicado para el análisis de zonas de riesgo (inundaciones, incendios, etc.).

2.2.1 Representación Semántica de los DEM

La representación de la “semántica” de los terrenos por medio de sus parámetros principales ha sido explorada anteriormente [Evans, 1978; Wood, 1997], sin embargo, dicha información es más bien de índole numérica; por lo cual es aplicable sólo a ciertos tipos de análisis espacial, lo que se pretende realizar en esta investigación es conceptualizar la información del terreno en especial las relaciones de proximidad, esto se logrará a través de la conceptualización de tales relaciones; para dejar de mostrar la información con números y hacerlo ahora usando una representación más “amigable” de tal manera que cualquier persona ajena al área pueda entender lo que está viendo en un DEM.

Para este trabajo se propone utilizar las relaciones de proximidad entre los objetos espaciales presentes en un DEM, es decir conocer las relaciones tales como estar cerca, lejos o rodeado de algo. Por medio de una conceptualización de objetos y de las relaciones que se mantienen con otras entidades para la representación semántica. La combinación de dichos elementos permitirá obtener una descripción del DEM completa acercándose más a como lo realizarían las personas.

En [Quintero, 2007] se aborda la representación semántica de los DEM. Ese trabajo se enfoca al desarrollo de una metodología que pueda ser utilizada para describir semánticamente los objetos espaciales contenidos en un Conjunto de Datos Espaciales Raster (CDER). De los CDER se puede obtener una descripción de los objetos que están representados en él; en otras palabras, se logra la identificación de los elementos con algunas de sus características contenidos en el paisaje.

De forma similar en [Villegas, 2007] se obtienen los elementos que se encuentran en un DEM, a través del uso de una conceptualización, en donde la información numérica obtenida del DEM es vinculada con una ontología para obtener los objetos presentes. Estos dos trabajos tienen en común la vinculación de la información numérica con conceptos, de manera que cualquier persona pueda entender lo que se encuentra en un DEM sin necesidad de ser un experto; además de que no solo se enfoca en el análisis de la información numérica la cual ya ha sido ampliamente explorada sino se enfocan en la interpretación dicha información en términos de conceptos.

2.3 Topología

Se tienen algunas definiciones del término topología las cuales son:

- La topología es el campo de las matemáticas que estudia las relaciones de los elementos en el espacio
- La topología computacional proporciona información acerca de la conectividad de primitivas geométricas que pueden ser derivadas de la geometría subyacente. [Open Geospatial Consortium]
- La Topología se interesa por conceptos como proximidad, número de agujeros, o el tipo de consistencia [o textura] que presenta un objeto, comparar objetos, clasificar también entre otros múltiples atributos; donde destacan conectividad, compacidad, metricidad, etcétera.

La geometría es un aspecto en la información geográfica que cambia cuando la información es transformada de un sistema de referencia o sistema coordinado a otro. Por otro lado, la topología trata con las características geométricas que permanecen invariantes si el espacio es deformado; por ejemplo, cuando los datos geográficos son transformados de un sistema de coordenadas a otro.

Otra definición del mismo término dada por [Gabriel Ortiz 2007] es la siguiente: “Estructura lógica de los datos geográficos para definir las relaciones entre los distintos objetos geográficos de conectividad, adyacencia, vecindad. La topología permite diversos tipos de análisis que no necesitan de georeferenciación a través de coordenadas. Una topología robusta es una de las diferencias más importantes que ofrece un GIS de alto nivel.” Debido a que permite hacer un mejor análisis de los lugares, en otras palabras ofrece un análisis completo y todavía más apegado a la realidad en comparación con los GIS que no cuentan con una topología robusta.

Hay distintas clasificaciones de la topología dependiendo las relaciones que analiza, pero en este trabajo nos interesarán las relaciones de proximidad, es decir que tan próximo (cerca) se encuentra un objeto de otro.

Como se ha mencionado en nuestro caso de estudio nos interesa el determinar la topología con objetos geográficos los cuales no tienen límites bien definidos y permanecen invariantes con respecto al tiempo. A continuación veremos algunos enfoques que se ha aplicado para tratar este tema.

2.3.1 F.B Zhan

En [Zhan, 1998] se menciona que durante años se ha puesto mucha atención a los estudios para determinar las relaciones espaciales. Sin embargo las investigaciones realizadas se enfocan en abordar relaciones espaciales de objetos que tienen un borde bien definido. En muchas áreas donde se manejan de datos geográficos, particularmente en donde se tiene que manejar datos de recursos naturales, se encuentra que tales objetos tienen fronteras indeterminadas. Según el autor a dichos objetos se les conocen como objetos difusos⁵. Los objetos difusos son definidos como un subconjunto difuso de un conjunto referencial en un dominio bajo consideración. Como ejemplos de estos objetos espaciales difusos se tienen los datos climatológicos y los datos del terreno.

Se menciona que muy pocas teorías se han desarrollado referentes a las relaciones espaciales de los objetos difusos.

El autor menciona los trabajos de [Freeman, 1975] el cual fue el primero en reconocer la aproximación difusa (fuzzy) natural de las relaciones entre objetos espaciales, y sugirió que dichas relaciones espaciales pueden ser descritas en un marco de trabajo. [Rosenfeld, 1985] también vio el potencial de la teoría de los conjuntos difusos en el procesamiento digital de imágenes. Desde entonces un número de investigadores han definido muchos términos relacionados a las propiedades topológicas y geométricas de una imagen difusa. [Rosenfeld y Klette, 1985] definen las relaciones espaciales como una “adyacencia” o “rodeo” entre las imágenes difusas. [Dubois y Jaulent, 1987] extendieron el trabajo de Rosenfeld y desarrollaron un modelo general de relaciones espaciales entre dos objetos difusos.

[Zhan, 1998] desarrolla su trabajo considerando las relaciones del modelo de 9-Intersección de [Egenhofer, 1995]. Y lo que él plantea para determinar las relaciones entre un objeto difuso es determinar de cierta manera las fronteras de tales objetos, él propone lo siguiente:

⁵ Bona-fide según Barry Smith

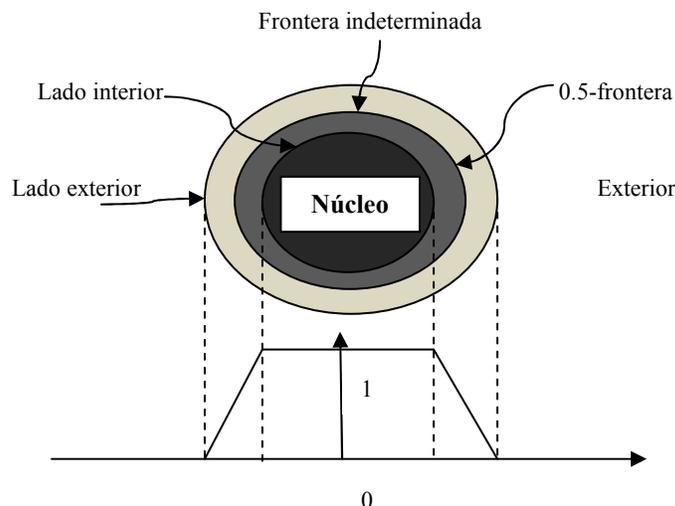


Figura 2.3 Objeto difuso

Como se puede apreciar en la figura 2.3 [Zhan, 1998] descompone los objetos difusos en tres partes (1) el núcleo (2) la frontera indeterminada y (3) el exterior.

Las relaciones que analiza ese trabajo tuvieron cierta similitud a si se hubiera establecido con objetos con límites bien definidos. Entonces se observa que el uso de la lógica difusa aplicada a regiones que no están bien delimitadas, puede dar óptimos resultados, como si se trabajará con objetos de fronteras bien definidas.

2.3.2 Xiaobai Yao y Jean-Claude Thill.

En [Yao y Thill, 2005] plantean un conjunto de ideas y un caso de estudio en particular en el cual intervienen las relaciones topológicas de proximidad cerca y lejos. Entre las ideas principales de este trabajo se encuentran:

La noción de proximidad es uno de los elementos fundamentales en el entendimiento y razonamiento de los seres humanos y de los ambientes geográficos. La percepción y cognición de distancia juega un papel importante en muchas de las actividades diarias de toda persona. Por el término “noción de proximidad” se refiere en específico a las expresiones en lenguaje natural “cerca” y “lejos”. Además las capacidades de que un GIS para interpretar como entrada relaciones espaciales lingüísticas son muy importantes para todo público. Los autores hacen hincapié en que para llegar a determinar las relaciones de proximidad se necesita del empleo de la lógica difusa con sus conjuntos difusos y permitir cierto rango de tolerancia al error.

En el caso de estudio que muestran los autores es referente a determinar las relaciones cerca y lejos sobre los objetos en una imagen. Tomaron como proveedores de información a estudiantes de la universidad de Búfalo y les pidieron que observaran un paisaje en donde ellos contestaban si los objetos estaban lejos o cerca de otros según lo percibieran; lo complicado del caso fue cuando se encontraron con respuestas como “bastante cerca” o “muy lejos”. Razón por la cual emplearon la lógica difusa y modelaron un sistema neurodifuso que a través de ciertos rangos podía determinar la proximidad de manera muy similar a como lo habían realizado previamente los estudiantes.

Estos mismos autores en otro trabajo [Yao y Thill, 2005] mencionan puntos importantes al momento de querer vincular las relaciones de proximidad con distancias métricas lingüísticas, y aborda otros factores como el contexto y el tamaño de los objetos, que juegan un papel muy importante en los seres humanos al momento de decidir sobre si unos objetos se encuentran cerca o lejos.

Este trabajo se baso en la comprensión de las relaciones de proximidad ocupando un modelo matemático.

Los autores en lo que respecta al modelado computacional referente a la relación de proximidad, detectaron que al menos, dos problemas existen. El primer problema radica en la ausencia de un modelo computacional para mapear la distancia cualitativa y las métricas de distancia de acuerdo a factores de contexto, aunque recientes investigaciones de la relación de proximidad han subrayado el papel de los factores contextuales en el modelado de proximidad, como el tipo de actividad prevista al destino, el lugar y la hora de referencia, y muchos otros [Sharma et al. 1994, Gahegan de 1995, Hernández et al. 1995, Worboys 2001]. El segundo problema es que muy poco de los conocimientos acumulados sobre las relaciones espaciales de proximidad, de momento han sido incorporados en el SIG.

Dos posibles escenarios pueden ser concebidos para traer los modelos cualitativos a los sistemas de información geográfica. Uno es el desarrollo de SIG cualitativos que son totalmente cualitativos almacenar los datos cualitativos y de la razón con términos cualitativos [Frank, 1992]. Esta solución es más radical ya que existe un considerable legado de los datos y diseños de sistemas que serían difíciles de abandonar.

La otra solución es de mejorar la capacidad de la existencia de métricas en los actuales sistemas de información geográfica mediante el establecimiento de un mecanismo de mapeo responsable de la traducción entre mediciones cualitativas y

métricas de distancia. La investigación se centra en la segunda solución, es decir, proporcionar un mecanismo de mapeo entre lingüística /cualitativa y métricas /cuantitativas de distancia.

La investigación sobre las relaciones de proximidad empezó desde hace dos décadas. Aunque en especial estas relaciones han recibido menos atención.

[Frank, 1992] presentó un interesante enfoque algebraico a la manipulación de los símbolos de distancias como lejos y cerca. Pero no considera la relación entre medidas cualitativas y cuantitativas de distancia. Entonces, el enfoque algebraico conduce al modelo a que razone exclusivamente en términos cualitativos.

El modelado formal de la relación entre las distancias cualitativas y métricas puede verse como un mapeo de la antigua medida de la distancia a este último. La mayoría de ellos usa la lógica difusa para capturar la difusión inherente de las relaciones espaciales de proximidad.

En recientes contribuciones, [Worboys, 2001] introduce tres diferentes enfoques para analizar datos experimentales concernientes a las relaciones espaciales, uno de los cuales es basado en la en la premisa de que tan cerca es un concepto difuso. Esta última captura el grado de cercanía con cualquier objeto para algunos objeto de referencia por un vector de los parámetros evaluados directamente De los datos de la encuesta.

En el enfoque propuesto por [Guesgen, 2002] y [Gusesgen y Albrecht, 2000] los objetos espaciales [ejemplo: una gasolinera] que exhiben una cierta relación espacial [ejemplo: cerca de] a un objeto de referencia [ejemplo: una universidad] son representadas explícitamente por un conjunto difuso.

Estudios psicométricos de la percepción humana de proximidad [ejemplo: Lundberg y Eckman, 1973] han indicado que la simple relación entre la distancia y la proximidad cualitativa es sensible a la compleja estructura espacial de efectos, como la ubicación relativa de los objetos y la extensión geográfica de la zona que se está considerando.

[Hernandez et al., 1995] y [Clementini et al., 1997] también subrayan que el concepto de proximidad es dependiente del contexto. Ellos discuten que para que A este cerca de B no solo depende de sus posiciones absolutas [y la distancia métrica entre ellos], sino también de sus tamaños relativos y formas, la posición de otros objetos, el marco de referencia, y lo que se necesita para ir de A hacia B.

Así que con toda esta información los autores decidieron dar a la investigación el siguiente enfoque: para predecir la medida de la distancia lingüística dada la medida de la distancia métrica y la información del contexto.

2.4 Lógica Difusa (FL - Fuzzy Logic)

Es preferible empezar entendiendo en primer lugar lo que es la lógica y después llegar a la lógica difusa. La palabra lógica se refiere al estudio de métodos y principios del razonamiento humano. La lógica clásica trata con combinaciones de variables que representan proposiciones; y tiene como primordialidad el estudio de reglas que permiten nuevas variables lógicas producidas como funciones de ciertas variables existentes. El álgebra booleana⁶ participa en el establecimiento y resultados de las reglas que hace la lógica. Teniendo claro este concepto ahora nos enfocaremos en la FL.

El concepto de la lógica confusa fue concebido por [Zadeh, 1996] debido a que razonó que la gente no requiere información exacta, de índole numérica, precisa, para ser capaz de tomar decisiones más sin embargo son capaces de hacerlo.

La FL permite manejar y procesar ciertos tipos de información en los cuales se utilicen términos inexactos, imprecisos o subjetivos. De una manera similar a como lo hace el cerebro humano, es posible ordenar un razonamiento basado en reglas imprecisas y en datos incompletos.

La FL incorpora una simple regla: SI X y Y se cumplen entonces da por resultado Z. Como se observa en la figura 2.4.

$$\text{IF } (X \wedge Y) \Rightarrow Z$$

Figura 2.4 Regla en que se basa la lógica difusa

⁶ En 1847 un matemático inglés autodidacta llamado George Boole [1815 – 1864], desarrolla unos símbolos matemáticos con unas reglas que pueden ser aplicadas en problemas de lógica deductiva. Hacia el año 1854, publicó un libro en el que explicaba cómo convertir las proposiciones lógicas en símbolos matemáticos y cómo aplicar ciertas reglas muy simples para determinar la verdad o falsedad de proposiciones relacionadas entre sí. La matemática desarrollada por Boole se conoce en la actualidad como *álgebra booleana*, *álgebra de Boole* ó *lógica simbólica*.

Los resultados de las reglas en la FL están basados en la experiencia que se necesita en la vida diaria en lugar de la comprensión técnica que comúnmente se usaría para proporcionar un resultado preciso.

Un ejemplo muy común en la lógica difusa se presenta cuando observando un vaso con agua como en la Figura 2.5, se pregunta si el vaso está medio lleno o medio vacío; obviamente en este punto la respuesta variará dependiendo el enfoque de cada persona pues pueden manejar diferentes percepciones a lo que se refiere con qué es estar “medio lleno” o “medio vacío”.



Figura 2.5 Vaso “medio lleno” o “medio vacío”

Con este ejemplo se refleja que los problemas que maneja la FL ya no están en función de información exacta, ya que la respuesta hubiera sido fácil de determinar si se pregunta si el vaso con agua está a la mitad de su capacidad o si contiene 375 mililitros del líquido.

Se deben de establecer ciertos criterios antes de empezar a utilizar la FL en un problema dado, esto es se debe de tener en cuenta:

- Definir los objetivos a los cuales se desea llegar y el criterio que se va a tomar en cuenta para resolver el problema
- Determinar las relaciones de entrada-salida y definir un número pequeño de variables a utilizar
- Desarrollar una serie de reglas SI (X^Y) entonces Z que definen la respuesta deseada de la salida de sistema para las condiciones dadas de la entrada.
- Crear las funciones que pertenezcan a la FL, las cuales definen el significado [valores] de los términos entrada-salida usados en las reglas.
- Probar el sistema, evaluar los resultados y las funciones de la FL, hasta verificar que se obtienen los resultados obtenidos.

Una vez teniendo definido que se desea trabajar con DEM y por medio de un descriptor reconocer los conceptos geomorfológicos (tales como montañas, cerros, cimas, valles, depresiones, etc.) para saber cómo se encuentran relacionados dichos objetos que se encuentren en el, es indispensable el tener que trabajar con datos imprecisos que indican si se trata de que un conjunto de montañas están “cerca” una de la otra o bien si se encuentran “rodeando” algo; teniendo como punto de partida este problema se presenta a continuación la parte que se encarga de tratar con las palabras en la FL.

CAPITULO 3

MARCO TEÓRICO

Este capítulo tiene como finalidad incluir los temas necesarios para el desarrollo del trabajo, como lo es el uso de una ontología la cual servirá para conceptualizar las relaciones de proximidad, un área en particular de la lógica difusa y trataremos sobre el software que se usará para la realización de la investigación.

3.1 Ontologías

El área de la investigación referente a las ontologías está teniendo un incremento en estos últimos tiempos, debido a que son muchas las áreas en donde es de gran utilidad el contar con una de ellas, y como muestra de ello se encuentra el área de la inteligencia artificial, la lingüística computacional y la teoría de la base de datos. [Guarino, 1998]

Para el desarrollo de una ontología se parte teniendo como punto de inicio la base del conocimiento que el ser humano posee. Y con base en esta se va haciendo un análisis más minucioso para tener una conceptualización aceptable de las cosas. Razón por la cual a continuación se hace referencia a algunos trabajos relacionados con ontologías.

3.1.1 Thomas Gruber

En el trabajo de [Gruber, 1993] se expone que el conocimiento representado formalmente está basado sobre una conceptualización: los objetos, conceptos, y otras entidades que se asumen existen en alguna área de interés y las relaciones que mantienen entre ellas [Genereseth & Nilsson, 1987]. Una conceptualización de manera resumida, es la vista simplificada del mundo que se desea representar para algún propósito.

Entonces a partir de esto se puede definir a una ontología como una especificación explícita de una conceptualización. El término es tomado de la filosofía, donde una ontología es una cuenta sistemática de la existencia. Para el área de la Inteligencia Artificial (AI- Artificial Intelligence), lo que “existe” es lo que puede ser representado.

Entonces se reafirma la definición mencionada anteriormente donde se dice que: Una ontología es una descripción formal de los *conceptos* y las *relaciones* entre estos.

En resumen, una ontología es un sistema de representación del conocimiento que resulta de seleccionar un dominio o ámbito del conocimiento, y aplicar sobre él un método con el fin de obtener una representación formal de los conceptos que contiene y de las relaciones que existen entre dichos conceptos. Además, una ontología se construye en relación a un contexto de utilización. Esto quiere decir que una ontología especifica una conceptualización o una forma de ver el mundo, por lo que cada ontología incorpora un punto de vista. Además, una ontología contiene definiciones que nos proveen del vocabulario para referirse a un dominio. Estas definiciones dependen del lenguaje que usemos para describirlas. Todas las conceptualizaciones (definiciones, categorizaciones, jerarquías, propiedades, herencia, etc.) de una ontología pueden ser procesadas por una computadora.

Los beneficios de utilizar ontologías se pueden resumir de la siguiente forma:

- Proporcionan una forma de representar y compartir el conocimiento utilizando un vocabulario común
- Permiten usar un formato de intercambio de conocimiento
- Proporcionan un protocolo específico de comunicación
- Permiten una reutilización del conocimiento

Una ontología formal es diseñada. Son los que se encargan de desarrollarla, es decir, los expertos en el tema según el cual se desarrolle la ontología, los que eligen como se desea representar algo en una ontología, y ahí toman decisiones. Para evaluar los diseños se necesitan criterios objetivos que están fundamentados en el propósito del resultado esperado y basado en notaciones a priori de naturaleza o verdad de los objetos implicados en una ontología. Un ejemplo de estos criterios dados por [Gruber, 1993] son:

1. *Claridad*: Una ontología debe de tener el significado de los términos bien definidos, es decir, las definiciones deben de ser objetivas. Las ontologías se realizan para requerimientos computacionales o sociales, la definición debe ser independiente del contexto.

2. *Coherencia*: Una ontología debe de ser coherente, esto es que las inferencias sean consistentes con las definiciones. Al menos, los axiomas que se definen deben ser lógicamente consistentes. La coherencia también debe de aplicarse a los conceptos que están definidos de manera informal, por ejemplo, los descritos con lenguaje natural. Si una oración que se puede inferir a partir de los axiomas contradice una definición o un ejemplo dado informalmente, entonces la ontología es incoherente.

3. *Extensión*: Una ontología se debe de diseñar anticipándose en el uso del vocabulario que se pueda llegar a ocupar. Es decir, se debe definir términos nuevos para aplicaciones especiales basadas en el vocabulario existente, de manera que se no requiera revisar las definiciones existentes.

4. *Reducir las tendencias en la codificación*. La conceptualización se debe especificar al nivel del conocimiento sin depender de una codificación a nivel de símbolo en particular. Las tendencias de codificación deben ser reducidas al mínimo, ya que los agentes que comparten conocimiento pueden ser implantados en diferentes sistemas y estilos de representación

5. *Reducir el compromiso ontológico*. Una ontología puede requerir un mínimo de compromiso ontológico, que sea suficiente para soportar las actividades relacionadas con compartir el conocimiento. Debido a que el compromiso ontológico está basado en el uso constante de vocabulario, se puede reducir al mínimo especificando una teoría más débil (que se permite en la mayoría de los modelos) y definiendo solamente esos términos que sean esenciales para la comunicación de conocimiento consistente.

Las posibles aplicaciones y usos de las ontologías son:

- repositorios para la organización del conocimiento
- servir de herramienta para la adquisición de información
- servir de 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

- permitir compartir conocimiento
- posibilitar el trabajo cooperativo al funcionar como soporte común de conocimiento entre organizaciones, comunidades científicas, etc.
- hacer la integración de diferentes perspectivas de usuarios
- permitir el tratamiento ponderado del conocimiento para recuperar información de forma automatizada
- posibilitar la construcción automatizada de mapas conceptuales y mapas temáticos
- permitir la reutilización del conocimiento existente en nuevos sistemas
- permitir la interoperabilidad entre sistemas distintos
- establecer modelos normativos que permitan la creación de la semántica de un sistema y un modelo para extenderlo y transformarlo entre diferentes contextos
- servir de base para la construcción de lenguajes de representación del conocimiento

3.1.2 Nicola Guarino

En el área de ontologías Nicola Guarino, tiene mucha influencia sobre el tema. En [Guarino, 1998] se definen algunos conceptos como ontología, compromiso ontológico y conceptualización.

En algunos casos, el término “ontología” es el nombre extravagante que denota el resultado de actividades familiares como el análisis conceptual y el modelado del dominio⁷. En el sentido filosófico, podemos referir a una ontología como un sistema particular de categorías relacionadas para una cierta visión del mundo. Como tal, este sistema no depende de un lenguaje en particular: La ontología de Aristóteles es siempre la misma, independientemente del lenguaje usado para describirla. Por otra parte, en su uso más frecuente en la AI, una ontología se refiere a un artefacto de la ingeniería, constituido por un vocabulario específico usado para describir cierta realidad, además de un conjunto de suposiciones explícitas con respecto al significado

⁷ Modelado del dominio: Representación de las características más relevantes de un dominio dado.

previsto de las palabras del vocabulario. Este sistema de suposiciones tiene generalmente la forma de una teoría lógica de primer orden, donde las palabras del vocabulario aparecen como nombres de predicados unarios o binarios, respectivamente, llamados conceptos y relaciones. En el caso más simple, una ontología describe una jerarquía de conceptos conectados por relaciones de *pertenencia*; en casos más sofisticados, se agregan los axiomas convenientes para expresar otras relaciones entre los conceptos y restringir la interpretación prevista.

Con el fin de solucionar el problema de la interpretación de la ontología, se utiliza una conceptualización, una palabra muy usada en el ámbito de la AI. Dos ontologías pueden usar diferente vocabulario (por ejemplo, español e inglés) y compartir la misma conceptualización.

Una conceptualización se ha definido como una estructura $\langle D, R \rangle$, donde D es un dominio y R es un conjunto de relaciones relevantes en D. Esta definición fue utilizada por [Gruber 1993], quien definió la ontología como "especificación de una conceptualización".

Haciendo estas aclaraciones se puede proceder a refinar la definición de Gruber para hacer más clara la diferencia entre una ontología y una conceptualización:

Una ontología es una teoría lógica que explica el significado previsto de un vocabulario formal, esto es, su compromiso ontológico para una conceptualización en particular del mundo. Los modelos previstos del lenguaje lógico usados como vocabulario son restringidos por su compromiso ontológico. Una ontología indirectamente refleja su compromiso [y el de la conceptualización subyacente] aproximando los modelos previstos.

Es importante enfatizar que una ontología es dependiente del lenguaje, mientras que una conceptualización es independiente del lenguaje. De hecho en la AI, el término "ontología" se colapsa en esos dos aspectos, pero una separación clara entre ellos llega a ser esencial para tratar los asuntos relacionados con compartir, fusionar, y traducir ontologías, que en general implican múltiples vocabularios y conceptualizaciones.

Se puede definir una ontología de manera que exista una clara distinción entre los términos ontología y conceptualización. Así podemos clasificar a las ontologías según su exactitud para caracterizar la conceptualización. Hay dos maneras posibles en que una ontología puede estar más cercana a una conceptualización: desarrollando una axiomatización más rica, y adoptando un dominio más rico y/o un sistema más rico de relaciones conceptuales relevantes. En el primer caso, la distancia entre el conjunto de

modelos de la ontología y el conjunto de modelos previstos se reduce. En el segundo caso, es posible (al menos en principio) incluir en el conjunto de relaciones conceptuales relevantes aquellas relaciones que caractericen un estado del mundo, ampliando en el mismo tiempo el dominio para incluir las entidades involucradas con tales relaciones.

Otra posibilidad de incrementar la aproximación de una ontología a la conceptualización consiste en adoptar un modelo lógico, con lo cual se permite expresar coacciones a través de mundos, o solamente refinando mundos como objetos ordinarios del dominio. Una ontología fina consigue una especificación más cercana del significado previsto de un vocabulario (y por lo tanto puede ser utilizado para establecer consenso en relación a compartir dicho vocabulario, o una base de conocimiento que utilice ese vocabulario), pero puede ser difícil de desarrollar, debido al número de axiomas y la expresividad del lenguaje adoptado. Representación que tiene información muy detallada se utiliza también el término ontología de bajo nivel (*low-level ontology*). Una ontología tosca, puede consistir de un conjunto mínimo de axiomas escritos en un lenguaje de expresividad mínima, para soportar solamente un conjunto limitado de servicios específicos, previstos para ser compartido entre los usuarios que están de acuerdo con la conceptualización subyacente. Representación de información general y se conoce también como ontología de alto nivel (*high-level ontology*).

Las ontologías también son clasificadas de acuerdo a su dependencia a una tarea específica o a un punto de vista y a su nivel de generalización, como se muestra en la figura 3.1

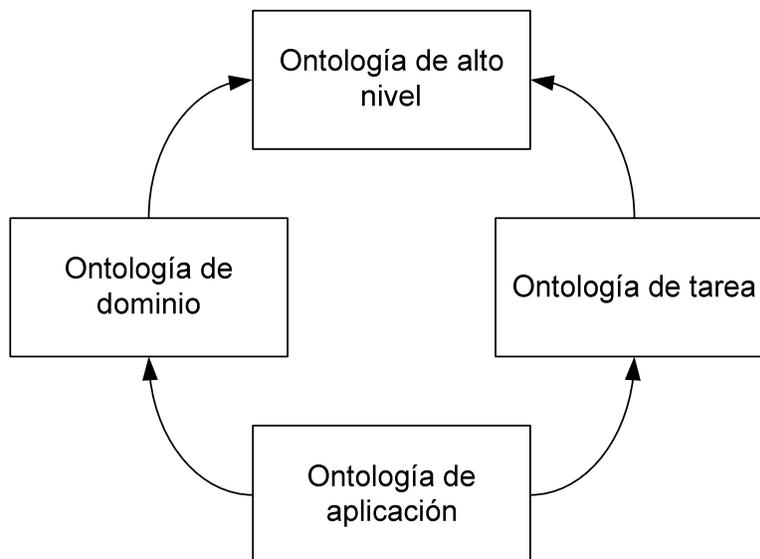


Figura 3.1 Tipos de ontologías, de acuerdo a su nivel de dependencia para una tarea en particular [Las líneas representan relaciones de especialización]

La definición de tal clasificación en las ontologías se muestra a continuación:

Ontología de alto nivel (Top-level Ontology). Describen conceptos muy generales como espacio, tiempo, materia, objeto, eventos, acciones, etc., que son independientes de un dominio o problema en particular: por lo tanto, parece razonable, por lo menos en teoría, tener ontologías a nivel superior unificadas para grandes comunidades de usuarios.

Ontología de Dominio (Domain ontology) y Ontología de Tarea (Task ontology). En la primera se describen el vocabulario relacionado a un dominio genérico como medicina o automóviles, y en la ontología de tareas se describe el vocabulario relacionado con una tarea en específico como diagnóstico o ventas, cada una especializando los términos introducidos en la ontología de nivel superior.

Ontología de Aplicación (Application ontology). Describen conceptos tanto de un dominio como de una tarea particulares, que frecuentemente son especializaciones de ambos. Estos conceptos corresponden a los roles desempeñados por las entidades del dominio mientras realizan cierta actividad, como unidad reemplazable o componente de repuesto. Representan las necesidades del usuario con respecto a un uso específico, tal como una valoración de la contaminación en la Cd. de México. [Moreno 2007].

3.1.3 David M. Mark y Andrew G. Turk

En el trabajo desarrollado por [Mark y Turk, 2003] se toman en cuenta diversos factores para el desarrollo de una ontología, en el cual se expone el caso de una comunidad en Australia en donde ellos desarrollaron su investigación.

En esta investigación se define la palabra ontología como una teoría lógica el cual da una cuenta explícita y parcial de la conceptualización (de entidades geográficas); o bien en los sistemas de información se puede definir a la ontología como la formalización de las conceptualizaciones adecuadas para su implementación en sistemas de información. Entonces al querer unificar los conceptos se encuentra una gran disyuntiva que hace que esto no sea posible. Es decir, alrededor del mundo los individuos tienen diferentes percepciones el paisaje que los rodea; puede ser que este conocimiento lo vayan adquiriendo de manera cognoscitiva o bien depende de la cultura, gramática ó léxico que maneja ese individuo.

Las entidades geográficas son categorizadas de acuerdo al dominio en el que se encuentran; razón que complica las cosas al momento de querer tener una ontología aceptada por una gran mayoría. Y como ejemplo de lo mencionado se mencionan que en esta comunidad Australiana casi no se encuentran ríos y cuando hay es debido a la cantidad de precipitación pluvial como huracanes razón por la cual se forman, por lo cual el termino es muy raramente usado. En cambio si se hace una comparación a cualquier país que si tiene en su geografía vertientes de agua, podemos encontrar la variedad de nombres con los que se les conoce a las corrientes pluviales un ejemplo de ellos son los ríos, arroyos, riachuelos, lagunas, etc. El encontrar esta clase de problemas lleva a pensar en la complejidad de unificar términos para las entidades geográficas, para la construcción de un SIG.

Otra observación importante contenida en ese artículo es que en la comunidad australiana no se toman en cuenta para nombrar las entidades geográficas la altura o el tamaño de estas, sino que sencillamente son nombradas así por las personas, es decir inconscientemente la gente ya sabe cómo llamar a las cosas. Y que a las vertientes de agua les llaman a todas por igual sin diferenciar un río de un arroyo.

3.1.4 Otros trabajos relacionados con ontologías

A continuación se mencionan otros trabajos que involucran ontologías, y del cual se exponen las ideas más importantes.

En [Smith & Mark, 2000] se menciona que el ser humano es capaz de adquirir el conocimiento de manera gradual, ya que conforme va creciendo se van haciendo en su mente ciertas relaciones, conceptos y categorías que al momento de querer definirlos resulta verdaderamente difícil. Un tema que se aborda es el referente a la cantidad de factores tales como la cultura, el medio ambiente, las creencias, que envuelve a la persona para que esta tenga su conocimiento y permita entender el paisaje que lo rodea.

Para obtener un concepto sobre lo que es una montaña y lo que es un simple cerro, se podría pensar que lo más lógico sería recurrir como primera fuente a un diccionario para que ayude a entender mejor el concepto y al hacer esto se encuentra que la definición resulta ser ambigua y hasta cierto punto contradictoria, ya que la definición de montaña es una elevación natural del terreno y la definición de colina es una pequeña elevación de terreno de menor tamaño que una montaña. Este concepto geográfico (montaña) resulta más complicado de definir debido a que no cuenta con un borde determinado, basta observar una montaña para ver que ninguna es idéntica.

La ontología nos permite dado un dominio describir los componentes de la realidad en un modo semántico, así como las relaciones entre los componentes; ó como las relaciones de esos componentes con los de otros dominios. [Smith y Mark, 2000].

Otra manera para entender el rol de las ontologías en el modelado de los datos geográficos, es construir el paradigma de cuatro universos para modelar una representación computacional. [Gomes & Velho, 1995]. Los cuatro universos son el universo físico, el cual comprende los objetos y fenómenos del mundo real que pueden ser modelados en una computadora; el universo lógico el cual incluye una definición formal de esos objetos y fenómenos; el universo de representación donde una descripción simbólica finita de los elementos en el universo matemático es hecho y el universo de implementación usado para mapear los elementos del universo en estructuras de datos puestas en práctica en un lenguaje de computación. Como se muestra en la figura 3.2

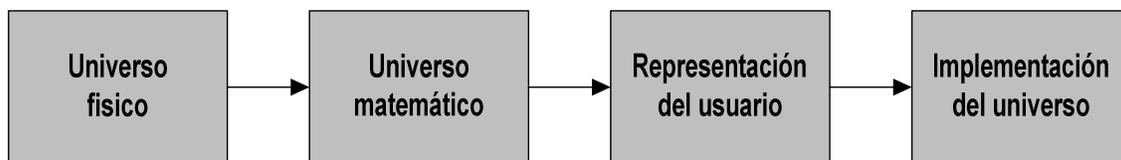


Figura 3.2 El paradigma de los cuatro universos desarrollados por Gomes y Velho [1995]

Pero teniendo como base estos cuatro universos existe otro enfoque [Fonseca et al, 2002] en el cual se añade el universo cognitivo, el cual captura lo que la gente percibe sobre el universo físico; entonces queda definido de la siguiente manera: el universo físico es el mundo real, el universo cognitivo tiene conceptos como ríos, suelos, el universo lógico tiene el concepto formal de los objetos geográficos, como las ontologías del dominio geográfico, en el universo de representación tenemos los objetos y conceptos y en el universo de implementación son las estructuras de datos que son usadas para poner en práctica los conceptos del nivel anterior incluyendo las geometrías vector y raster [Cámara et al, 2000]. Ver figura 3.3

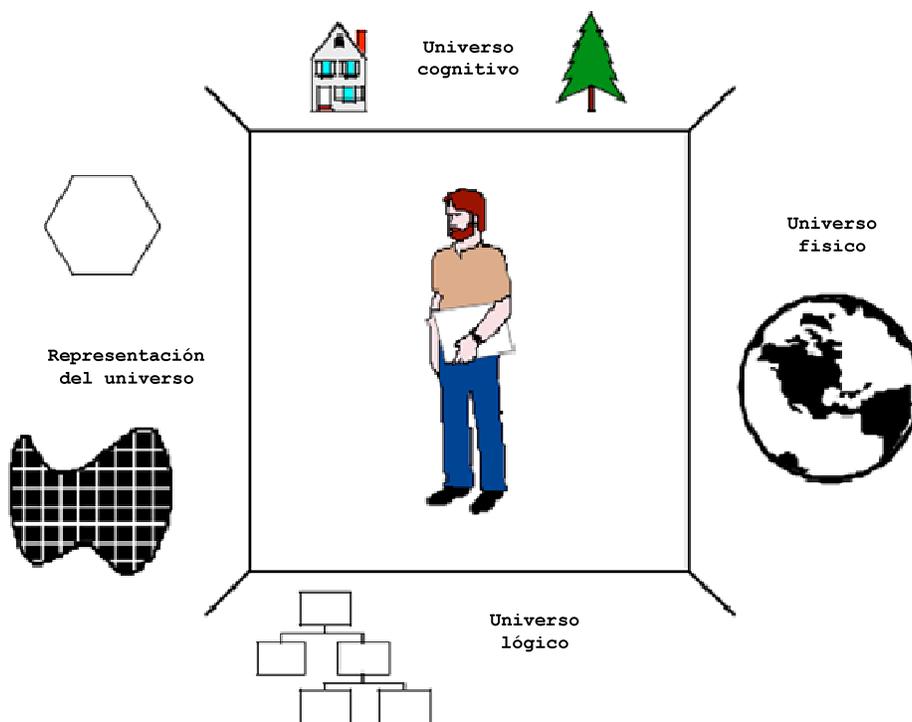


Figura 3.3 La perspectiva humana del paradigma de los cuatro universos [Fonseca et al, 2002]

Pero tomando en consideración que quien desarrolle la investigación es quien implementará la ontología dependiendo el caso de estudio que se trate. Tal como

sucede en [Quintero y Villegas, 2007] en donde ya se cuenta con la metodología para la representación conceptual de un DEM.

3.2 Definiciones

A continuación describiremos brevemente algunas definiciones que serán primordiales para desarrollar la metodología propuesta.

3.2.1 Concepto

Al momento de hablar de una montaña se nos viene a la mente el posible concepto el cual los seres humanos tienen asociado a su cerebro. Pero ahora bien, ya dicha conceptualización está realizada en la investigación que nos sirve de soporte para ese trabajo; pero nos interesa conceptualizar las relaciones topológicas de proximidad que serán usadas en nuestra descripción. Empecemos mencionando algunas definiciones del término concepto.

[Sager 1990: 23] recoge las siguientes definiciones de concepto que varios comités estandarizadores habían formulado hasta la fecha:

- Los conceptos son constructos mentales, abstracciones que se pueden emplear para clasificar los distintos objetos del mundo exterior e interior. (Recomendación Estándar Británica para la selección, formación y definición de términos técnicos).
- Los objetos de todos los campos de conocimiento y actividades humanas, las cosas, sus propiedades, cualidades, fenómenos, etc. se representan mediante conceptos. (Propuesta de revisión del Reino Unido para el documento de la ISO R 704).
- Un concepto es un constructo mental para la clasificación de objetos individuales del mundo exterior e interior por medio de una abstracción más o menos arbitraria. (Borrador de 1968 del estándar ISO 704).
- Un concepto es una unidad de pensamiento, generada mediante la agrupación de objetos individuales relacionados entre sí por características comunes. (Borrador de documento DIN alemán).

- Un concepto es un grupo coherente de juicios sobre un objeto cuyo núcleo se compone de aquellos juicios que reflejan las características inherentes del objeto. (Propuesta de la Unión Soviética para la revisión del documento ISO 704).
- Un concepto es una unidad de pensamiento.

Y añade las siguientes puntualizaciones:

- Un concepto se usa para estructurar el conocimiento y percepción del mundo circundante y no necesita ser expresado.
- Distintas escuelas de pensamiento tienen definiciones diferentes del concepto "concepto". (Versión final del Draft International Standard ISO/DIS 704, 1985).

Los conceptos son constructos u objetos mentales, por medio de los cuales comprendemos las experiencias que emergen de la interacción con nuestro entorno, a través de su integración en clases o categorías relacionadas con nuestros conocimientos previos.

Con base en los puntos anteriores se puede establecer una definición provisional de concepto: un concepto es una abstracción de un conjunto de objetos, propiedades o eventos existentes en el mundo real o un mundo posible, que puede poseer una realización física en un sistema de representación determinado, al cual se puede hacer referencia mediante un símbolo arbitrario, aunque necesariamente único, dentro de un sistema representacional. Como constructo, posee ciertas propiedades distintivas de los demás conceptos, con los que guarda diversos tipos de relaciones. Tanto sus propiedades intrínsecas como sus relaciones con los demás conceptos deben ser evidentes, y por tanto susceptibles de ser especificados de forma explícita.

La formación del concepto está estrechamente ligada al contexto; esto significa que todos los elementos, incluyendo lenguaje y cultura, y la información percibida por los sentidos que sea accesible al momento en que una persona construye el concepto de algo o alguien, influyen en la conceptualización. El proceso de formación del concepto comienza cuando un sujeto se sitúa frente a un objeto de conocimiento. El contacto se lleva a cabo mediante los sentidos los cuales nos permiten obtener las características accidentales (color, tamaño, forma, sabor, olor) del objeto. De este modo se logra la representación sensible o imagen, ésta puede ser recordada por la memoria con las mismas características que el objeto posee. Pero en este proceso intervienen los

sentidos, también esta presenta la razón, la que nos abre la posibilidad de observar las características esenciales del objeto que nos lleva a la formación del concepto.

El concepto se forma por medio de la organización racional de los datos obtenidos, que se constituyen en una unidad. Es dinámico, ya que se enriquece con los nuevos descubrimientos que sobre un objeto se hacen.

3.2.2 Relaciones

En particular este caso de estudio está basado en determinar las relaciones topológicas de los objetos en un DEM. Tenemos que definir el término relación. El concepto de relación implica la idea de correspondencia entre los elementos de dos conjuntos que forman parejas ordenadas. Cuando se formula una expresión que liga dos o más objetos entre sí, se postula una relación (no necesariamente matemática). Entonces se puede definir la relación como la correspondencia que hay entre todos o algunos elementos del primer conjunto con uno o más del segundo conjunto, ver figura 3.4.

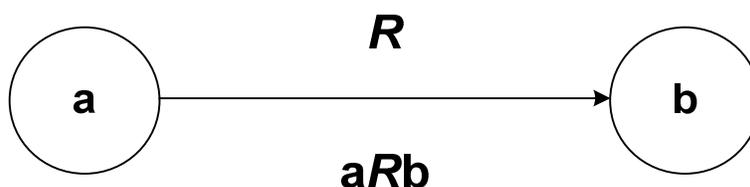


Figura 3.4 Ejemplo de una relación

Otra manera de definir una relación matemáticamente, es como un subconjunto del producto cartesiano de dos conjuntos.

De acuerdo a la metodología de conceptualización que vamos a emplear [postulada en Quintero, 2007] las relaciones son de dos tipos:

- **Simples:** tienen la forma: $apb \in R_s$ donde $a, b \in C$ y $\rho \in A$.
- **Compuestas:** tienen la forma: $apb\pi c \in R_c$ donde $a, b, c \in C$ y $\rho \in A_1$ y $\pi \in A_2$

Donde A_1 y A_2 son conjuntos de relaciones y C es un conjunto de conceptos

3.2.3 Propiedad

Una propiedad es un concepto agregado a otro por medio de una relación de pertenencia que define características de este último. Se puede definir de la siguiente manera:

Sean $a, b \in C$, se dice entonces que b es una propiedad de a si a (tiene) b R_R , b es una propiedad concreta de a si b es una instancia. Las propiedades que no son concretas las llamaremos propiedades abstractas.

Donde R_R es el conjunto de relaciones existentes en una conceptualización real o concreta.

Por ejemplo Si una montaña “tiene” cierta distancia de otros objetos; en donde la distancia puede ser: distancia_cerca, distancia_intermedia o distancia_lejos, entonces diremos que distancia es una propiedad de montaña y distancia_cerca es una propiedad concreta de montaña.

Denotaremos como Π al conjunto de propiedades, Π_C al conjunto de propiedades concretas y Π_A al conjunto de propiedades abstractas. Así podemos decir que, $\Pi = \Pi_A \cup \Pi_C$ y $\Pi_A \cap \Pi_C = \emptyset$

3.3 Computo de Palabras (CW – Computing with Words)

Este trabajo se enfoca en determinar las relaciones de proximidad entre los objetos geomorfológicos presentes en un DEM esto es debido a que dichas relaciones son indispensables para la consolidación semántica de regiones y para hacer una representación más descriptiva. Como se observó en el estado del arte el enfoque que se usa para llegar a modelar relaciones topológicas en objetos con límites difusos va de la mano con la lógica difusa. En particular se va a llegar a una descripción es decir se va a tratar con palabras, razón por la cual introducimos el computo de palabras que es un campo más especializado en la lógica difusa, Es decir, se va a emplear el uso de métodos difusos asociados a las variables lingüísticas [Zadeh, 1999].

En ocasiones y en particular en este caso se supone que es mejor trabajar con palabras que pueden ser reconocidas fácilmente por el ser humano y dejar los

números de dicha información ocultos, es decir hacer la conversión de cifras a conceptos entendibles por el ser humano. [Zadeh, 1996].

Para ello existe el CW que es la principal contribución de la lógica difusa, debido a que la computación implica la manipulación de números y símbolos de forma exacta, siendo esto contrastante en los seres humanos los cuales emplean en la mayoría de las veces palabras en el computo y razonamiento, llegando a conclusiones expresadas en palabras como premisas expresadas en un lenguaje natural o teniendo la forma de la percepción mental. En los seres humanos, la mayoría de las palabras usadas en el lenguaje natural tienen denominaciones difusas. Esto mismo es aplicado en el rol jugado por las palabras en el CW.

Un aspecto primordial en el CW es que involucra una fusión del lenguaje natural (NL- Natural Language) y la computación con variables difusas. Algo básico en el CW es que la información es transmitida por las restricciones de los valores de las variables. Además, la información consiste en una colección de proposiciones expresadas en NL o cualquier otro tipo de lenguaje elaborado por los humanos.

El cubrimiento del dominio de una variable con varios conjuntos difusos y con la correspondiente interpretación semántica resulta en una variable lingüística, permitiendo el cálculo con palabras. Este tipo de representación es especialmente útil y apropiado para muchas aplicaciones del mundo real donde ciertos conceptos son inherentemente vagos en su naturaleza, debido a su medición imprecisa o a la subjetividad. La superposición de las funciones de membresía refleja la naturaleza imprecisa de los conceptos. Es importante tener en cuenta que los conceptos dependen de su respectivo contexto. Por ejemplo, un viejo estudiante puede ser un joven profesor.

Esta forma de definir conjuntos difusos sobre el dominio de la variable a menudo se conoce como granulación. La granulación resulta en un agrupamiento de objetos en grupos imprecisos también conocidos como gránulos difusos, con los objetos formando un gránulo comparten similitudes [Salas, 2007]. La granulación juega una parte importante en la cognición⁸ humana; ya que sirve para lograr la comprensión de los datos.

⁸ Cognición.[Del lat. *cognitio*, -*ōnis*]. Conocimiento.- acción y efecto de conocer.

Aunque existe un problema básico en el CW el cual consiste en que si se da una colección de proposiciones expresadas en un lenguaje natural el cual constituye el conjunto de datos de inicio (IDS Inicial Data Set), entonces del IDS se desea inferir una respuesta a una consulta expresada en lenguaje natural. La respuesta que obviamente debe ser expresada también en lenguaje natural, es referida de un conjunto de datos terminales (TDS Terminal Data Set). El problema entonces será derivar TDS del IDS. Como ejemplo para mostrar hacer más entendible este problema tenemos el siguiente:

Se asume que una función $f, f : U \rightarrow V, X \in U, Y \in V$ es descrita en palabras por las reglas difusas IF-THEN (si-entonces), tenemos que:

f : Si X es pequeña entonces Y es pequeña

Si X es mediana entonces Y es grande

Si X es grande entonces Y es pequeña

Lo cual implica que f es aproximada a ser el grafo difuso f^* , donde:

$$f^* = \text{pequeña} \times \text{pequeña} + \text{mediana} * \text{grande} \\ + \text{grande} \times \text{pequeña}$$

En f^* , \times , $+$, y^* se denota la disyunción y el producto cartesiano respectivamente. Una expresión de la forma $A \times B$, donde A y B son palabras y estarán referidas como unos gránulos cartesianos. En este sentido, un grafo difuso puede ser visto como una disyunción de gránulos cartesianos. Es por eso que un grafo difuso sirve como una aproximación a una función o relación observar Figura 3.5.

En este ejemplo mostrado, el IDS consiste del conjunto de reglas difusas f . La consulta es, “¿Cuál es el máximo valor de f ?” ver Figura 3.6; o de forma más amplia, el problema es “¿Cómo se puede computar un tributo de una función f , por ejemplo, su máximo valor o área, si f es descrita en palabras como una colección de las reglas difusas IF-THEN?”

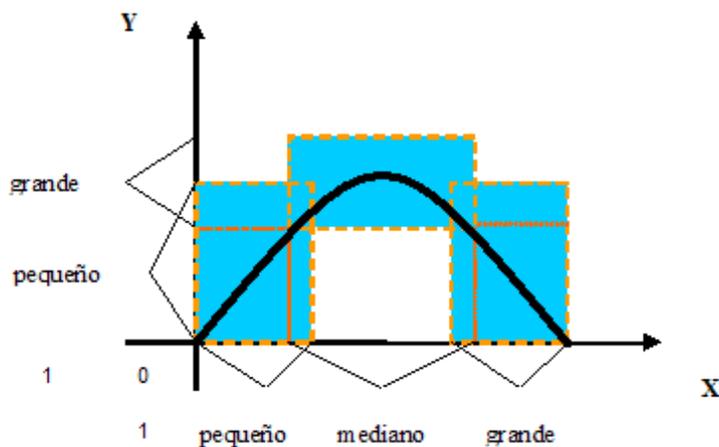


Figura 3.5 f^* es un grafo difuso con aproximación a la función f [Zadeh, 1996]

Problema: maximizar f

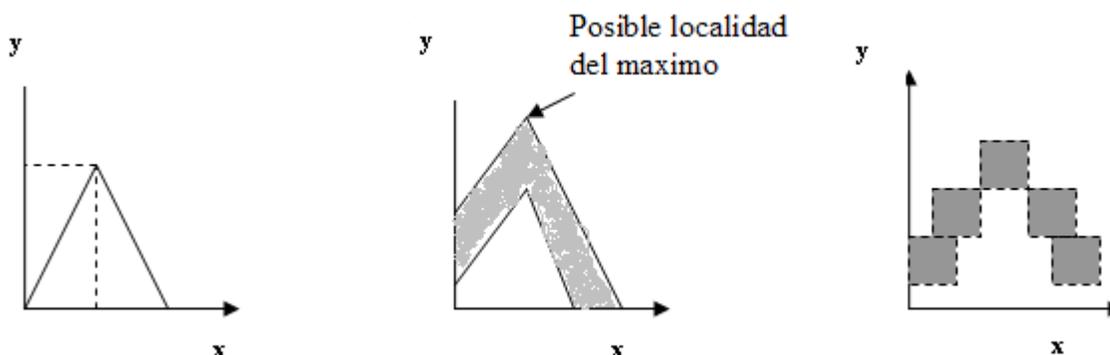


Figura 3.6 Maximización de una función, una función en un intervalo- evaluado, y un grafo difuso.

Cuando la información que se tiene resulta ser bastante imprecisa con números; como en este caso el definir que es estar “cerca de algo” puede ser más factible representarla en una oración que mostrar las cifras del cómputo de la imagen del DEM, que a simple vista no comunica información alguna a las personas. Para emplear esta técnica de computar las palabras el sistema debe de tener cierta tolerancia hacia la imprecisión del uso de estas. Se debe de recordar que cada individuo es capaz de percibir de manera distinta las maneras en que las personas u objetos se encuentran relacionados, mientras para una persona una montaña esta cerca de otra montaña, para otra puede estar la montaña atrás de una montaña dependiendo de la posición de donde se observen el(los) objeto(s) en cuestión. Figura 3.7



Figura 3.7 Percepciones de las relaciones de dos objetos geomorfológicos

Una manera de mostrar las percepciones en lenguaje natural, es por medio del uso de las formas canónicas. Si tenemos:

$$X \text{ is } R$$

donde R es una restricción de relación difusa y X es la variable restringida. La expresión en cuestión es llamada una forma canónica. La función de una forma canónica es colocar en evidencia las restricciones difusas las cuales son implícitas en p. Esto es representado esquemáticamente como:

$$p \rightarrow X \text{ is } R$$

en el cual la flecha \rightarrow denotan lo explícito y la variable X puede ser un vector –valuado y/o condicionado.

Como un ejemplo de la forma canónica podemos tener el siguiente:

$$P \rightarrow \text{María no es joven}$$

La estructura conceptual del CW es esquematizada en la siguiente Figura 3.8, básicamente el CW es visto como la confluencia de dos corrientes: la FL y el análisis semántico, este último basado en la FL. El punto de contacto es la colección de las formas canónicas formadas por las premisas, con lo cual se asume las proposiciones expresadas en LN.

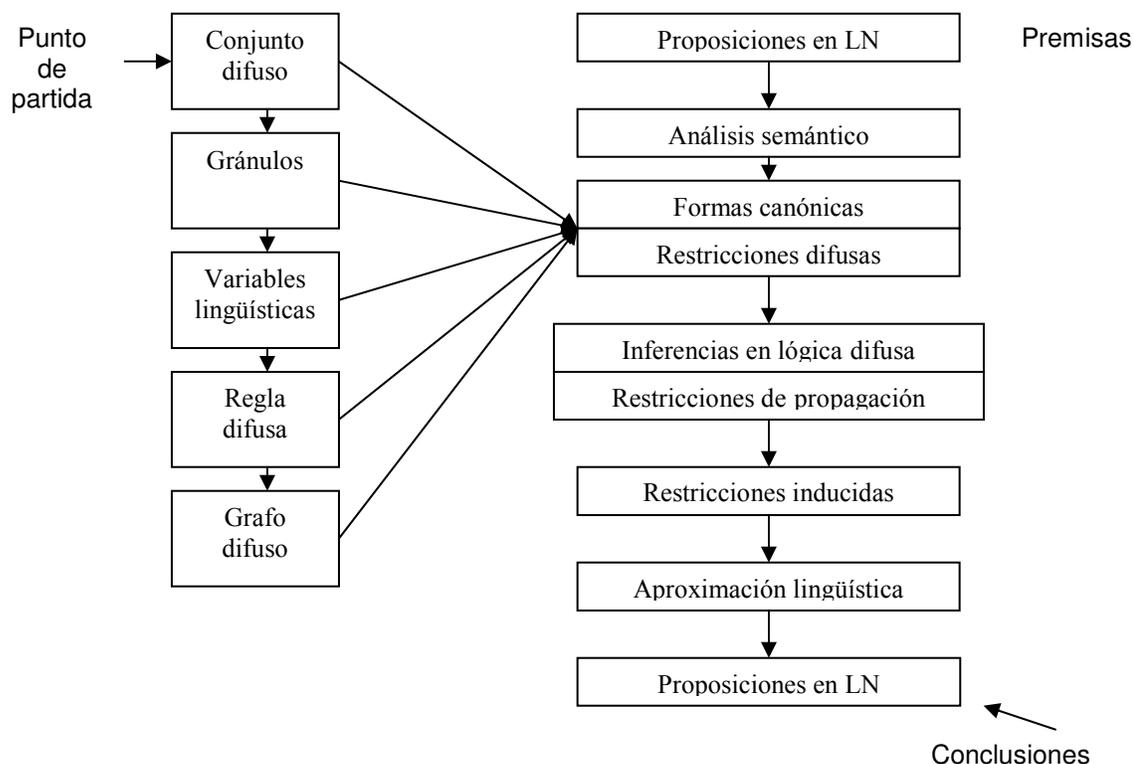


Figura 3.8 Estructura Conceptual del CW [Zadeh, 1996]

El CW provee una metodología llamada teoría computacional de percepciones (CTP), Figura 3.9. Hay que mencionar que la CTP aún se encuentra en etapa de desarrollo. Sin embargo el impacto potencial de la metodología de cómputo con palabras es mucho más amplio. Básicamente hay cuatro razones para el uso de CW:

No se conozca un análisis razonado: En este caso, los valores de variables y/o parámetros no son conocidos con suficiente precisión para justificar el uso de métodos convencionales de cómputo numérico.

No se necesite un análisis razonado: En este caso, hay una tolerancia a la imprecisión con lo cual puede ser explotada para mantener un bajo costo de solución y mejor empate con la realidad.

El análisis razonado no lo pueda solucionar: En este caso, el problema no puede ser resuelto a pesar de usar el cómputo numérico.

No se puede definir un análisis razonado: En este caso un concepto que se desea definir es demasiado complejo para admitir la definición en criterios de un conjunto de números.

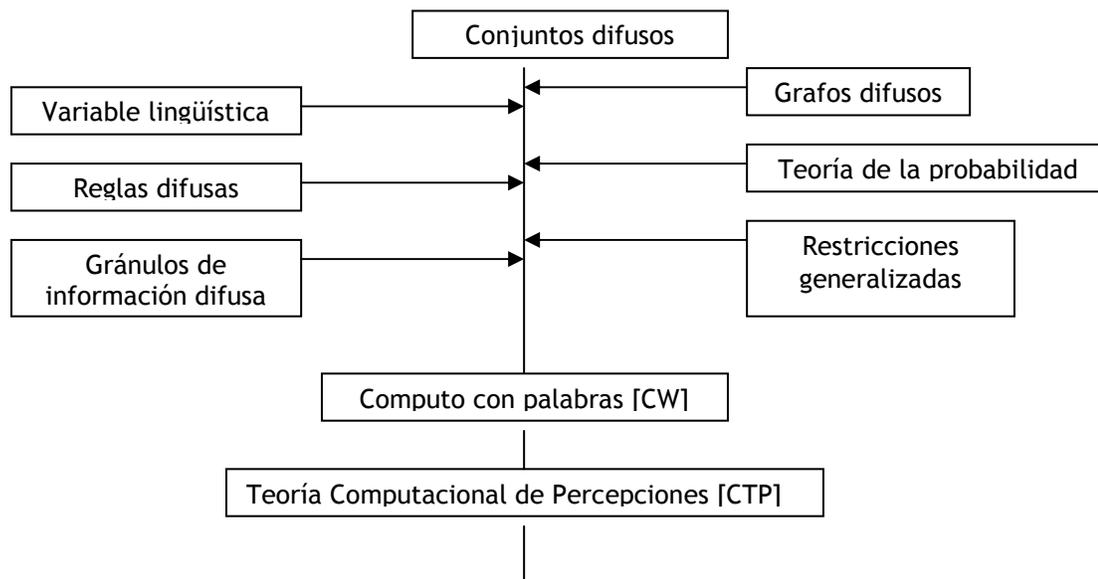


Figura 3.9 Estructura conceptual de la teoría computacional de percepciones. [Zadeh, 1999]

En la figura 3.9 se aprecia que derivado del CW se encuentra la CTP, que es exactamente lo que se utilizará en este trabajo. Debido a que como se ha mencionado cada ser humano puede percibir las relaciones de su entorno de distinta manera, para la cual se deben de llegar a un consenso que tenga cierto rango de tolerancia al error para las métricas de los conceptos cerca y lejos.

Esta parte referente a la lógica difusa ha sido de gran utilidad e importancia mencionarla para tener un panorama más amplio sobre lo cual debemos de enfocarnos que es la manera de cómo obtener y establecer rangos obtenidos a partir de las percepciones de las personas.

Hasta este punto ya se ha abordado la teoría que es necesaria para llevar a cabo la investigación, ahora faltaría conocer sobre que aplicación me permitiría soportar la metodología planteada. Hacemos hincapié en que este trabajo es una parte complementaria de una metodología ya realizada que identifica los conceptos geomorfológicos, dicha metodología está desarrollada en el programa MATLAB. Por lo cual se seguirá utilizando el mismo programa, resaltando algunas de sus características a continuación.

3.4 MATLAB

MATLAB es un lenguaje computacional técnico de alto nivel y de ambiente interactivo para el desarrollo de algoritmos, análisis de datos y análisis computacionales, Con MATLAB se pueden llegar a resolver problemas técnicos de forma más sencilla que con los tradicionales lenguajes de programación tales como C, C++ y Fortran.

“MATrix LABoratory” es el significado de MATLAB y puede ser usado en un amplio rango de aplicaciones, incluyendo el procesamiento de imágenes y señales, comunicaciones, diseño de control análisis y modelado financiero. Agregando a MATLAB una caja de herramientas en su entorno de trabajo se pueden resolver problemas en esas áreas de aplicación. Además de integrar el código con otros lenguajes y aplicaciones.

Algunas de las características principales son:

- ✓ Una forma de programación simple
- ✓ Continuidad entre valores enteros, reales y complejos
- ✓ Maneja un rango numérico y de aproximación extendido
- ✓ Tiene bibliotecas matemáticas comprensibles
- ✓ Funciones matemáticas para algebra lineal, estadísticas, análisis de Fourier, e integración numérica
- ✓ Gran cantidad de herramientas gráficas, incluyendo funciones para interfaces gráficas de usuario
- ✓ Funciones graficas en 2D y 3D para la visualización de datos
- ✓ Capacidad de vincular sus aplicaciones con los lenguajes de programación tradicionales
- ✓ Portabilidad de los códigos realizados en MATLAB.

Una característica con los números en MATLAB es que no hay distinción entre real, complejo, entero, y doble; ya que todos los números están continuamente conectados. Esto significa que en MATLAB una variable puede tomar cualquier tipo de dato sin una declaración previa en el programa. Esto hace a la programación más rápida y

productiva. Además de que permite realizar cálculos numéricos con vectores y matrices

Las bibliotecas matemáticas en MATLAB hacen sencillos los análisis matemáticos. Y se permite que el usuario pueda desarrollar rutinas matemáticas adicionales significativamente más fáciles en comparación con otros lenguajes de programación.

Con MATLAB la representación gráfica de una función matemática es posible con solo usar pocos comandos. Una de las capacidades más atractivas es la de realizar una amplia variedad de gráficos en dos y tres dimensiones.

Por todas estas razones MATLAB se hizo muy factible para desarrollar la metodología propuesta, pero otra cualidad es la capacidad para tratar con DEM que son tipos de datos que contienen su información en matrices. Así que una vez accediendo a la matriz podemos manipularla de la forma que deseemos. Para manipular imágenes, MATLAB también posee grandes características pues proporciona sencillos comandos para representar imágenes en escalas de colores. Actualmente algunas investigaciones referentes al reconocimiento de patrones están realizadas en este programa. (The Student Edition of MATLAB Version 5)

CAPITULO 4

METODOLOGÍA

En este capítulo se presenta la metodología para realizar una mejor descripción semántica de los DEM. Como caso particular de estudio, se presenta el análisis para encontrar los “valles” presentes en un DEM. Se plantean las ideas generales y los pasos de la metodología que se ponen en práctica en el capítulo siguiente. Cabe mencionar que este trabajo tiene como soporte la investigación desarrollada por [Quintero 2007] y [Villegas 2007] siendo una parte complementaria a dicha investigación.

4.1 Introducción

En [Quintero y Villegas, 2007] se identifican conceptos geomorfológicos tales como: montañas, cordilleras, montes, altiplanos, colinas, lomas, collados, llanos, planicies, mesetas y cuencas; y da una descripción de los objetos encontrados como sus características: altitud máxima y mínima, y área. En la metodología propuesta en este trabajo se identifican las relaciones de proximidad de dichos objetos con el fin de dar una descripción más detallada, de manera similar a como el ser humano lo hace normalmente.

A continuación se muestra la manera en que se tiene planteada la metodología general del trabajo [Quintero, 2007] ver Figura 4.1:

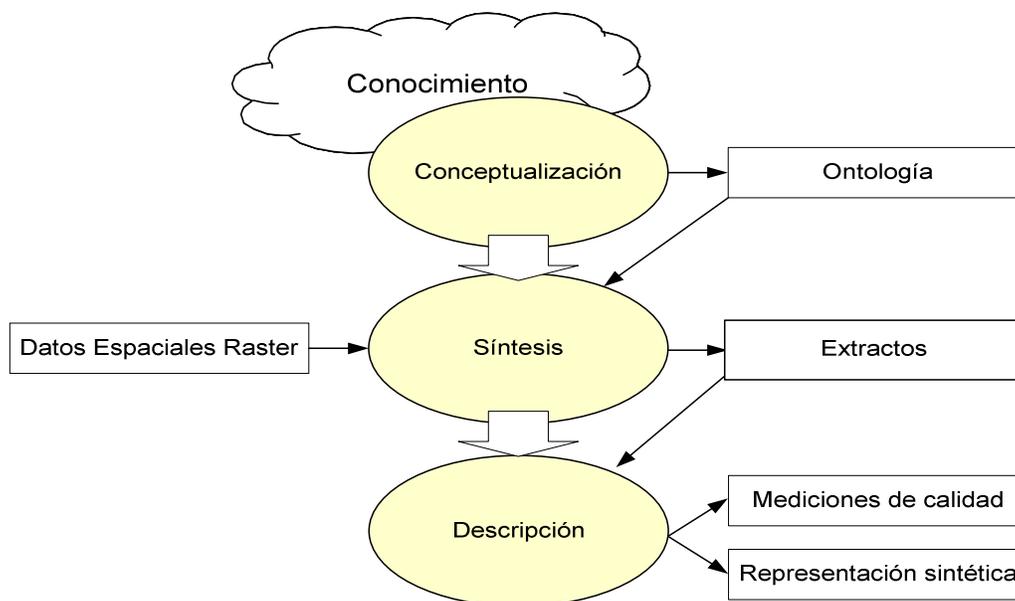


Figura 4.1 Metodología general propuesta

La metodología general consiste en la conceptualización, el diseño de las ontologías de los dominios correspondientes, algoritmos de segmentación de la imagen del DEM y la identificación de las formas del terreno en el DEM.

Se conceptualizan tres dominios: el geográfico, el de las formas de la tierra y el de los resultados del algoritmo de segmentación. De ellos se obtienen las ontologías generales de aplicación y de tarea respectivamente. Al DEM se le aplica un algoritmo de segmentación de manera iterativa con el fin de obtener segmentos identificados bajo las firmas “llan-llan”, “elev-elev-elev”, “depr-der”, etc. Correspondientes a los objetos (llanuras, elevación y depresiones). Una vez que se tienen las firmas de los segmentos, se procede a verificar la correspondencia con la ontología de tarea; para posteriormente llegar a la descripción de los objetos geomorfológicos.

Como se puede observar en la figura anterior, se aprecia que de un DEM se obtienen los objetos geomorfológicos presentes (extractos) y se representa una descripción de las características de los elementos encontrados. Enfocándose en el caso de estudio en particular, se va a desarrollar otra metodología que permita hacer la descripción de las relaciones de proximidad entre los objetos geomorfológicos contenidos en un DEM. Tomando como partida la metodología global de esta investigación, a continuación se

muestra la parte que se anexará a dicha metodología para llegar a la descripción con las relaciones.

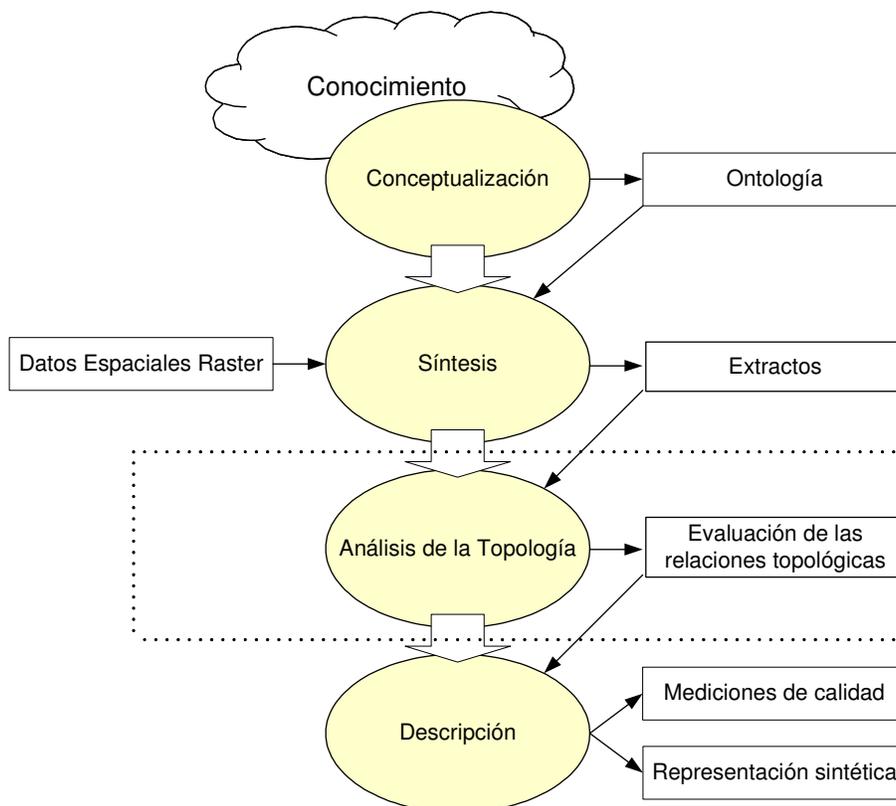


Figura 4.2 Metodología en particular sobre la descripción que interesa en el caso de estudio

Para entender mejor la Figura 4.2 a continuación se da una breve explicación de la misma; haciendo mención que para describir las relaciones de proximidad entre los objetos será necesario partir del conocimiento y conceptualizar dichas relaciones, con ello se enriquecerá la ontología planteada en la metodología general.

Conceptualización: Los dominios mencionados son conceptualizados para obtener como resultado una ontología que será el punto de partida del trabajo.

Síntesis: Es el proceso por el cual pasa el DEM, para obtener los extractos que contiene. Es la parte numérica del análisis

Extractos: Contienen a los objetos geomorfológicos encontrados en el DEM.

Análisis de la Topología: Con los objetos identificados en el DEM llamados extractos se efectúa sobre ellos un análisis para determinar las relaciones de proximidad que tienen entre sí.

Descripción: Es el resultado final de la metodología en donde se enuncian los objetos geomorfológicos encontrados en el DEM con algunas de sus características.

Para el caso de estudio va a interesar encontrar los lugares en donde los elementos presentes en un DEM formen un valle. Esto se realizará mediante las relaciones de proximidad, como se verá más adelante.

4.2 Descripción general de la metodología

Lo que se pretende hacer en este trabajo es describir la forma en cómo se encuentran relacionados los objetos geográficos presentes en un DEM; para llegar a la identificación de conceptos más “complejos” como lo son los valles. Pero se debe de tener en cuenta que los objetos geográficos son elevaciones del terreno que no tienen límites definidos, es decir, es difícil determinar hasta donde termina o empieza una montaña; y además se encuentran estáticos en la superficie de la tierra. También otra característica que se debe de tener en consideración es que los objetos geográficos al estar presentes en la superficie terrestre poseen un entorno que va a influir en la apreciación de las relaciones de proximidad en las que se enfoca esta investigación. Ya que si hacemos una pregunta sobre la distancia hacia algún lugar a diferentes personas las respuestas que obtendremos serán variadas pues cada persona se sitúa en un contexto distinto. Por esta razón se describe en pasos la idea de la metodología en particular.

- Se toma como referencia la representación del DEM con los extractos obtenidos en la metodología general. Los extractos obtenidos y con los cuales se van a trabajar son los que se mencionan a continuación:

Por el lado de las elevaciones se tienen a las montañas, cordilleras, montes y cerros identificados con las etiquetas `ext_eee`, `ext_eel`, `ext_eed`, `ext_ele` respectivamente y las zonas llanas se trabajarán con los objetos llanuras representados con la etiqueta `ext_ll`.

- Se localiza la ubicación (en coordenadas) de cada extracto identificado. Es importante mencionar que su ubicación va a estar dada sobre los ejes ‘x’ y ‘y’,

tomando como referencia el punto más alto del extracto (su cima). Esto es debido a que como los límites de los objetos geomorfológicos son difusos se ha tomado su cima como el punto de referencia de dichos objetos

- Una vez que se tienen todas las coordenadas de los extractos que nos interesan se calcula la distancia de los extractos de elevación contra los extractos de llanura.
- Ya determinadas las distancias, estas se mapean de acuerdo a la clasificación numérica de las relaciones de proximidad.
- De acuerdo a la clasificación de proximidad realizada a través de encuestas, nos van a interesar únicamente los objetos que se encuentren al menos “cerca” de las llanuras.
- Se analiza si los extractos de las llanuras se encuentran rodeados de las elevaciones.
- Se evalúan las relaciones encontradas por la metodología, a fin de determinar que tengan similitud a la de las personas.
- Se realiza la descripción del DEM.

4.3 Enfoque de la metodología

Se debe recurrir a una conceptualización de las relaciones de proximidad que nos interesan como lo son: distancia y estar rodeado de; en la literatura al momento de buscar las relaciones de proximidad únicamente resaltan las de distancia; pero en esta investigación se desea llegar a determinar la relación *rodeado de* que será obtenida a partir de identificar la otra relación mencionada, cabe recordar que buscamos los “valles”. El interés de llegar a identificar las relaciones en el DEM en este trabajo es debido a que en la metodología general únicamente se describen los objetos que se encuentran en cierta área pero se describen como si estuvieran aislados, y como en la realidad no sucede así; se busca con esta metodología llegar a una descripción similar a como la realizaría cualquier persona. Se trata de introducir el sentido común de los seres humanos para categorizar las distancias; para ello será necesario hacer uso de una herramienta que permita conocer la opinión sobre la apreciación que las personas tienen con respecto a las distancias. Como se verá más adelante para este trabajo se ha pensado en la aplicación de encuestas.

Las relaciones en las cuales se enfoca el trabajo son sencillas a simple vista pero a partir de ella se pueden llegar a obtener descripciones más complejas. Por ejemplo, encontrar si un objeto se encuentra aislado o bien determinar otros conceptos de objetos geomorfológicos más complejos como el decir que se ha encontrado un valle; para este trabajo la definición de valle queda de la siguiente forma: una extensión de tierra llana que se encuentra *rodeada de elevaciones*.

A continuación se dan las definiciones de los conceptos expuestos en la Tabla 4.1 proporcionadas por el diccionario de la Real Academia Española [RAE]⁹ cerca, lejos y rodeado; además de los conceptos alrededor y entre que aparecen muy recurrentemente al definir la palabra valle:

Cerca:	A <u>corta distancia</u> .//Objetos situados en el <u>primer término</u> de un cuadro.// Próximo o inmediatamente
Lejos:	A <u>gran distancia</u> , en lugar distante o remoto
Rodeado:	Poner una o varias cosas alrededor de otra. // Cercar algo cogiéndolo en medio.
Alrededor:	Rodeando, en círculo, en torno a algo.
Entre:	Denota la situación o estado en medio de dos o más cosas.

Tabla 4.1 Definición de los conceptos: cerca, lejos, rodeado, alrededor y entre.

Se ha mencionado que los objetos geomorfológicos poseen una frontera difusa y en particular para establecer la proximidad entre los objetos se depende del entorno que rodee a los objetos geomorfológicos en cuestión. Para apreciar esto, en la Figura 4.3 se muestra un ejemplo de objetos y su entorno:

⁹ La Real Academia Española [RAE] es el organismo responsable de elaborar las reglas normativas del español. Estas normas se ven plasmadas en el Diccionario de la Real Academia Española [DRAE] y recoge tanto gramática como ortografía.



Figura 4.3 Entorno de un paisaje

El entorno estático de un objeto geográfico como el mostrado en la figura anterior son sus propiedades de altitud y área. Mientras que el entorno general va a estar dado por el área en donde se encuentre dicho objeto, es decir, el ambiente que lo rodea. Los entornos van a jugar un papel importante al momento de apreciar las relaciones de proximidad, debido a que las relaciones existentes en el dominio van a ser obtenidas con base en los entornos.

Debemos de tomar en cuenta que la relación de distancia va a variar dependiendo del objeto geográfico desde el cual se quiere empezar a determinar las relaciones hacia los demás; lo mismo pasa en la vida diaria si una persona se encuentra en su casa para dar una dirección la descripción que dará será muy distinta a que si la misma persona ahora se encuentra en otro lugar y describe como llegar a la misma dirección, Figura 4.4. Los seres humanos al momento de describir las relaciones de distancias con respecto a otros objetos involucran elementos como la visualización, el entorno del lugar, conocimiento previo y, sobre todo, sentido común. Ahora bien, la metodología tiene como tarea tratar de captar esas apreciaciones y plasmarlas en el rango de distancias para determinar las proximidades.

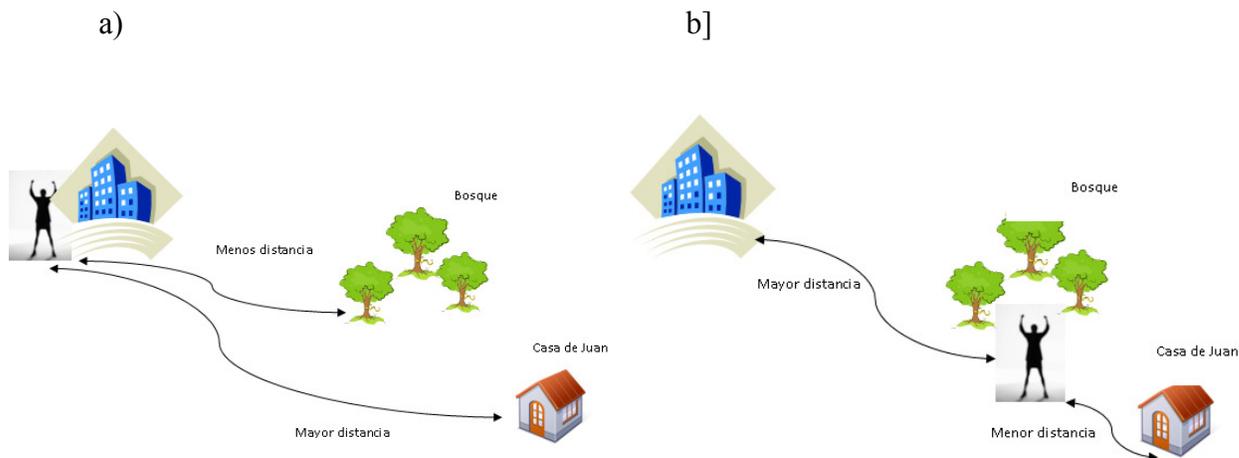


Figura 4.4 Muestra la diferencia en la apreciación que sufren las distancias cuando se toman como referencias distintos lugares.

Otro ejemplo que se puede mostrar es si preguntamos qué lugar queda más cerca y tomamos como punto de partida el Centro de Investigación en Computación (CIC), la ciudad de Pachuca o la Universidad Autónoma de México (UNAM), Figura 4.5, por extraño que parezca la respuesta sería que la ciudad de Pachuca queda más cerca al CIC en comparación con la UNAM, pese a que estamos hablando de dos ciudades distintas; ya que mientras la UNAM y el CIC se encuentran el D.F. (pero en la zona sur y norte respectivamente) el simple hecho de pensar en cruzar toda la ciudad para ir del CIC a la UNAM se nos viene a la mente el tráfico y una duración aproximada de recorrido de hora y media. Razón por la cual elegimos a Pachuca como el lugar más cerca en comparación con la UNAM, ya que tal vez en tiempo de llegada sería el mismo e incluso menor, pero estamos considerando salir de una ciudad a otra. Este tipo de análisis es el que el ser humano razona de manera natural sin tomar en cuenta métricas.

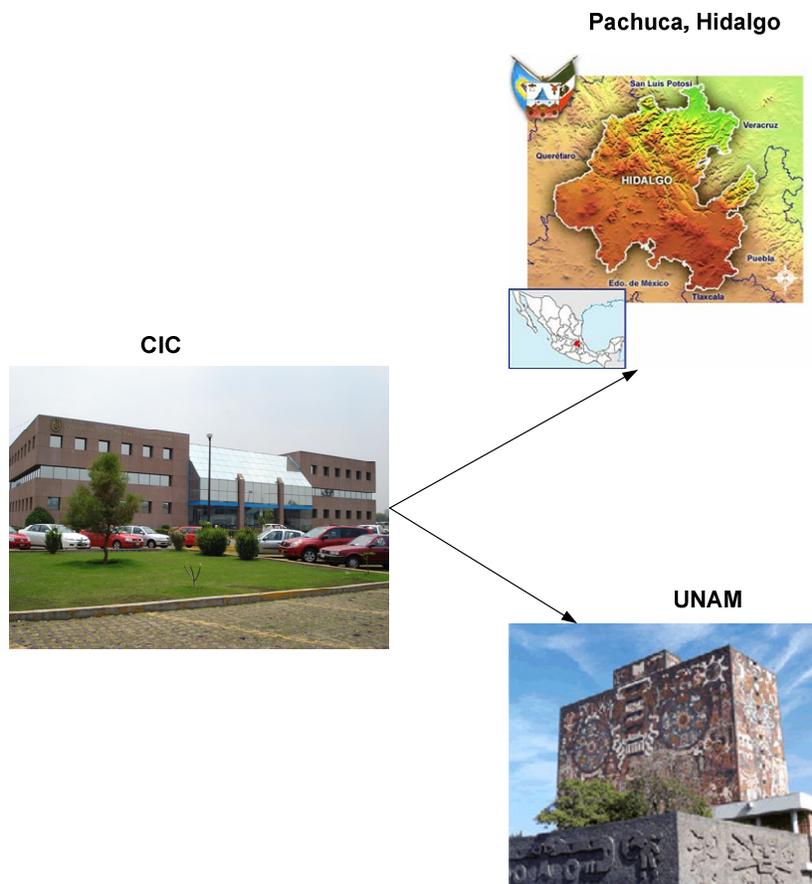


Figura 4.5 ¿Qué está más cerca del CIC, la UNAM o la ciudad de Pachuca?

Observando las figuras anteriores se ha llegado a la conclusión de que la distancia va a ser tratada como un concepto y como tal va a ser conceptualizada y vinculada a los objetos geográficos, en donde la distancia de un objeto geomorfológico “X” esta dado por la “distancia_f¹⁰” para este trabajo, la idea de este enunciado queda plasmada en la Figura 4.6:

¹⁰ Distancia aplicable solo a los objetos geomorfológicos o formas del terreno

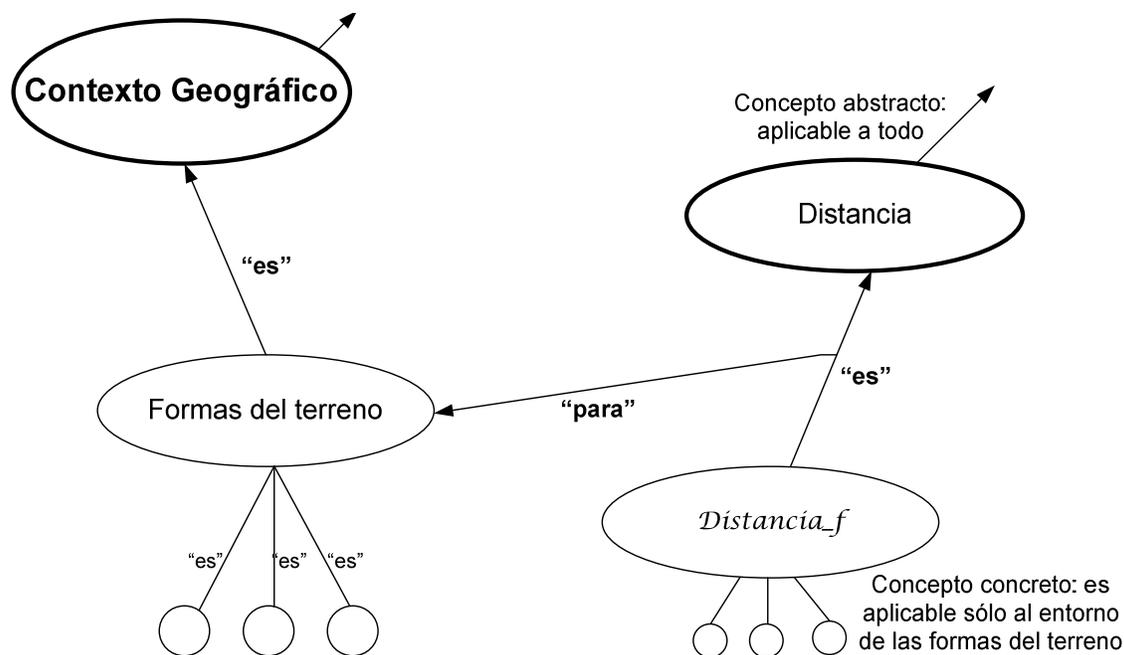


Figura 4.6a Idea de la distancia sobre los objetos

En la Figura 4.6a se puede apreciar que la distancia_f tiene una relación compuesta ya que esta derivada del concepto distancia y aparte va ligada a las formas del terreno, para entenderlo mejor se muestra también la Figura 4.6b.

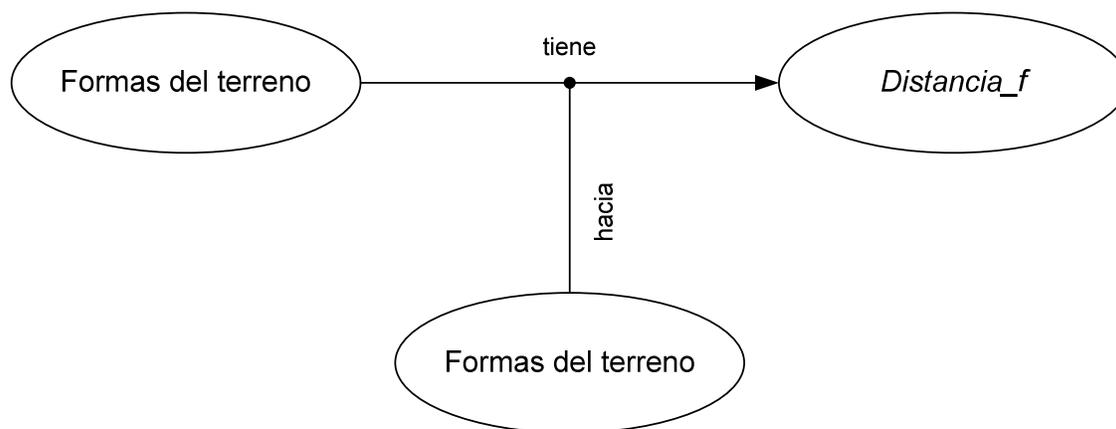


Figura 4.6b La distancia aplicada a los objetos

En general, proponemos que este esquema puede ser aplicado para dar semántica a las propiedades que representan de los objetos geográficos, y al mismo tiempo, acotar

el entorno de aplicación de dichas propiedades. Así, podemos proponer el siguiente esquema general, mostrado en la figura 4.7:

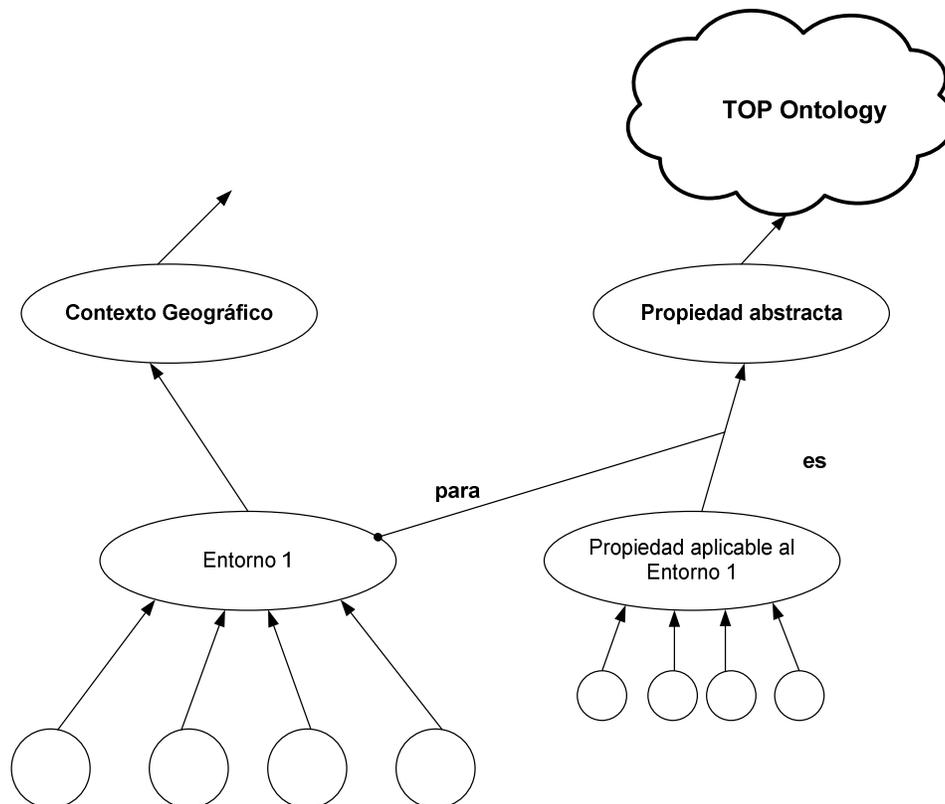


Figura 4.7 Esquema general para dar semántica a las propiedades de cualquier objeto geográfico

Analizando la Figura 4.7 se observan los dos dominios que participan al momento de efectuar el análisis de las relaciones de proximidad, estos dominios son al que pertenecen las formas del terreno y al que pertenecen la distancia.

Para las formas de la tierra que se van a utilizar en el caso de estudio, se tienen los objetos geomorfológicos mostrados en la figura siguiente:

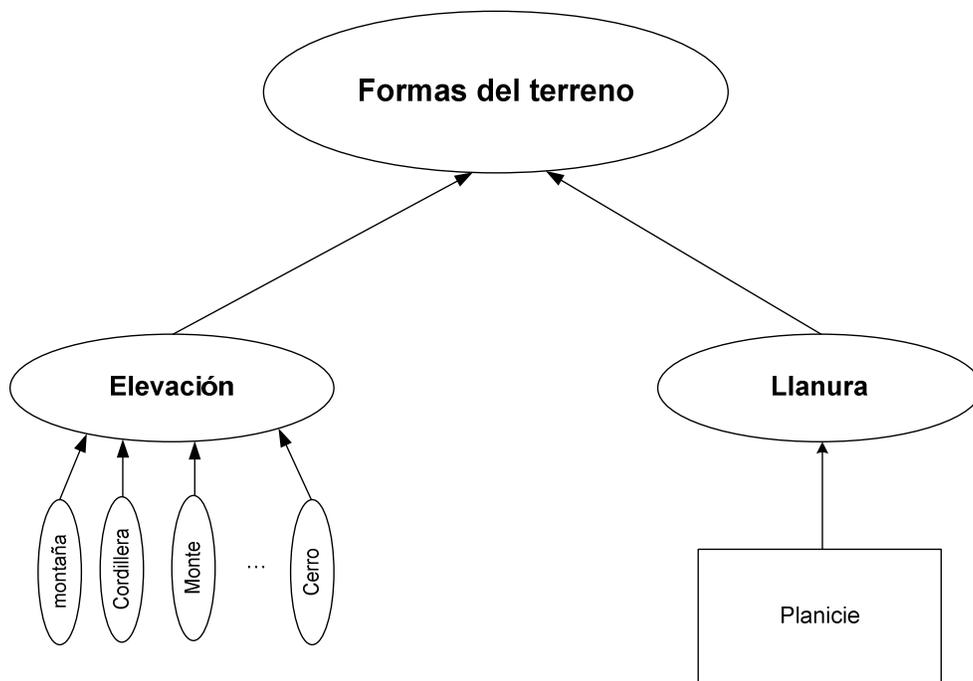


Figura 4.8 Dominio de las formas del terreno

Y para la distancia_f que corresponde a las distancias de las formas del terreno se presenta la siguiente Figura 4.9:

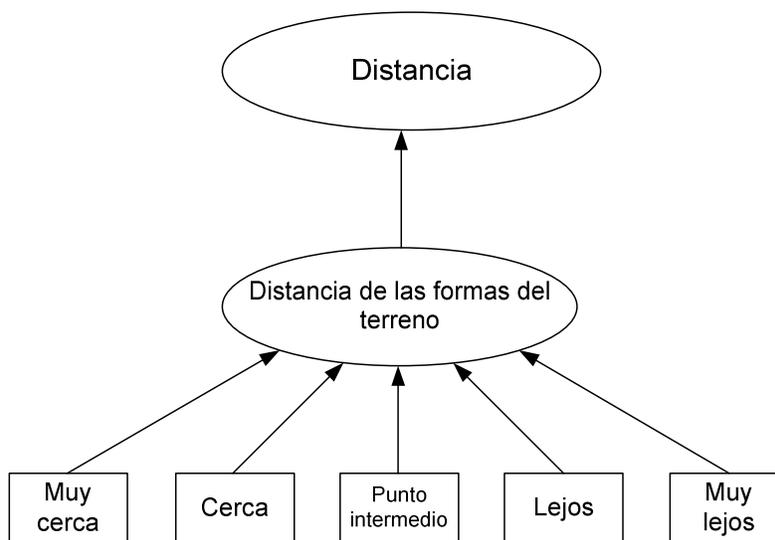


Figura 4.9 Dominio de las distancias en las formas del terreno

Una vez que se ha hecho el esquema general para describir cualquier propiedad de un objeto geográfico, y se han visto los dominios de las formas del terreno y la distancia, ahora es necesario enfocarse en el caso de estudio que es determinar cuándo se forma un valle y para ello se mencionan algunas definiciones:

Encontrando la definición proporcionada por el diccionario de la RAE de la palabra valle tenemos:

- **Valle:** (Del lat. Vallis). m. Llanura de tierra entre montes o alturas.

Algunas otras definiciones en la red de la palabra valle nos produce como resultado:

- Un valle es una depresión de la superficie terrestre, de forma alargada e inclinada hacia un lago, mar o cuenca endorreica, habitualmente ocupada por un río. Generalmente se forma por la erosión fluvial y la meteorización mecánica. (Wikipedia)
- Llanura de tierra entre alturas. (<http://www.definicion.org/valle>)
- Una zona larga y baja de tierra, suele estar entre lomas o montañas atravesadas por un río. (www.mbnms.nos.noaa.gov/Educate/teachercurriculumspanish/glossary.html)

A partir de estas definiciones se propone una definición para el concepto valle que será utilizado en este trabajo la cual es:

“Una extensión de terreno llana que se encuentra rodeada de elevaciones”

Entonces identificando las palabras claves de las definiciones encontradas las cuales son: lomas, montañas, cuenca, montes y alturas, además de la relación “entre”; podemos determinar los extractos u objetos que nos serán útiles [que son las elevaciones] y con los cuales va a interesar trabajar estos los cuales son: las montañas, cordilleras, montes y cerros, presentes en el DEM además de las llanuras. La Figura 4.10 corresponde al valle de México

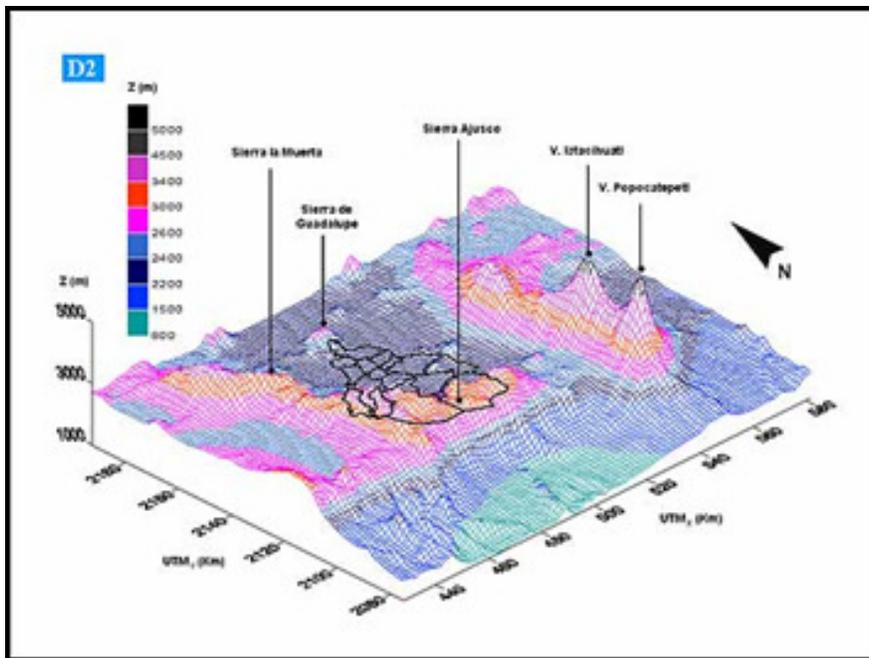


Figura 4.10 Imagen del valle de México proporcionada por: www.sma.df.gob.mx/.../mapas/images/dom_2b.jpg

Ya teniendo la definición del concepto valle y habiendo visto las distancias cerca y lejos, se debe de empezar a formalizar la relación rodeado para ello recordamos la definición:

Rodeado: Poner una o varias cosas alrededor de otra. // Cercar algo cogiéndolo en medio.

En esta definición ahora se encuentra con otra palabra que también se utiliza para determinar relaciones la cual es alrededor y mostramos su definición a continuación:

Alrededor: Rodeando, en círculo, en torno a algo.

Con estas definiciones y analizando la forma en que el ser humano observa si un objeto está rodeado o no en el ambiente, se propone la siguiente definición:

“Un objetos se encuentra rodeado si los objetos que están alrededor de él se encuentran cerca de este.”

Considerando esta definición se puede deducir que la relación cerca es fundamental para calcular la relación “rodeado”, ya que si los objetos no están cerca del objeto ‘x’ que interesa analizar, entonces no se puede decir que ‘x’ está rodeado, al contrario

podría llegar a la conclusión de que el objeto 'x' se encuentre muy separado del resto o en su defecto aislado.

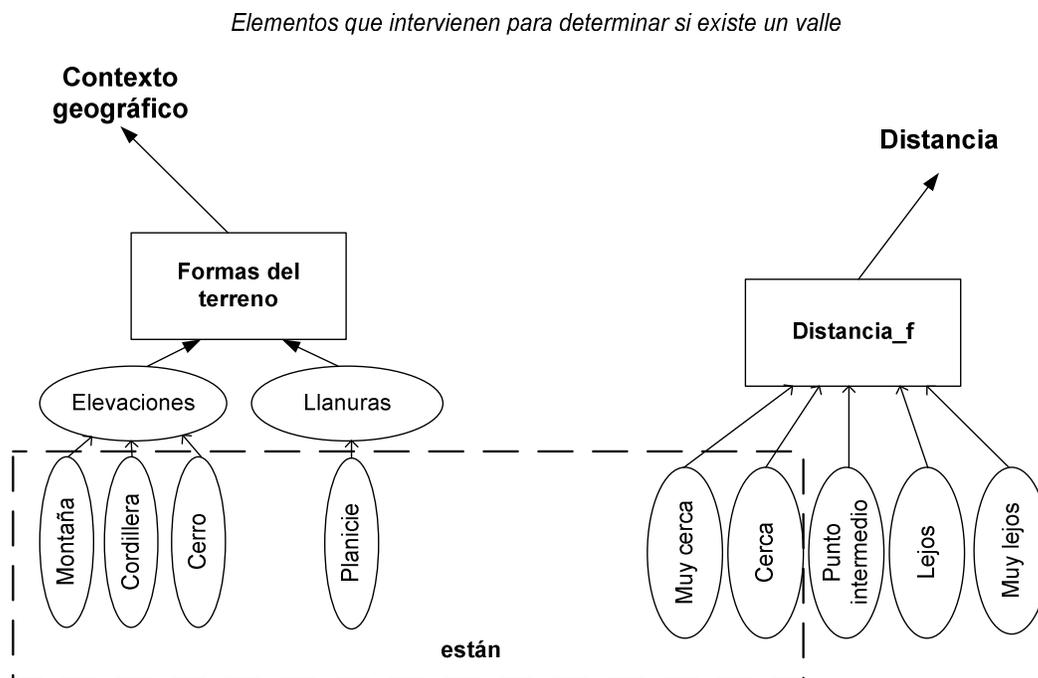


Figura 4.11 Representación de la manera en cómo se concibe el concepto “rodeado de” en la metodología. Los objetos elevaciones y llanura deben de estar cerca para determinar que se ha encontrado un valle.

4.4 Análisis de la metodología

Las relaciones de proximidad que se analizarán son la distancia y rodeado. Para categorizar las relaciones de proximidad se ha elegido hacer 5 subdivisiones de tal manera que las relaciones quedarían establecidas de la forma que se muestra en la Figura 4.12:

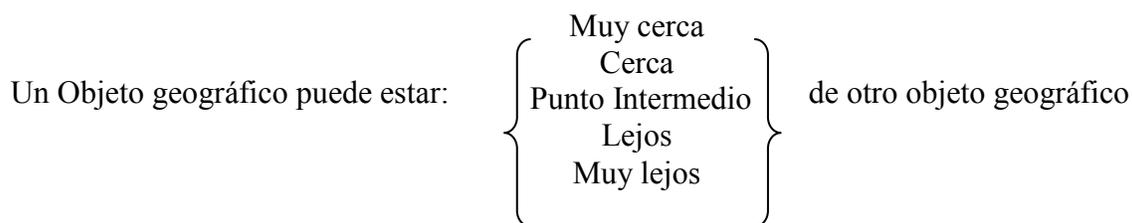


Figura 4.12 Clasificación de las distancias

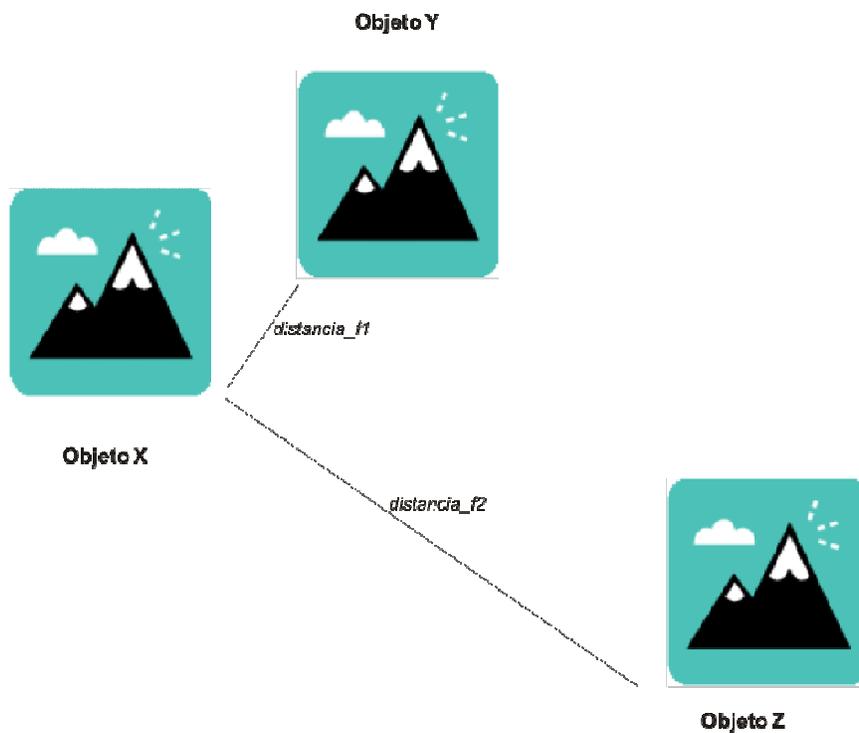
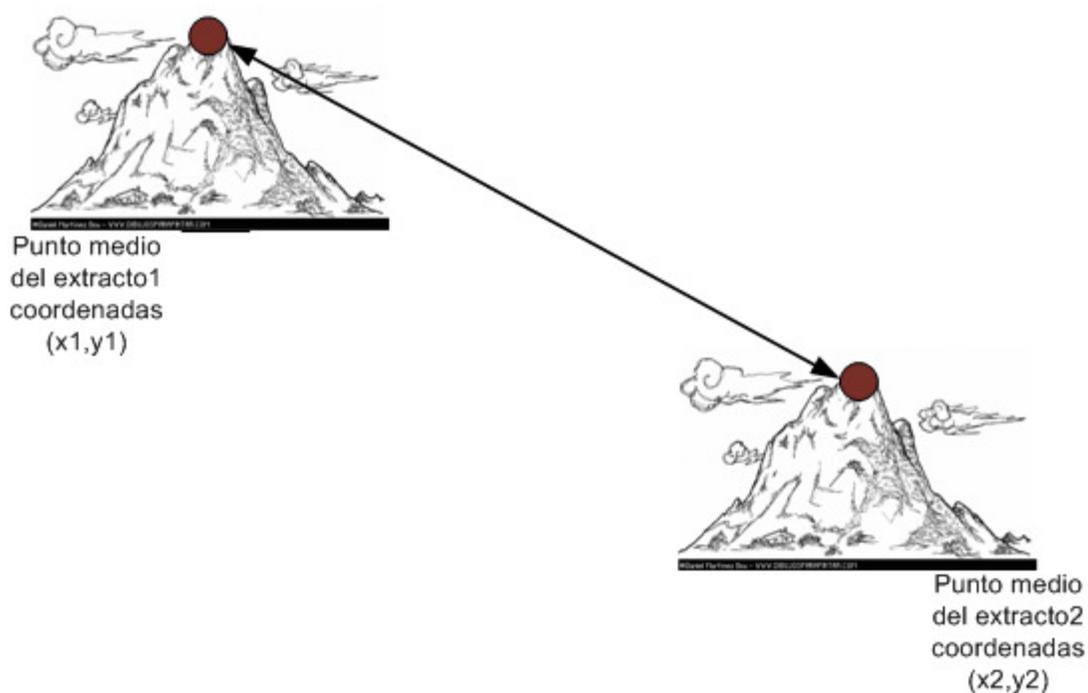


Figura 4.13 Diferentes distancias que posee un objeto de acuerdo a los objetos con que se relaciona

Para determinar cómo un objeto geográfico se encuentra con relación a otro, es necesario recurrir al conocimiento previo que es el que manejan las personas. Ya se ha comentado en párrafos anteriores que se propone recurrir a la aplicación de encuestas sobre una muestra de personas con el fin de obtener rangos expresados en numéricamente para la subdivisión de las distancias propuesta en este trabajo. Ver Figura 4.13



$$d = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

Figura 4.14 Representación de las distancias de dos objetos geográficos [extractos].

Para determinar las distancias entre los objetos se utiliza la distancia euclidiana Figura 4.14. Se hace mención que las coordenadas que se tomaran como referencia en todos los extractos son las pertenecientes a la cima del extracto, debido a que como los objetos no cuentan con límites bien definidos se tomara en este trabajo su cima como el punto de referencia del objeto. Y la distancia que es de interés va a ser la resultante del extracto llanura con los extractos elevaciones, y de ahí únicamente se van a tomar en cuenta las distancias que sean consideradas como “muy cerca” o “cerca” (de acuerdo a nuestra conceptualización de “estar rodeado”) para encontrar un valle. Y para esto va a ser necesario establecer ciertos rangos de probabilidad que permitan mapear los valores de distancia con los conceptos de la Figura 4.15. Es decir, lo que se pretende es el establecer un mapeo entre las distancias numéricas con los conceptos.

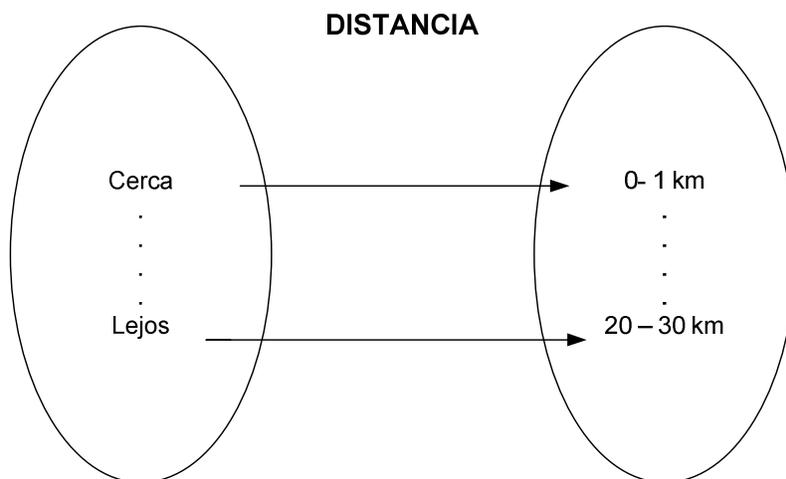


Figura 4.15 Haciendo un mapeo de números a conceptos

Para establecer los rangos de proximidad de un objeto a otro es necesario mediante el uso de las encuestas trazar una gráfica que clasifique los rangos de las distancias (conceptos) con los valores numéricos de estas, y así hacer un vínculo entre los conceptos o variables lingüísticas con la información numérica, tal como lo establece el Cómputo de Palabras (CW). De tal forma que en la graficación se encuentre la función de membresía, la cual pertenece al concepto, en otras palabras, interesa encontrar un patrón de probabilidad para los valores que van a contener a los conceptos de distancia, la Figura 4.16 lo muestra:

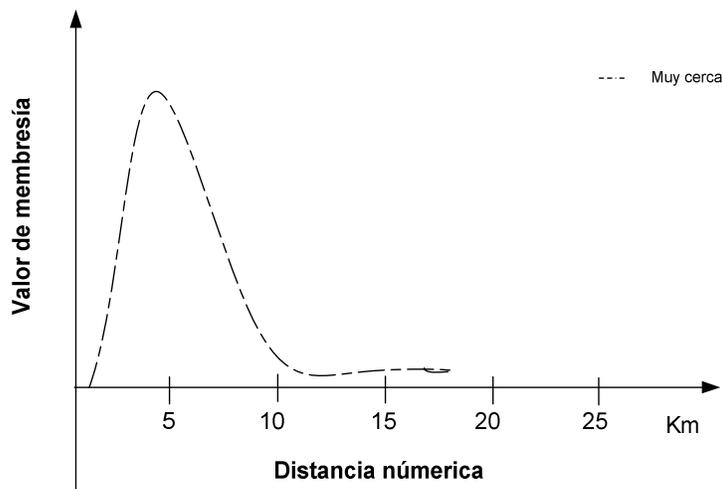


Figura 4.16 Forma en que se obtiene la función de membresía de las variables lingüísticas de distancia

Para determinar la función de membresía se utilizará la distribución normal con el fin de encontrar la mayor probabilidad en la cual el valor de la distancia dada en kilómetros se encuentre ligada a un concepto de la distancia. Todo esto con el fin de determinar si un valor de distancia “x” tiene más probabilidades de ser considerado muy cerca, cerca, etc.; de acuerdo a la función de membresía que tenga el concepto.

Entonces se establecerán cinco funciones cada una correspondiente al concepto en el cual en este trabajo se clasifica a la distancia; en donde cada valor numérico de la distancia se evaluara en dichas funciones y dependiendo la que arroje la mayor probabilidad se encontrara el concepto al cual se vincula ese valor. A continuación se muestra la formula que servirá para encontrar la probabilidad del concepto:

$$f_k(d) = N(d, \mu_k, \sigma_k)$$

En donde

f_k: es la función de membresía de la distancia *d* al concepto *k*

N: es la función de densidad normal de probabilidad

d: valor numerico de la distancia (km)

μ: es la media de los datos asociados al concepto distancia

σ: es la desviación estándar asociadas al concepto distancia

Figura 4.17 Fórmula que encuentra la función de membresía

Como se observa en la figura 4.17 cada concepto de los cinco en los que se clasifica el concepto distancia tendrá la misma fórmula, únicamente cambiarán los datos de la media y desviación estándar, recordemos que tales datos están en función de los valores arrojados de la encuesta. Dada la función de membresía como se determinará al concepto al cual pertenece una distancia dada para eso tenemos la figura 4.18, en donde se indica la regla a seguir para clasificar a las distancias.

$$F(d) = \begin{cases} 1 & \text{si } \max(f_1(d), f_2(d), f_3(d), \dots, f_n(d)) = f_1(d) \\ 2 & \text{si } \max(f_1(d), f_2(d), f_3(d), \dots, f_n(d)) = f_2(d) \\ 3 & \text{si } \max(f_1(d), f_2(d), f_3(d), \dots, f_n(d)) = f_3(d) \\ \dots & \\ n & \text{si } \max(f_1(d), f_2(d), f_3(d), \dots, f_n(d)) = f_n(d) \end{cases}$$

Figura 4.18 Funciones de difusificación

Una vez teniendo los valores de las distancias y encontrando el concepto al cual pertenecen, se tiene que determinar la forma en cómo se establecerá que un objeto se encuentra rodeado de otro.

Se ha mencionado que únicamente interesan los extractos elevaciones “ceranos” o “muy cercanos” a los extractos “llanura” y ahora lo que se debe realizar, es calcular el polígono convexo que envuelve a esos extractos cercanos. Para llegar a la conclusión de que hemos encontrado un valle vamos a verificar si el extracto llanura se encuentra inscrito dentro del polígono que forman las elevaciones, de ser así se podrá decir entonces que hemos encontrado un valle, en caso contrario únicamente se tendrán elevaciones cerca de una llanura pero no la están rodeando, Figura 4.19.

Resumimos entonces nuestra idea en los siguientes pasos:

1. Localizar los extractos elevaciones cercanos (cuya distancia es cerca o muy cerca) al extracto llanura,
2. Calcular el polígono convexo que envuelve a las elevaciones
3. Verificar que la llanura esté inscrita dentro del polígono formado.

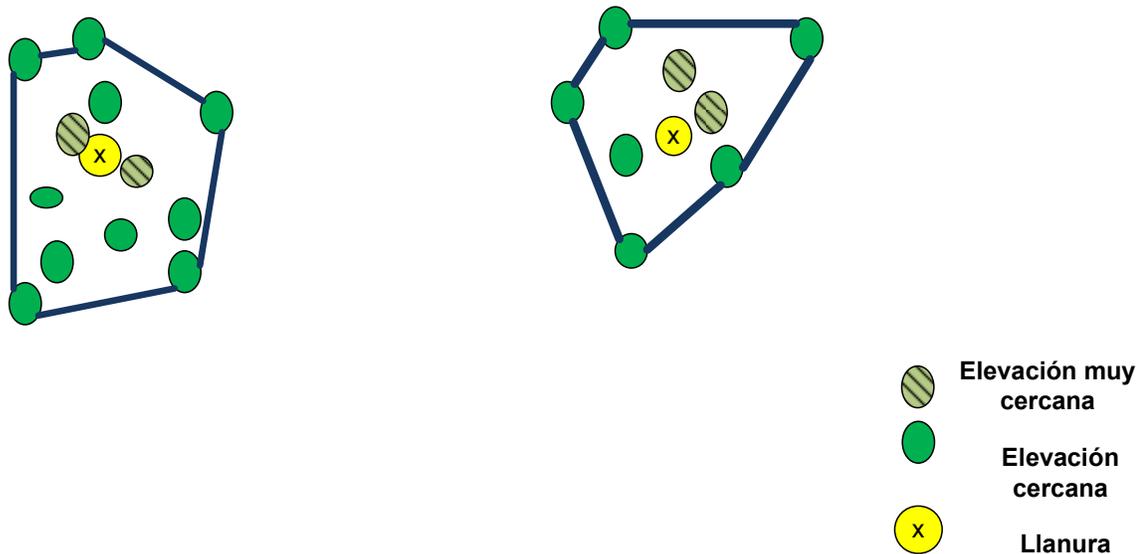


Figura 4.19 Forma en que en esta metodología se concibe la relación ‘x’ esta “rodeado de”.

En contraste en la Figura 4.20 Se muestra la figura en donde la llanura no está inscrita dentro del polígono que conforman las elevaciones que tiene cerca, y en donde por consiguiente se va a afirmar que no se forma un valle.

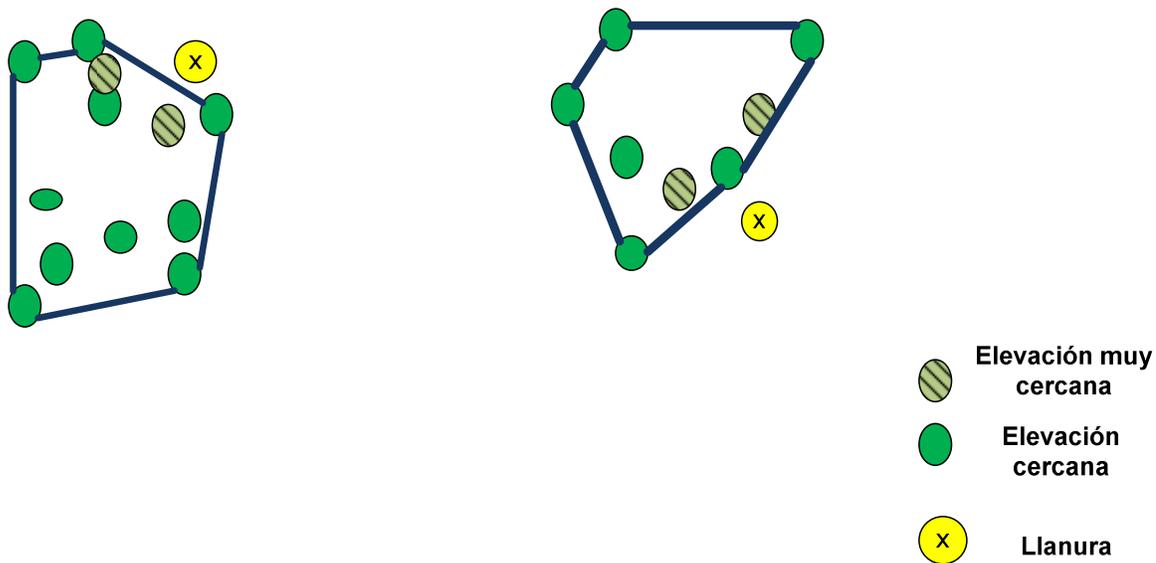


Figura 4.20 Muestra la manera en que la metodología considera que la llanura ‘x’ “no está rodeada” de elevaciones

Se puede concluir entonces que extractos van a ser de interés para llegar al concepto de “rodeado”, y la forman en la cual en este trabajo de investigación se propone el concepto rodeado. Además de representar con diagramas todas las ideas expuestas.

CAPITULO 5

RESULTADOS

El diseño, implementación e integración de la metodología propuesta en el capítulo anterior tiene como objetivo principal lograr una descripción detallada sobre los objetos geomorfológicos presentes en un DEM. Se pretende llegar a una representación muy similar a la que el ser humano expresaría al observar un paisaje. Para llegar a esta etapa en este trabajo fue necesario previamente conocer los objetos geomorfológicos con los cuales se iba a trabajar, conceptualizar las relaciones topológicas de proximidad que nos interesan, aplicar encuestas para establecer los rangos de proximidad entre los objetos, proponer la manera en que se considera la relación “rodeado de” que es la fundamental en el trabajo para encontrar un valle, plasmarla en código y hacer las pruebas correspondientes. En las siguientes secciones de este capítulo se muestran las pruebas y resultados de la metodología una vez que se ha implementado.

5.1 Extractos y relaciones

Ya se ha dicho que este trabajo es complementario a una metodología que proporciona únicamente las características de los objetos presentes en un DEM, sin tomar en cuenta sus relaciones. Pero los objetos que encuentra son sencillos es decir encuentra conceptos de objetos geomorfológicos como lo son: montaña, cima, llanura; sin profundizar en encontrar conceptos compuestos por varios objetos y que tengan relaciones entre sí, como es el caso de los valles. Razón por la cual este trabajo tiene como finalidad encontrar esos conceptos compuestos y definir algunas de las relaciones de proximidad que existen en un DEM.

El caso de estudio que se propone consiste en encontrar un valle, para lo cual se deben de analizar que objetos (extractos) de la metodología general son de utilidad. Los extractos que se identifican son:

- Montaña
- Cordillera
- Monte
- Cerro
- Altiplano
- Colina
- Loma
- Collado
- Llano
- Planicie
- Meseta
- Cuenca

Retomando el concepto “valle” visto en el capítulo anterior, se excluirán algunos extractos de la metodología general que no son necesarios para el caso de estudio. Así que únicamente trabajaremos con cuatro extractos los cuales son:

- Montaña
- Cordillera
- Cerro
- Altiplano

De igual forma pasa con los “valores” que puede tener la “distancia_f”, solo interesará saber cuando los objetos se encuentren “cerca” o “lejos”, ya que la relación “rodeada de” es propuesta en esta investigación.

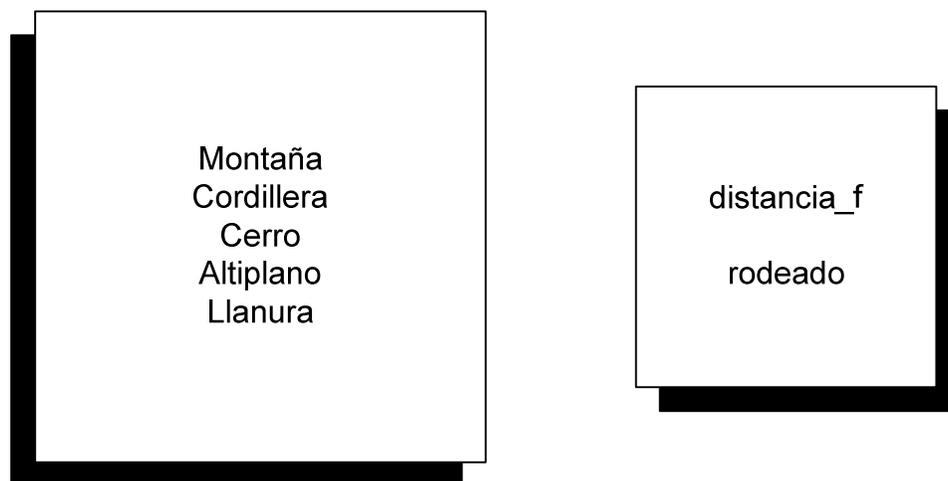
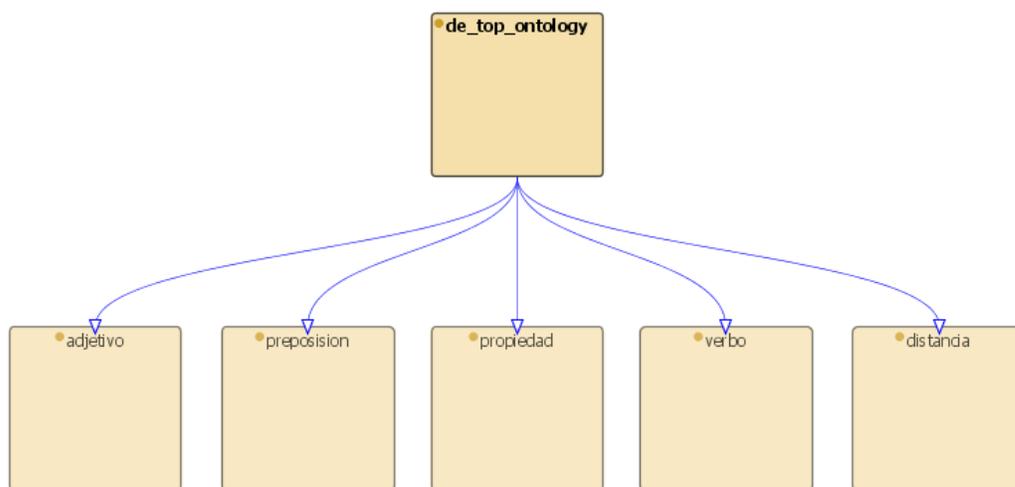


Figura 5.1 Extractos y relaciones necesarios en la investigación

5.2 Conceptualización

Como esta investigación ya cuenta con bases sobre la conceptualización de los objetos geomorfológicos ahora se tiene que agregar a dicha conceptualización lo que se refiere a la parte de las distancias. La conceptualización inicial está dividida en dos partes una llamada top_ontology u ontología de alto nivel y la otra lleva por nombre Hunxeet. Estas ontologías están construidas de acuerdo a la metodología presentada en [Quintero, 2007]. La top_ontology es una ontología que supone la existencia de algunas cosas muy generales. En la Figura 5.2 se muestra un fragmento de la top_ontology con sus clases y diferentes subdivisiones.

a) La ontología y sus clases



b) Vista general de una parte de la ontología

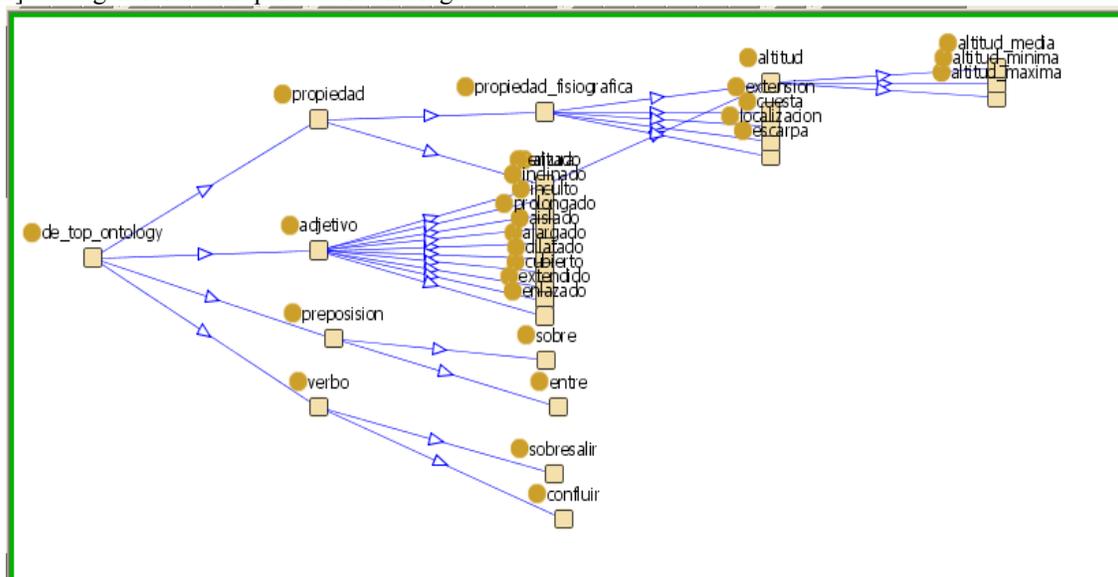


Figura 5.2. Fragmentos de la ontología top_ontology.

La ontología Hunxeet contiene las siguientes clases:

- Forma del terreno
- Propiedad_fisiografica
- Sitio_de_interes

Y las relaciones que se utilizan en la conceptualización, tal como se señala en [Quintero, 2007] son: *es*, *tiene* y *hace*; lo cual se aplica a ambas ontologías. En la Figura 5.3 se muestra la ontología Hunxeet.

Algunas de las relaciones que hace esta ontología son por mencionar algunas:

- elevación es una forma_de_terreno
- elevación tiene altitud_máxima
- elevación tiene altitud_minima
- elevación tiene zima

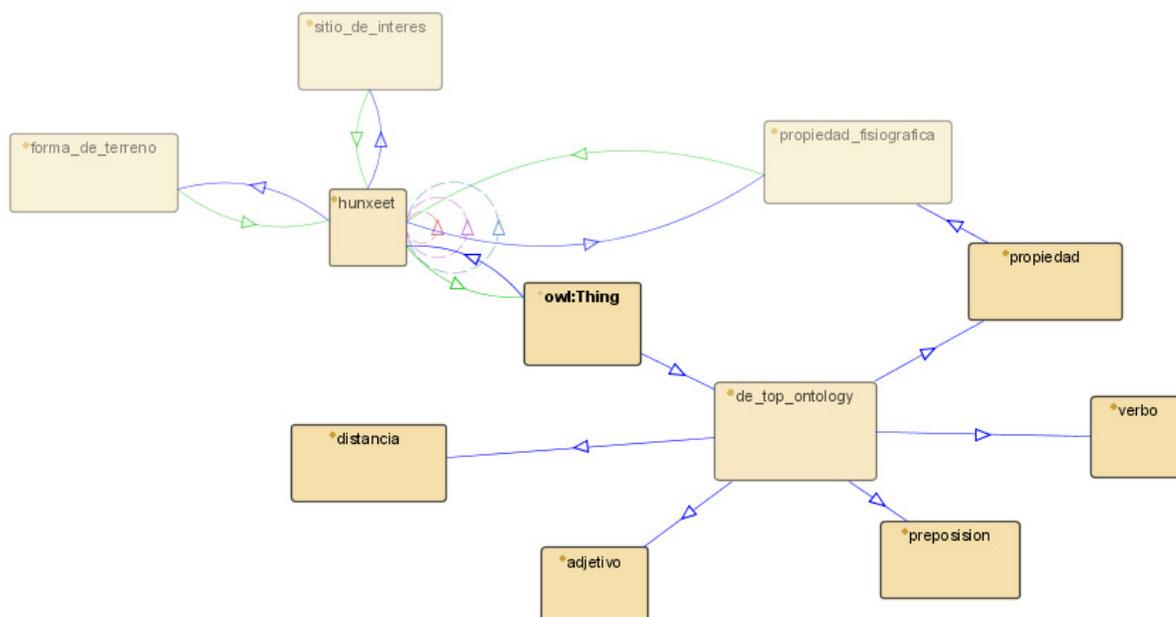


Figura 5.3 Ontología Hunxeet

Existe otra ontología llamada Kaab, que es la que conceptualiza el dominio geográfico.

Pero al observar las dos ontologías será necesario agregar la clase de las distancias y subdividirla en las clasificaciones presentadas en el capítulo anterior. Así que utilizaremos la top_ontology para ahí agregar la clase distancia, la cual al ser agregada aparecería de la siguiente forma.

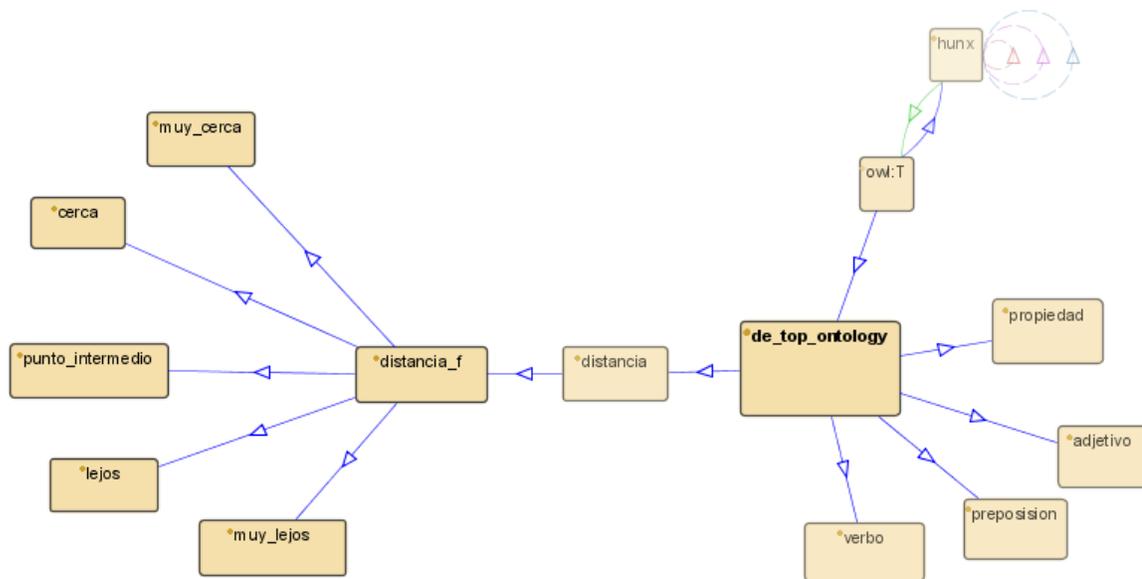


Figura 5.4 La conceptualización con la clase distancia agregada

En la Figura 5.4 se resalta la forma en que se representa la distancia_f, para mostrarlo de mejor manera tenemos la siguiente Figura 5.5:

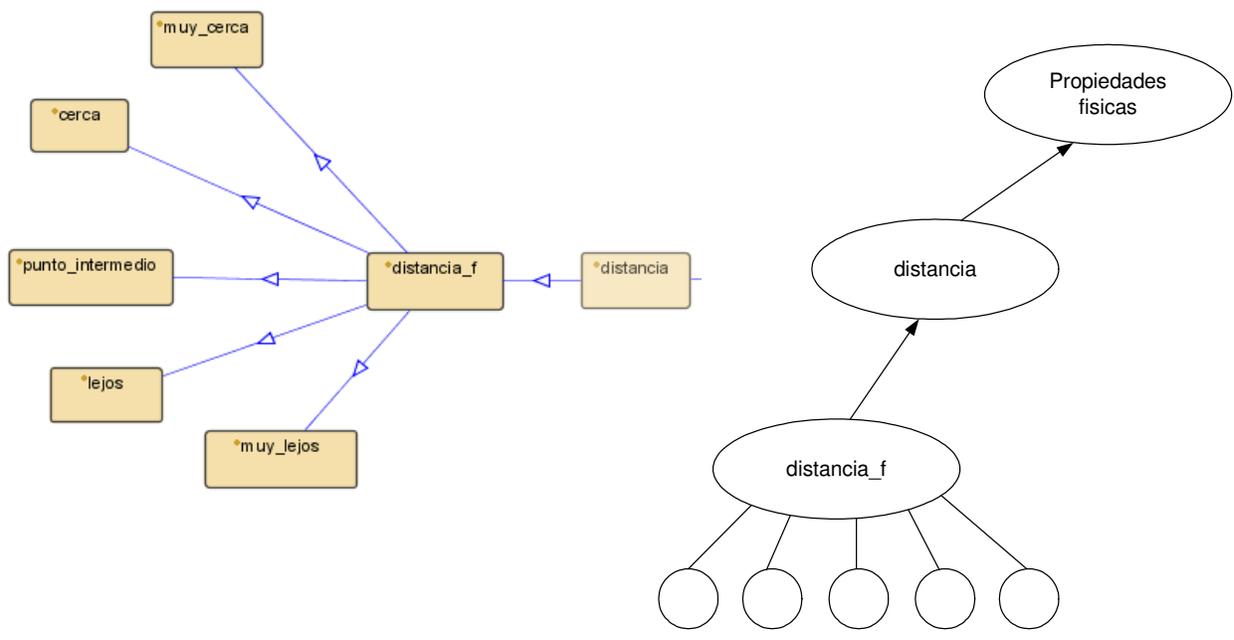


Figura 5.5. Representación de la distancia_f en la ontología

La clase distancia tiene por objetivo establecer como relación la siguiente:

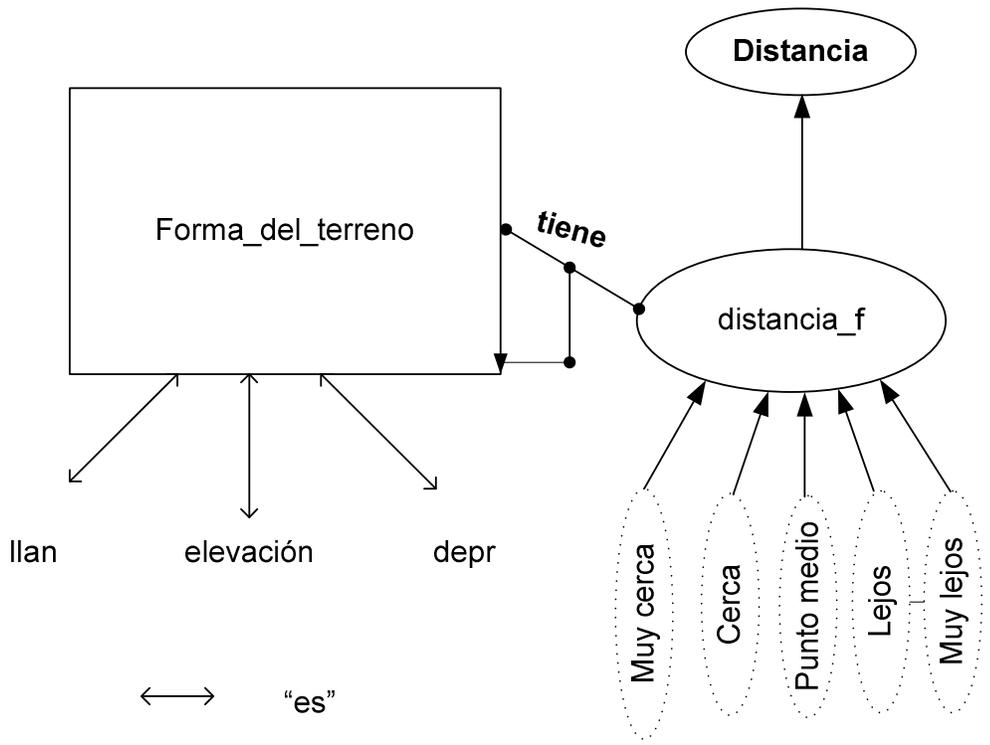


Figura 5.6 Tipos de relaciones que se establecen con la clase distancia

En donde se vinculan las formas del terreno con una distancia que clasificamos en cinco categorías en este trabajo y de ahí lo volvemos a vincular con otra forma del terreno. Al establecer esta relación podemos decir: *una elevación tiene una distancia (por ejemplo cerca) hacia otra elevación.*

5.3 Encuestas

En párrafos anteriores se ha dicho que se utilizan encuestas para encontrar valores que permitan encontrar una función de membresía. La encuesta se elaboró seleccionando imágenes de objetos geomorfológicos representativos de la República Mexicana. Se muestran dos imágenes del mismo lugar solo que en la primera imagen se buscó que fuera una foto del lugar y en la segunda la misma foto dónde los objetos geomorfológicos a comparar se muestran coloreados e identificados para que los encuestados emitieran su opinión. El fin de que el usuario observara la foto del lugar (sin los objetos a comparar coloreados), es que primero apreciara los entornos de los objetos, ya que interesa conocer su percepción de la proximidad que tiene los objetos en las fotografías. El rango de las aproximaciones fue del 1 al 5, en donde el número 1 era equivalente a que el objeto se encontraba “muy cerca” y el número 5 correspondía a una distancia “muy lejos”.

Una vez que se tiene la clasificación de las relaciones de proximidad se procede a tomar como referencia el objeto (extracto llanura) sobre el cual se analizarán las relaciones que tiene con respecto a los demás (extractos elevaciones). Considerando que la cima o punto intermedio del objeto como punto de origen, se apreciaría que la distancia sería determinada por una serie de búferes, Figura 5.7.

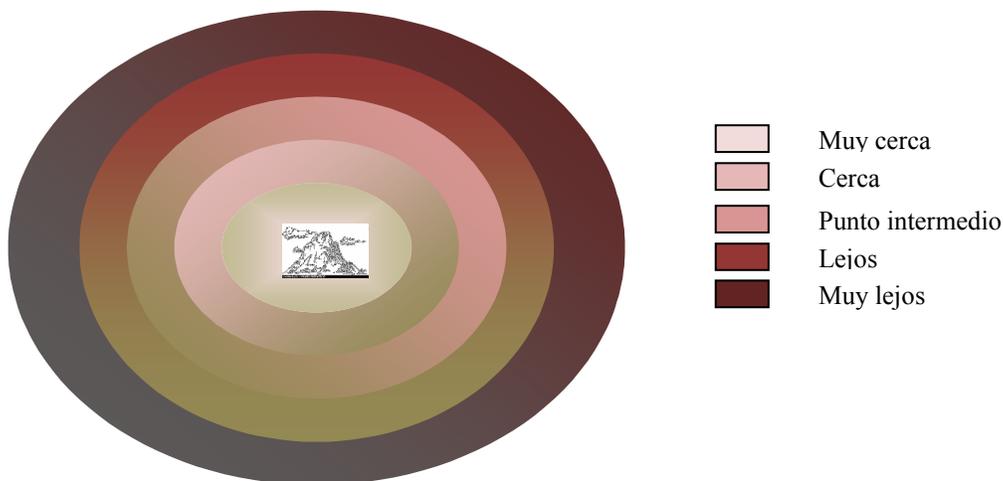


Figura 5.7. Clasificación de las escalas de las distancias

En la Figura 5.7 se aprecia el objeto geográfico, que está representado por la montaña, y los círculos concéntricos corresponden a las cinco clasificaciones ya mencionadas. Cabe recordar que, en la figura, el área del objeto está bien definida, pero en la vida real no es así. La metodología general propone como punto medio de un objeto geomorfológico el punto más elevado de este y muestra la localización del objeto en coordenadas (x,y).

La aplicación de encuestas sobre una muestra de la población fue necesaria para el encontrar valores que sean vinculados a la clasificación de la distancia_f . En primera instancia se aplicó una encuesta piloto con una muestra de únicamente diez personas. La encuesta fue dividida en dos partes, en donde el objetivo de la primera parte fue obtener en información numérica el sentido común de las percepciones de las distancias de las personas; ya que se presentaba una fotografía de un lugar que tuviera presentes algún tipo de elevación y de ahí iniciábamos la comparación sobre que tan lejos o tan cerca se encuentran esas elevaciones. Las respuestas de las personas fueron variadas, aunque siempre hubo una que predominó. La Figura 5.8 muestra la manera en que se aplicó la primera parte de la encuesta en donde se preguntaba cómo apreciaban la distancias de los objetos, para responder se puso un rango del 1 al 5 (ya mencionado en párrafos anteriores).

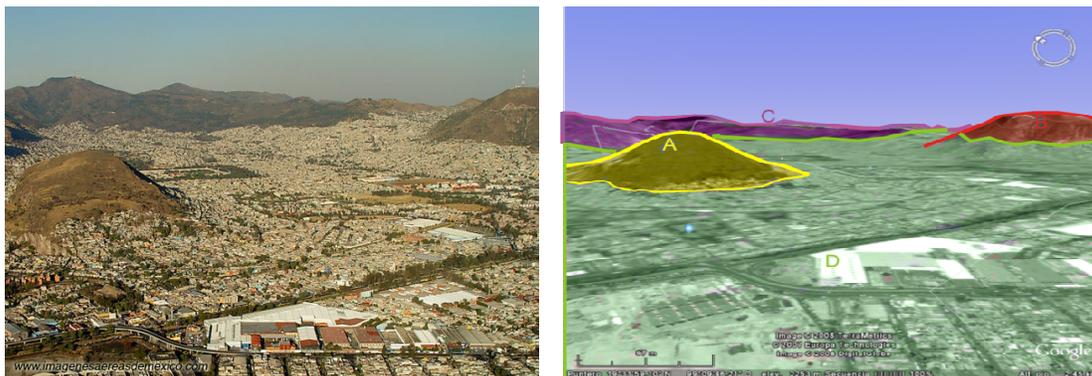


Figura 5.8 Imágenes que conforman la primera parte de la encuesta

La segunda parte de la encuesta estuvo enfocada al consenso de lo que se entiende por el concepto “rodeado de”. Se mostraron imágenes en las que se aprecian paisajes con objetos alrededor o cerca de otros objetos. En la Figura 5.9 se observa una imagen de ejemplo correspondiente a esta parte de la encuesta en dónde se pregunta si el objeto A esta rodeado de elevaciones, curiosamente en esta pregunta toda la muestra de la población encuestada respondió que sí.

En esta segunda parte de la encuesta fue en donde se tuvo que analizar las opiniones de las personas, con el fin de respaldar nuestro concepto de la relación “rodeado de” que se propone en esta investigación.



Figura 5.9 Imagen perteneciente a la segunda parte de la encuesta.

Los resultados que se obtuvieron fueron muy precisos para algunas preguntas y en cambio existieron diez preguntas de las cuarenta y cinco que son en total que mostraron un rango de respuestas muy dispersas.

Como ejemplo la pregunta número uno de la encuesta que precisamente hace referencia a la figura 5.8, al momento de aplicar la encuesta piloto arrojó como resultados los siguientes, Figura 5.10:

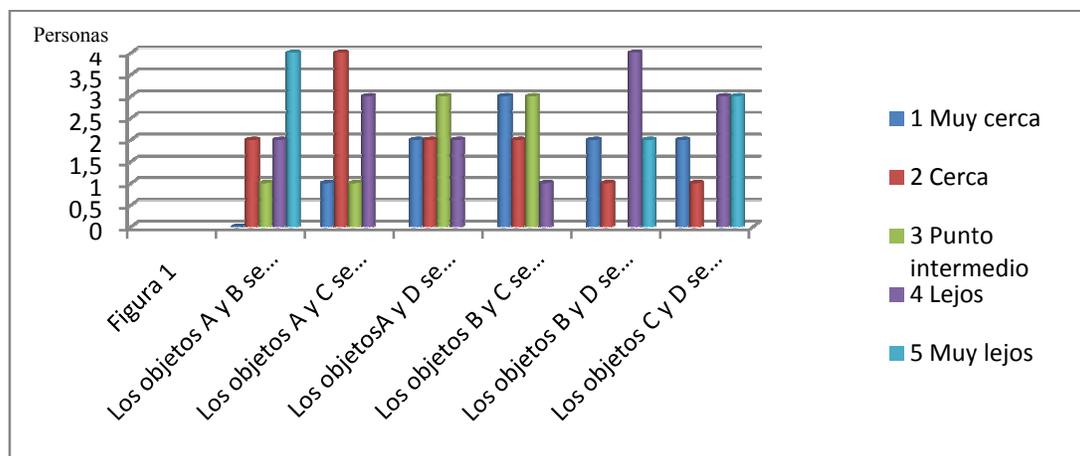


Figura 5.10 Resultados obtenidos de la pregunta número uno de la encuesta “piloto” aplicada.

Se puede observar que para la imagen de la pregunta uno de la encuesta se derivan varios incisos dando un total de seis únicamente por la primera imagen. La Figura 5.10 muestra en las barras las diferentes percepciones que las personas mostraron al decir si un objeto se encuentra cerca o no con respecto a otro. Pero también se encuentran algunas preguntas en donde la opinión se divide entre dos opciones como ocurre con la última gráfica en donde los encuestados opinaron que los objetos se encuentran “lejos y muy lejos”.

Las gráficas obtenidas en su mayoría arrojan resultados similares a los mostrados en la siguiente imagen correspondiente a la Figura 9 de la encuesta. En donde los encuestados dijeron que las elevaciones se encontraban “muy cerca”. En la Figura 5.11 se muestra su grafica respectiva.

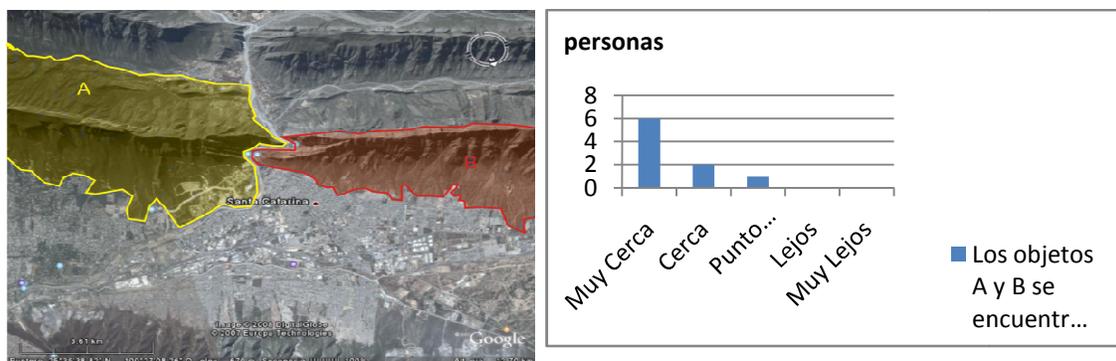


Figura 5.11 La imagen de la figura 9 de la encuesta con su gráfica respectiva.

Ahora referente a la segunda parte de la encuesta para buscar las características que las personas encuentran en el concepto “rodeado”, no se encontró mayor problema en las respuestas de los encuestados; ya que siempre se tuvo un amplio rango de diferencia entre decir: “sí se encuentra rodeado el objeto o no”. Es más hubo preguntas en las que todos los encuestados eligieron la misma respuesta.

Estos resultados presentados fueron los obtenidos en la encuesta piloto. Así que para brindar mayor veracidad a esta investigación se busco la forma de hacer que la encuesta tuviera como mínimo a 30 encuestados, para la cual se puso la encuesta en línea para que las personas nos dieran sus opiniones.

La cantidad de personas que respondieron la encuesta en línea fueron 30, de las cuales sus resultados fueron analizados utilizando estadística como en [Verastegui, 2007] fue aplicado, el análisis que se efectuó en las respuestas de las encuestas fue el encontrar la relación entre la variable independiente (las distancias en km) con la variable dependiente (la proximidad de las distancias “cerca”, “muy lejos”, etc.), los datos de estas variables en las 34 preguntas proporcionadas en las encuestas están mostrados en la Tabla 5.1:

Distancia en kilómetros (x)	Concepto con el que se relaciona (y)
0.11	1
0.9065	1
1.11	1
2.065	1
3.365	1
2.165	2
2.58	2
2.625	2

2.85	2
3.08	2
3.19	2
4.14	2
4.29	2
5.34	2
4.92	3
6.92	3
7.21	3
8.675	3
8.995	3
9.4	3
11.7675	3
8.92	4
11.005	4
12.825	4
13.465	4
13.875	4
14.665	4
14.785	4
14.895	4
15.935	4
14.65	5
19.02	5
19.935	5
23.02	5

Tabla 5.1 Los valores de las distancias tomadas de la encuesta siendo vinculadas a un concepto.

En donde los números correspondientes a la variable 'y' corresponden a los siguientes conceptos:

Numero Concepto

- 1 Muy cerca
- 2 Cerca
- 3 Intermedio
- 4 Lejos
- 5 Muy lejos

Una vez que ya hemos obtenido los valores numéricos de la distancia y se encuentran vinculados a un concepto, se elabora la tabla de clasificación de las distancias para encontrar sus valores de media y desviación estándar, a continuación se muestran en la siguiente tabla 5.2:

Muy cerca	Cerca	Punto intermedio	Lejos	Muy lejos	
0.11	2.165	4.92	8.92	14.65	
0.9065	2.58	6.92	11.005	19.02	
1.11	2.625	7.21	12.825	19.935	
2.065	2.85	8.675	13.465	23.02	
3.365	3.08	8.995	13.875		
	3.19	9.4	14.665		
	4.14	11.7675	14.665		
	4.29		14.895		
	5.34		15.935		
1.5113	3.362222222	8.269642857	13.361111111	19.15625	Media μ
1.248324257	1.020888434	2.17438326	2.185606005	3.457352973	Desviación estándar σ

Tabla 5.2 Los datos clasificados de la encuesta con su correspondiente media y desviación estándar calculada.

Aplicando la fórmula de la distribución normal, mencionada en el capítulo anterior obtenemos la gráfica de la figura 5.12 en la cual se muestran las funciones de membresía de los datos.

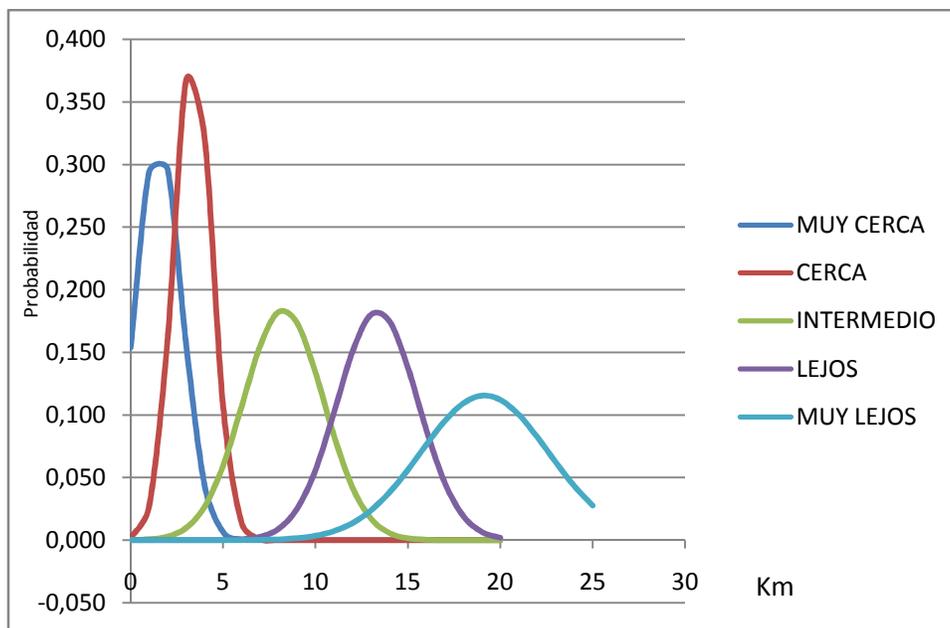


Figura 5.12 Gráfica que muestra los datos arrojados por la encuesta en términos de distancias y conceptos

Ya teniendo clasificadas las distancias y obtenidos sus valores de media y desviación estándar aplicamos la distribución normal a los datos para poder determinar la probabilidad de que un valor “x” se encuentre en alguna de las clasificaciones del concepto distancia. Las cinco funciones con las cuales se trabajarán son las siguientes.

$$f^{muy\ cerca}(d) = N(d, \mu^{muy\ cerca}, \sigma^{muy\ cerca}) = N(d, 1.5113, 1.248)$$

$$f^{cerca}(d) = N(d, \mu^{cerca}, \sigma^{cerca}) = N(d, 3.362, 1.0208)$$

$$f^{punto\ intermedio}(d) = N(d, \mu^{punto\ intermedio}, \sigma^{punto\ intermedio}) = N(d, 8.2694, 2.1743)$$

$$f^{lejos}(d) = N(d, \mu^{lejos}, \sigma^{lejos}) = N(d, 13.3611, 2.1856)$$

$$f^{muy\ lejos}(d) = N(d, \mu^{muy\ lejos}, \sigma^{muy\ lejos}) = N(d, 19.1562, 3.457)$$

A continuación se muestra la tabla 5.3 en donde se encuentran los resultados de sustituir los valores de las distancias en las formulas mencionadas:

km	MUY CERCA	CERCA	INTERMEDIO	LEJOS	MUY LEJOS
0	0.154	0.002	0.000	0.000	0.000
1	0.294	0.027	0.001	0.000	0.000
2	0.296	0.160	0.003	0.000	0.000
3	0.157	0.367	0.010	0.000	0.000
4	0.044	0.322	0.027	0.000	0.000
5	0.006	0.108	0.059	0.000	0.000
6	0.000	0.014	0.106	0.001	0.000
7	0.000	0.001	0.155	0.003	0.000
8	0.000	0.000	0.182	0.009	0.001
9	0.000	0.000	0.173	0.025	0.002
10	0.000	0.000	0.134	0.056	0.003
11	0.000	0.000	0.083	0.102	0.007
12	0.000	0.000	0.042	0.150	0.014
13	0.000	0.000	0.017	0.180	0.024
14	0.000	0.000	0.006	0.175	0.038
15	0.000	0.000	0.002	0.138	0.056
16	0.000	0.000	0.000	0.088	0.076
17	0.000	0.000	0.000	0.046	0.095
18	0.000	0.000	0.000	0.019	0.109
19	0.000	0.000	0.000	0.007	0.115
20	0.000	0.000	0.000	0.002	0.112

Tabla 5.3 Muestra la probabilidad de las distancias con cada uno de las clasificaciones de la distancia

En la Figura 4.18 se estableció la función de difusificación de la distancia $F(d)$. Como ejemplo supongamos que $d=4$, entonces:

$$F(4) = \begin{cases} \text{muy cerca si y solo si } \max(0.044, 0.322, 0.027, 0.000, 0.000) = 0.044 \\ \text{cerca si y solo si } \max(0.044, 0.322, 0.027, 0.000, 0.000) = 0.322 \\ \text{punto intermedio si y solo si } \max(0.044, 0.322, 0.027, 0.000, 0.000) = 0.027 \\ \text{lejos si y solo si } \max(0.044, 0.322, 0.027, 0.000, 0.000) = 0.000 \\ \text{muy lejos si y solo si } \max(0.044, 0.322, 0.027, 0.000, 0.000) = 0.000 \end{cases}$$

Entonces podremos decir que $F(4) = \text{cerca}$

Así de esta manera a través de esta condicionante se podrá determinar dada una distancia “d” su clasificación en los conceptos de distancia, al cumplir con la regla de tener la mayor probabilidad sobre los otros conceptos.

5.4 Metodología Base

La metodología base de esta investigación está implantada en una aplicación desarrollada en Matlab en donde, dado un DEM, se obtiene una descripción de los objetos geomorfológicos presentes en dicho DEM. La explicación de los resultados dados por la aplicación está resumida a continuación.

La Figura 5.13 ilustra la forma en que se procesa la imagen con el fin de encontrar los valores de la matriz del DEM que cumplan con el rango establecido para determinar si son elevaciones, llanuras o depresiones. Y una vez que se encuentran dichos valores se agrupan con el fin de encontrar extractos; a su vez estos extractos se van a etiquetar para identificarlos bajo una firma.

Para la composición de la firma se tomaron en cuenta únicamente tres etiquetas principales las cuales son: “elev” (elevación), “llan” (llanura) y “depr” (depresión). Estas se combinan para formar firmas.

Las firmas dependiendo del objeto que se trate son clasificadas y representadas como “elev-elev-elev” ó “llan-elev-elev”, solo por mencionar algún ejemplo de las firmas.

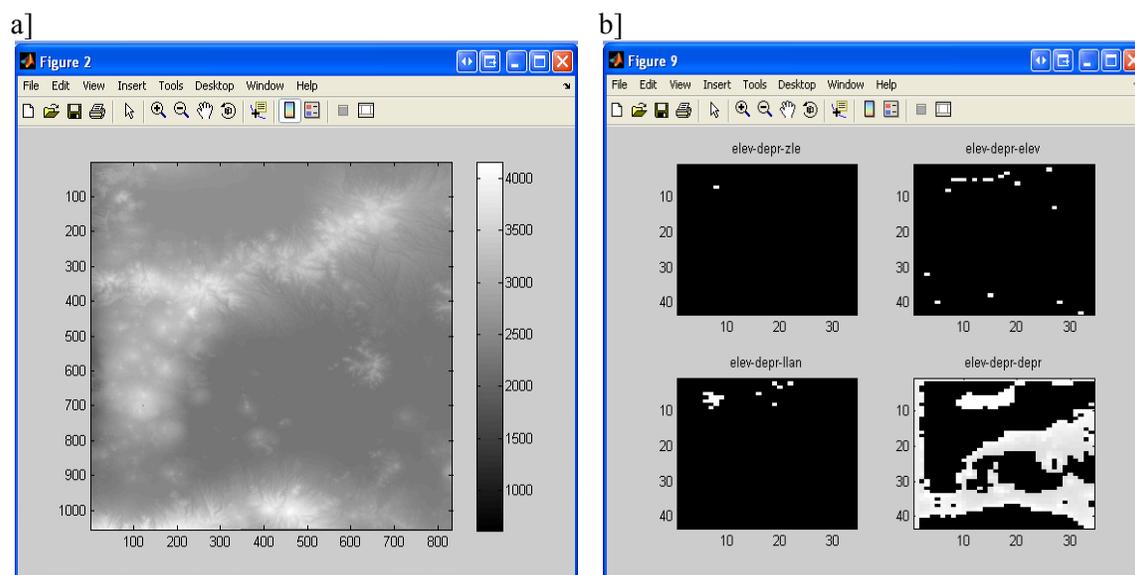


Figura 5.13 Imágenes de la metodología. a] Imagen del DEM antes de ser procesado, b] muestra algunos extractos, las firmas de dichos extractos se encuentran escritas arriba de cada gráfica

En la Figura 5.13 se ilustra la forma en que se obtienen los resultados de la metodología base.

5.5 Relación topológica “rodeado de”

Previamente fue explicado que para decidir si un objeto se encuentra rodeado, es necesario tener objetos cerca del objeto sobre el cual se desea determinar la relación. Entonces, en esta investigación se propone que un objeto se encuentra rodeado, si se encuentra dentro del área que los demás objetos que estén cerca de él formen. Para entender mejor la definición lo explicamos con la Figura 5.14

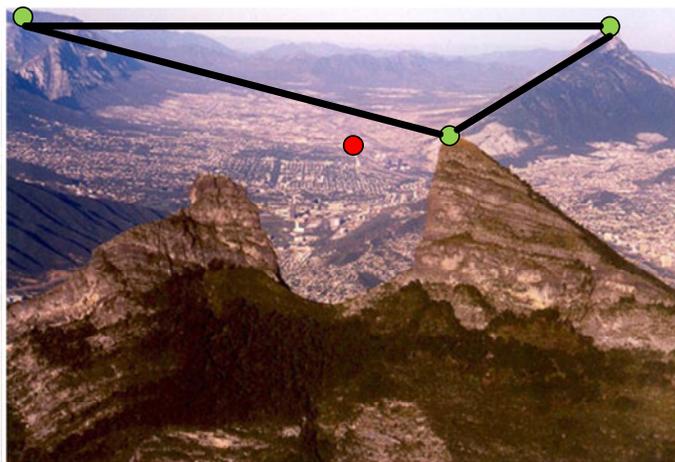


Figura 5.14 Fotografía de la ciudad de Monterrey

En la Figura 5.14 se observa que los puntos que dibujan al polígono son los pertenecientes a los puntos más altos de las elevaciones que nos interesan y tales puntos son obtenidos ya en la metodología base, el punto restante sería el equivalente a una llanura. Plasmando en geometría, los puntos sobre el plano y cambiando la vista de la imagen obtendríamos lo que se muestra en la Figura 5.15

En la aplicación se observará algo de la siguiente forma:

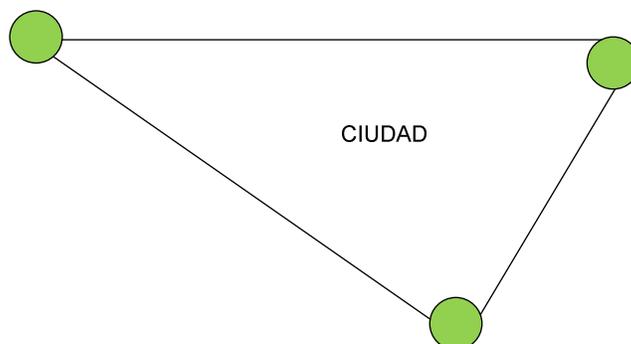


Figura 5.15 Análisis de la figura 5.14 donde se aprecia únicamente los puntos que nos interesan.

El análisis de la imagen arrojaría que la ciudad de Monterrey sí se encuentra rodeada pues su punto central si está inscrito dentro del área que forman las elevaciones que tiene “cerca”.

El algoritmo para definir si un objeto se encuentra cerca de otro se menciona a continuación:

1. Identificar la posición en coordenadas del elemento llanura presente en el DEM (y que se desea analizar)
2. Calcular las distancias de los extractos que son de interés a la llanura
3. Establecer un rango de distancia considerado como “cerca” o “muy cerca”
4. Verificar que extractos están “cerca” de la llanura y apartarlos de los demás extractos que ya no serán utilidad

Parte en código que implementa este algoritmo se muestra a continuación:

```
function [xaux, yaux, resultados, resul] = coordenadas[
ext, ext1, parametro]
    n=isvector[ext];
    nn=isvector[ext1];
    i=1;
    if [[n==1]&& [nn==1]]
        q=length[ext1];
        p=length[ext];
        disp[p];
        for e=1:q
            for u=1:p
                disp[ext[u].cima];
                disp['---'];

resultados[u].xneto=[[ext[u].cima.x]*parametro.res]+parametro.xmin];
                disp['valor extracto en x'];
                disp[resultados[u].xneto];

resultados[u].yneto=[[ext[u].cima.y]*parametro.res]+parametro.ymin ];
                disp['valor extracto en y'];
                disp[resultados[u].yneto];

r1[e].xneto=[[ext1[e].cima.x]*parametro.res]+parametro.xmin];
                disp['valor llanura en x'];
                disp[r1[e].xneto];
                disp['valor llanura en y'];

r1[e].yneto=[[ext1[e].cima.y]*parametro.res]+parametro.ymin];
                disp[r1[e].yneto];
                %la operación para calculo de distancias
                X[u]=abs[ r1[e].xneto- resultados[u].xneto]
                Y[u]=abs[r1[e].yneto- resultados[u].yneto]
                resul[u]= sqrt [[X[u]^2]+[Y[u]^2]]

                %comparar los rangos
                if [resul[u]<500000000]
```

```

        xaux[i]=resultados[u].xneto;
        yaux[i]=resultados[u].yneto;
        i=i+1;
    else
        xaux=[];
        yaux=[];
        %i=i+1;

    end

    end
end
else
    resultados=[];
    resul=[];
    xaux=[];
    yaux=[];
    disp('No hay segmentos');
end
end
end

```

Ahora bien, una vez que se cuenta con los extractos cerca a la zona llana de interés, se tienen que trazar el área descrita por esos extractos y trazar el punto en donde se encuentra la zona llana, para verificar si la zona llana se encuentra inscrita en el área que forman los extractos que están cerca a ella.

El algoritmo para encontrar la relación rodeado quedaría de la siguiente forma:

1. Juntar todos los extractos cerca a la llanura
2. Unir los puntos de los extractos para formar un área.
3. Trazar el punto de objeto llanura
4. Verificar si el punto del objeto llanura se encuentra inscrito dentro del área de de los extractos y si esta dentro:

Hay una llanura rodeada de elevaciones, es decir se ha encontrado un valle

En caso contrario:

La llanura no está rodeada de elevaciones y no hay un valle.

Ahora plasmando en código el algoritmo anterior:

```

function [IN] =esvalle [xax,yay,k,kk,ext2]
    disp('Pruebas');
    h=length[k];

    n1=length[ext2];
    n2=length[xax];
    if [n2>0]
    for d=1:n1
        hold on
        plot[ext2[d].cima.x, ext2[d].cima.y]
    [IN,ON]= inpolygon[ext2[d].cima.x,ext2[d].cima.y,xax,yay]
    end
end

```

```
if [IN==1]
    disp['Se localiza un valle'];
else
    disp['No hemos encontrado un valle'];
end
end
else
    disp['No hay elevaciones cerca de llanuras'];
end
end
```

5.6 Implantación de la metodología

Una vez que se han encontrado los extractos presentes en el DEM, los pasos necesarios para llevar a cabo el análisis de proximidad de los objetos son los siguientes:

1. Se identifican los extractos con la firma “ext_ll” que corresponde a la zona llana encontrada en el DEM; de estos extractos únicamente nos interesa saber sus coordenadas.
2. Se separan los extractos de las elevaciones que son de interés como lo son “ext_eed”, “ext_eel”, ext_ele” y “ext_ell”; y se hacen los cálculos de las distancias con respecto a “ext_ll” (tomando el valor de su cima).

La Figura 5.16 muestra el cálculo de las distancias, en la primera línea se muestran los cálculos de las distancias de los extractos, las coordenadas de los extractos con respecto al eje de las x se encuentra en la segunda línea y en la tercera línea son las coordenadas pero ahora del eje y.

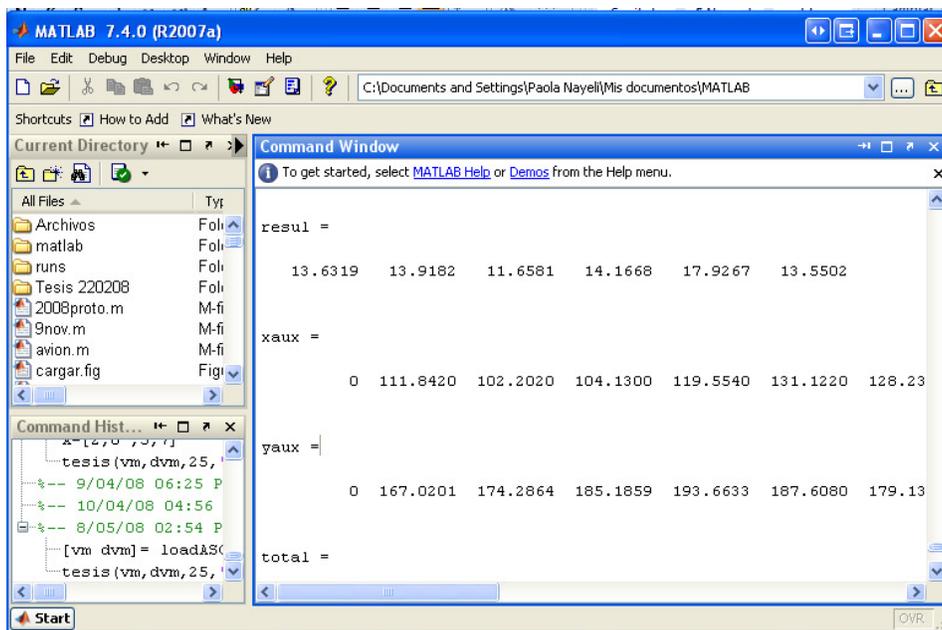


Figura 5.16 Los cálculos realizados por la metodología

3. Una vez que se han calculado las distancias en esa misma función se discriminan los extractos que estén dentro del rango “cerca” o “muy cerca” con respecto a la llanura.
4. Calcula el poly que inscribe a los extractos “cercanos” de manera que se forme un polígono, ver Figura 5.17.

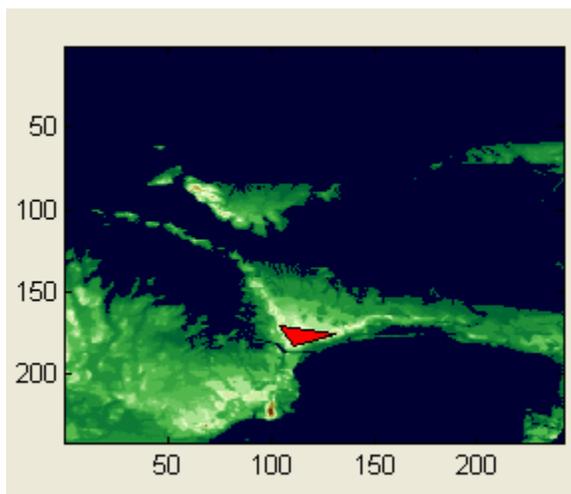


Figura 5.17 Representación del área de las elevaciones cercanas a la llanura.

5. Se dibuja el punto extracto llanura y se verifica con la función INPOLYGON si la llanura se encuentra dentro del área que forman los extractos elevaciones.

La implementación de la metodología propuesta para la relación “rodeado de” produce resultados como el que se muestra en la Figura 5.18, en donde se puede apreciar que el área que forman las elevaciones cercanas a la llanura, no tiene inscrita el punto de la llanura, con lo cual se llega a la conclusión de que la llanura no está rodeada de elevaciones y este resultado en nuestro caso de estudio aparece en el siguiente mensaje “No es un valle”.

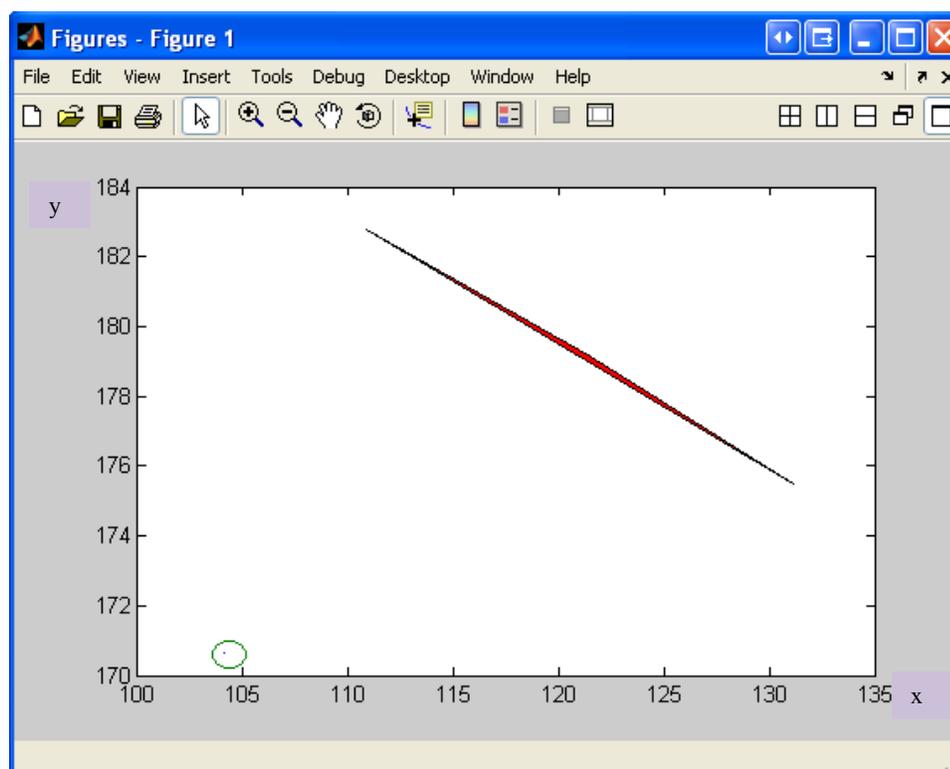


Figura 5.18 Forma en que la metodología indica que un objeto no se encuentra rodeado

Las imágenes mostradas en la Figura 5.18 muestran la forma en la que funciona la metodología propuesta, al observar un punto (llanura) y el polígono que forma por las elevaciones “cercanas”. A continuación se aplica la metodología al DEM correspondiente al Distrito Federal.

1. Como primer paso se carga la imagen DEM que se va analizar Figura 5.18
2. Se ejecuta la aplicación que tiene integrada la metodología anexada y los resultados obtenidos se aprecian en las siguientes Figuras 5.19 y 5.20:

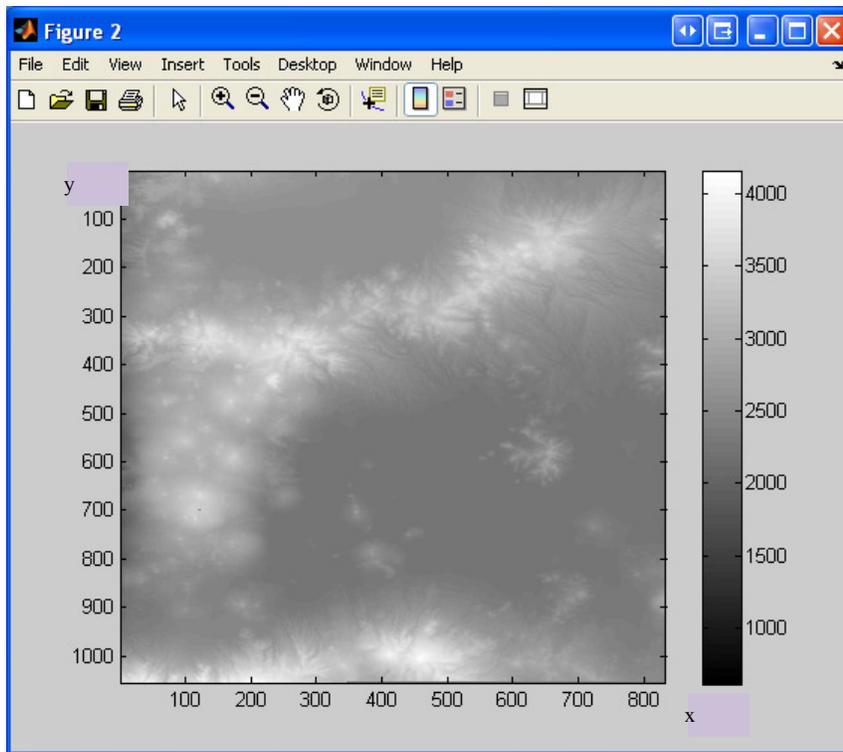


Figura 5.19 Imagen del DEM a analizar

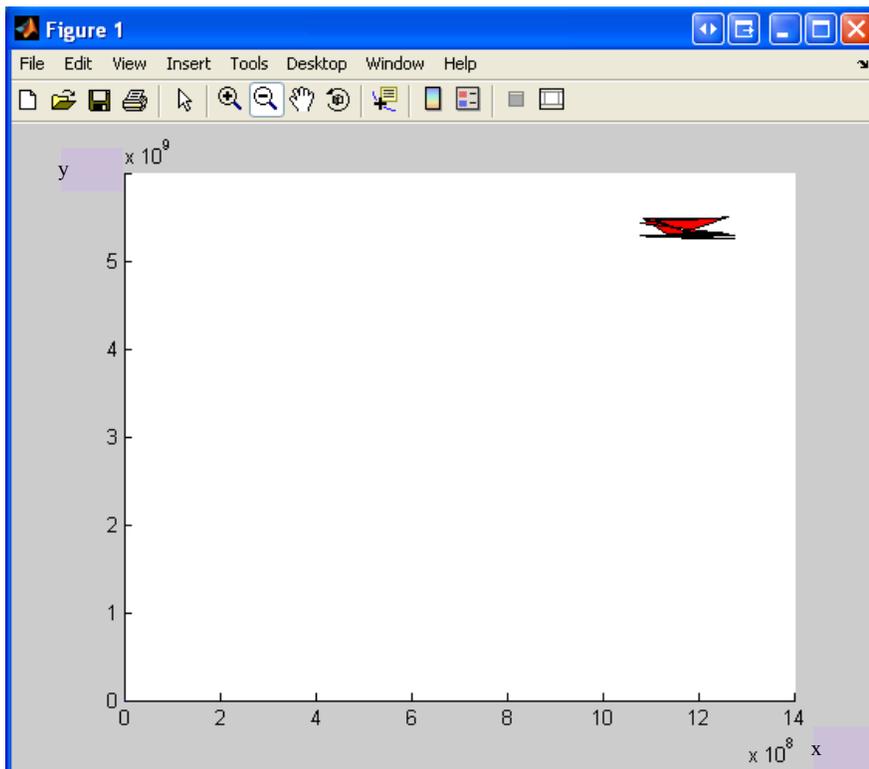


Figura 5.20 Imagen que muestra el contorno de las elevaciones cercanas a la llanura

Enseguida se evalúa si el objeto llanura se encuentra dentro del área.

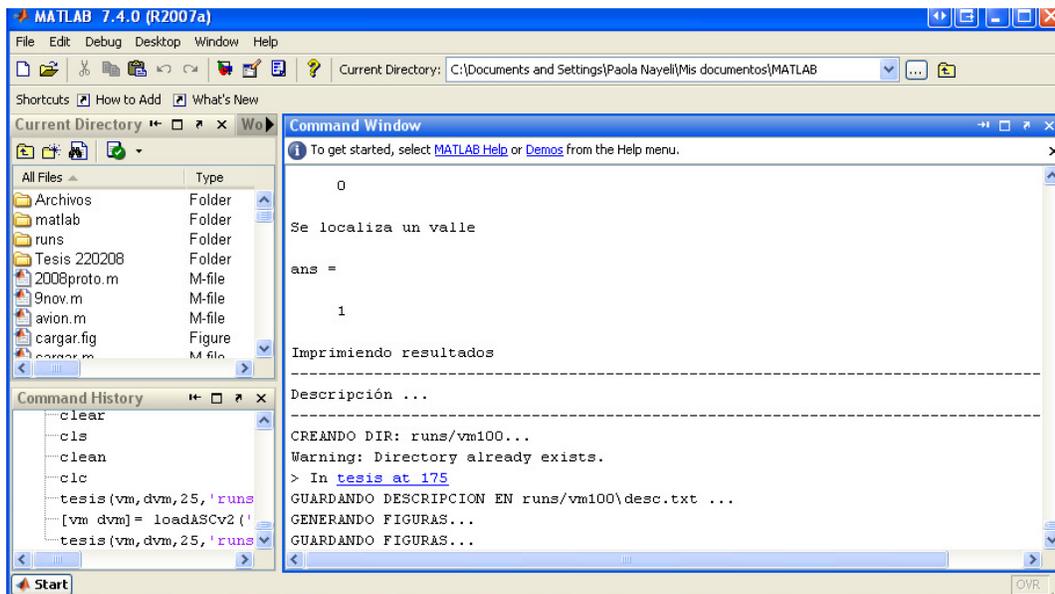


Figura 5.21 El análisis de hacer los cálculos correspondientes son reflejados en el programa con enunciados

Como se puede observar el análisis fue aplicado al DEM correspondiente a la ciudad de México, en dónde introduciendo los rangos de los conceptos de las distancias obtenemos que se ha encontrado un valle para lo cual en este ejemplo si encontramos que la metodología propuesta resulta cierta, ver Figura 5.21. La descripción que nos arroja el programa es mostrada en la Figura 5.22

CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y TRABAJO A FUTURO

En este capítulo se presentan las conclusiones a las cuales se ha llegado en el desarrollo de esta investigación, comentarios sobre la metodología y los resultados obtenidos a través de esta. De igual forma se plantean algunos trabajos a futuro que pueden tener como referencia esta investigación.

6.1 Conclusiones

La presente tesis tiene como propósito la descripción de conceptos geomorfológicos a través de la conceptualización de relaciones de proximidad en dichos objetos presentes en los DEM, con el fin de llegar a una descripción un poco más rica y completa. Las relaciones topológicas en las cuales se ha centrado este trabajo ha sido principalmente: “rodeado”. Para llegar a conceptualizar esta relación fue necesario recurrir a la relación de “distancia”, la cual es primordial para establecer una relación más compleja como lo es “rodeado”.

La metodología presentada se basa en obtener las apreciaciones de las distancias que tenemos las personas. Para ello, fue necesario aplicar encuestas que nos permitieran obtener los parámetros que nos permitan mapear los valores numéricos en valores conceptuales. Esta parte es la que más trabajo representó en la conceptualización, pues se pudo observar que el contexto juega un papel muy importante al determinar las distancias.

Una vez que se obtuvieron los rangos, se aplicaron los análisis correspondientes al DEM que ya previamente identificaban a los objetos [Quintero, 2007 y Villegas, 2007]. Entonces se modificó el cómo se realiza la descripción, para incluir la determinación de “valles” en la misma.

6.1.1 Alcances y limitaciones

Este trabajo cumple con los objetivos formulados inicialmente, al arrojar los resultados deseados y permite dar un paso hacia una descripción más rica semánticamente. Aunque también cuenta con una gran limitación al tener que depender de la opinión subjetiva de las personas para llegar a la conceptualización de los rangos de las distancias que nos va a permitir llegar a la meta planteada. A continuación se mencionan los puntos resaltables del trabajo.

Las principales actividades realizadas en el desarrollo del trabajo fueron:

- Analizar las relaciones “distancia” y “rodeado” con el fin de obtener su conceptualización.
- Intentar plasmar el sentido común de las personas al momento de determinar “la distancia” de un objeto geomorfológico con respecto a otro.
- Proponer una forma de representación de la relación “rodeado”
- Complementar la ontología ya realizada a fin de que ahora se contemplen las relaciones entre los objetos geomorfológicos
- Obtener una descripción del DEM donde las relaciones de proximidad contempladas son aplicadas para determinar la existencia de un valle

Las limitaciones del trabajo son:

- En lugar de tomar a la cima del objeto como el punto central del objeto geomorfológico, se podría determinar un área que describa a tal objeto. Esto sería de utilidad para efectuar cálculos más precisos al momento determinar si se ha encontrado un valle. O en su caso, discernir entre un valle y un cañón o una cuenca.
- La cantidad de personas que respondieron la encuesta fue limitada pensamos que al incrementarse se obtendrían mejores y más consensuados resultados.

6.2 Trabajo futuro

Aunque en este trabajo ya se muestra una forma de concebir la relación rodeado, se ha trabajado desde un enfoque en donde los objetos geomorfológicos son identificados por puntos en la superficie terrestre, es decir, en las elevaciones se ha tomado en cuenta su cima y de la llanura el punto central de su superficie.

Se ha pensado en proponer un nuevo enfoque de manera en que de la llanura sea su área total la que se utilice y de forma similar ocurriría con las elevaciones de manera que se verifique si las áreas de estos objetos se interceptan; todo esto con el mismo fin el llegar a determinar si se ha encontrado un valle. Además de que al implementar esta nueva propuesta podríamos determinar con más exactitud si la metodología implementada ha encontrado el valle, disminuyendo el margen de error; aunque hay que recordar que los objetos no tienen fronteras bien definidas.

Con base en esta metodología se podrían hacer ciertas modificaciones para obtener otro tipo de relaciones tales como “entre” y “por”; que muy comúnmente usan las personas para describir la posición de los objetos.

Otro punto que resaltar es el poder ampliar el rango de respuestas concerniente a las encuestas, ya que quizá se podría obtener una aproximación más directa a la apreciación de las distancias en las personas.

6.3 Trabajos presentados

Paola Cortez y Villegas [2007]. *Semantic Description of Geomorphologic Concepts in Digital Elevation Models*. Poster session. Second International Conference on GeoSpatial Semantics.

ANEXOS

Formato de la hoja de respuestas de la encuesta piloto

Fecha: _____

Nombre: _____

Edad: _____ Grado de estudios: _____

Ocupación: _____ E-mail: _____

Instrucciones: Subraya la respuesta que corresponda con tu opinión.
 Los objetos a comparar se encuentran encerrados en colores y tienen una letra asignada.

Nota: El numero 1 indica que los objetos están muy cerca y el 5 que se encuentran muy lejos.

Parte 1

Figura 1’.

- Los objetos A y B se encuentran
- Los objetos A y C se encuentran
- Los objetos A y D se encuentran
- Los objetos B y C se encuentran
- Los objetos B y D se encuentran
- Los objetos C y D se encuentran

1	2	3	4	5
1	2	3	4	5
1	2	3	4	5
1	2	3	4	5
1	2	3	4	5
1	2	3	4	5

Figura 2’.

- Los objetos A y B se encuentran

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

Figura 3’.

- Los objetos A y B se encuentran
- Los objetos A y C se encuentran
- Los objetos B y C se encuentran

1	2	3	4	5
1	2	3	4	5
1	2	3	4	5

Figura 4’.

- Los objetos A y B se encuentran

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

Figura 5’.

- Los objetos A y B se encuentran
- Los objetos A y C se encuentran
- Los objetos A y D se encuentran
- Los objetos B y C se encuentran

1	2	3	4	5
1	2	3	4	5
1	2	3	4	5
1	2	3	4	5

Los objetos B y D se encuentran
 Los objetos C y D se encuentran

1	2	3	4	5
1	2	3	4	5

Figura 6'.

Los objetos A y B se encuentran
 Los objetos A y C se encuentran
 Los objetos B y C se encuentran

1	2	3	4	5
1	2	3	4	5
1	2	3	4	5

Figura 7'.

Los objetos A y B se encuentran

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

Figura 8'.

Los objetos A y B se encuentran

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

Figura 9'.

Los objetos A y B se encuentran

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

Figura 10'.

Los objetos A y B se encuentran

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

Figura 11'.

Los objetos A y B se encuentran
 Los objetos A y C se encuentran
 Los objetos A y D se encuentran
 Los objetos A y E se encuentran
 Los objetos B y C se encuentran
 Los objetos B y D se encuentran
 Los objetos B y E se encuentran
 Los objetos C y D se encuentran
 Los objetos C y E se encuentran
 Los objetos D y E se encuentran

1	2	3	4	5
1	2	3	4	5
1	2	3	4	5
1	2	3	4	5
1	2	3	4	5
1	2	3	4	5
1	2	3	4	5
1	2	3	4	5
1	2	3	4	5
1	2	3	4	5

Parte 2

Responde las siguientes preguntas:

Figura 12.

¿Las elevaciones [A] rodean a la ciudad [B]?

Si	Tal vez	No
----	---------	----

Figura 13.

¿La isla [B] está rodeada por la bahía [A]?

Si	Tal vez	No
----	---------	----

Figura 14.

¿El poblado [B] se encuentra rodeado por elevaciones [A]?

Si	Tal vez	No
----	---------	----

Figura 15.

¿La isla [B] se encuentra rodeada por [A] y demás elevaciones?

Si	Tal vez	No
----	---------	----

Figura 16.

¿La ciudad [A] está rodeada de elevaciones?

Si	Tal vez	No
----	---------	----

Figura 17.

¿El cerro [A] está rodeado por la ciudad [B]?

Si	Tal vez	No
----	---------	----

Figura 18.

¿El islote [B] está rodeado por la bahía [A]?

Si	Tal vez	No
----	---------	----

Figura 19.

¿El lago [A] está rodeado de árboles?

Si	Tal vez	No
----	---------	----

Figura 20.

¿El cráter [A] se encuentra rodeado de la ciudad [B]?

Si	Tal vez	No
----	---------	----

Figura 21.

¿El monumento [A] está rodeado de jardineras [B]?

Si	Tal vez	No
----	---------	----

Figura 22.

¿El monumento [A] está rodeado de automóviles (círculos naranja)?

Si	Tal vez	No
----	---------	----

Información adicional sobre las encuestas

La encuesta piloto fue realizada a todos los doctores y alumnos del Laboratorio de Procesamiento Inteligente de Información Geoespacial (PIIG) del Centro de Investigación en Computación; obteniendo resultados muy dispersos por lo cual se decidió incrementar el número de la población encuestada con el fin de tener más información. La finalidad de hacer esta primera encuesta fue para verificar si la forma en que se habían planteado las preguntas y las figuras tomadas en consideración eran representativas y útiles.

La encuesta web se mantuvo en línea por un periodo de dos meses (15 Abril – 15 Junio 2007), contando con una participación no muy activa al solo ser contestada por 30 personas.

El link que se utilizo para acceder a la encuesta que fue dividida en dos partes es el siguiente:

<http://148.204.20.77/servlets/page.html>

<http://148.204.20.77/servlets/page.html>

No hubo una población en particular sobre la cual se enfocará la encuesta únicamente nos interesaba captar parte del sentido común de la población. Como dato adicional tenemos el rango de las edades de las personas que participaron respondiendo y es entre: 20 y 35 años.

REFERENCIAS

- Bernhardsen T.** [1992]. Geographic Information Systems. VIAK IT, Norway
- Berry J. K.** [1987] Fundamental operations in computer-assisted map analysis. International Journal of Geographical Information Systems 1: 119-36
- Burrough P. A.** [1986]. Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. Clarendon Press, Oxford
- Cámara G., Monteiro A., Paiva J., Gomes J, y Velho L.** [2000]. Towards a Unified Framework for Geographical Data Models in: Figueiredo L, [Ed] Geoinfo 2000-II Workshop Brasileiro de Geoinformatica, Sao Paulo, Brasil, pp 37-44.
- Chen G., Tat Pham T.** [2001] “Introduction to fuzzy sets, fuzzy logic and fuzzy control systems”, CRC Press, pp. 57-83
- Clementini E, Felice P D, and Hernandez D.** [1997]. “Qualitative representation of positional information”. Artificial Intelligence 95: 317–56
- Dubois D, Jaulent M-C.** [1987]. “A general approach to parameter evaluation in fuzzy digital pictures”. Pattern Recognition Lett, 6, 251Ð259.
- Egenhofer M, Mark D.** [1995]. “Modeling conceptual neighborhoods of topological relations”. Int J Geographical Information Systems, 9[5], 555Ð565
- Etzelmüller, B. And Sulebak J. R.** [2000]. “Developments in the use of digital elevation models in periglacial geomorphology and glaciology”. Physische Geographie, Vol. 41, Jahrestagung SGmG Winterthur, [2000].
- Fonseca F., Egenhofer M., Agouris P. y Cámara G.** [2002]. Using Ontologies for Integrated Geographic Information Systems. Transactions in GIS.
- Frank A U.** [1992]. “Qualitative spatial reasoning about distances and directions in geographic space.” Journal of Visual Languages and Computing 3: 343–71
- Freeman, J.** [1975]. “The modeling of spatial relations”. Comput Graphics and Image Process, 4, 156-171
- García Estrada G., López Hernández A.** [2003]. Modelos digitales de elevación del terreno: uso en la geología estructural. Notas. Revista de información y análisis, Núm. 22, 2003.
- Genesereth, M. R. and Nilsson, N. J.** [1987]. Logical Foundation of Artificial Intelligence. Morgan Kaufmann, Los Altos, California.
- Gomes J. y Velho L.** [1995]. “Abstraction Paradigms for Computer Graphics”. The

visual computer 11: 227-239

Gruber, T. R. [1993]. A translation approach to portable ontology specifications. *Knowledge Acquisition*, **5**: 199-220.

Gruber, T. R. [1993]. *Toward Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing*. Available as Technical Report KSL 93-04, Knowledge Systems Laboratory, Stanford University.

Guarino, N. [1998]. "Formal Ontology and Information Systems", *Proceedings of FOIS'98, Trento, Italy, 6-8 June 1998*. Amsterdam, IOS Press, pp. 3-15.

Guesgen H W and Albrecht J. [2000]. "Imprecise reasoning in Geographic Information Systems". *Fuzzy Sets and Systems* 113: 121-31

Guesgen H W. [2002b]. "Fuzzyfying spatial relations." In Matsakis P and Sztandera L M [eds] *Applying Soft Computing in Defining Spatial Relations*. Berlin, Springer-Verlag: 1-16

Hernandez D, Clementini E, and Felice P D. [1995]. "Qualitative distances". In Frank A U and Kuhn W [eds] *Spatial Information Theory: A Theoretical Basis for GIS*. Berlin, Springer-Verlag Lecture Notes in Computer Science No 988: 45-57

Heywood I., Cornelius S. y Carver S. [1998]. *An Introduction to Geographical Information Systems*. Upper Saddle River, New Jersey. Prentice Hall Hispanoamericana

Hugget, R. [2002]. *Fundamentals of Geomorphology*. Editorial Prentice Hall

Hung T. Nguyen, E. [Elbert] Walker Enderton, H. B. [1972] *A First Course in Fuzzy Logic. A Mathematical Introduction to Logic*. San Diego, CA: Academic Press.

James A. Thompson, Jay C. Bell and Charles A. [2001]. Digital elevation model resolution: effects on terrain attribute calculation and quantitative soil-landscape modeling. *Geoderma* Volume 100, Issues 1-2, March 2001, Pages 67-89

Joly, F. [1988]. *La cartografía*. Oikos-Tau. Barcelona.

Logan G., Sadler D. [1996]. "A computational analysis of the apprehension of spatial relations". In Bloom P, Peterson M A, Nadel L, and Garrett M F [eds] *Language and Space*. Cambridge, MA, The MIT Press: 493-529

Mark D. y Turk A. [2003]. "Ethnophysiography". Workshop on Spatial and Geographic Ontologies on 23rd September, 2003 [prior to COSIT03]

Martin D, Holger G. and Richard D. [2001]. "Principles of semantic modeling of landform structures". Department of Geography, University of Bonn, Meckenheimer Allee 166, D-53115 Bonn, Germany. *Computer & Geosciences*

Moreno, M. [2007]. *Similitud Semántica entre Sistemas de Objetos Geográficos Aplicada a la Generalización de Datos Geo-espaciales*. Laboratorio de Procesamiento Inteligente de Información Geoespacial. Ciudad de México, Instituto Politécnico

Nacional. Doctorado en Ciencias de la Computación: 150.

Muller J-C. [1991] In: Maguire D J, Goodchild M F, Rhind D W [eds] Geographical Information systems: Principles and Applications. Longman, London.

Open Geospatial Consortium, Inc., <http://www.opengeospatial.org/>

Pérez C. [2007]. Apuntes de Ontologías. ISSN: 1139-8736. Depósito Legal: B-39120-2002. Recuperado el 1 de Junio 2007

<http://elies.rediris.es/elies18/531.html#Nota88#Nota88>

Petry F. E., Cobb M., Morris A. [2002]. “Fuzzy set approaches to model uncertainty in spatial data and geographic information systems”, Computing with words in information/intelligent systems 2, pp. 345-365

Peuquet D. J, Marble D. F. [1990]. Introductory Readings in Geographical Information Systems. Taylor and Francis, London.

Pickles J. [1995]. Ground Truth: The Social Implications of Geographic Information Systems. Guilford Press, New York.

Quintero, R. [2007]. “Representación semántica de datos espaciales raster”. Centro de Investigación en Computación, IPN. Tesis doctoral

Quintero, R., Guzmán, G., Torres, M. y Moreno, M. [2002]. Real-Time Elevation Map Viewer for 3D Spatial Analysis. International Workshop on Semantic Processing of Spatial Data [GEOPRO 2002], Mexico City, National Polytechnical Institute.

Quintero, R., Guzmán, G., Torres, M. y Moreno, M. [2003a]. Spatial Analysis based on 3D Rendering Techniques. 6th AGILE Conference on Geographic Information Science, Lyon, France.

Quintero, R., Moreno, M., Levachkine, S. y Torres, M. [2003b]. Scale Changing in Digital Elevation Models using Bicubic Parametric Patches for Real-time Simulations. 8th Iberoamerican Congress on Pattern Recognition, Havana, Cuba.

Rhind D. [1989]. Why GIS? ARC News [Summer]: pp. 9-28

Rhind D. W. [1981] Geographical Information Systems in Britain. In: Wrigley N, Bebbett R. J. [eds] Quantitative Geography: Retrospect and Prospect. Routledge and Kegan Paul, London pp. 17-35

Robinson V. [2000]. “Individual and multipersonal fuzzy spatial relations acquired using human machine interaction”. Fuzzy Sets and Systems 113: 133–45

Rosenfeld A., Klette R. [1985] “Degree of adjacency or surroundedness”. Pattern Recognition Lett. 18, 169–177

Salas R. [2007]. “Lógica Difusa”, Universidad de Valparaíso. Recuperado el 11 de junio 2007.

http://www.inf.utfsm.cl/~rsalas/Pagina_Investigacion/docs/Apuntes/Fuzzy.pdf

- Sarge, F.** (1995). *Semantic accuracy. Elements of Spatial Data Quality*, Elsevier.
- Sharma J, Flewelling D M, and Egenhofer M.** [1994]. "A qualitative spatial reasoned". In Waugh TC and Healey R G [eds] *Proceedings of the Sixth International Symposium on Spatial Data Handling*, Edinburgh, Scotland: 665–81
- Smith, B y Mark D. M.** [2000]. *Do Mountains exist? Towards an Ontology of Landforms*. National Center for Geographic Information and Analysis, and Center for Cognitive Science University at Buffalo.
- Smith, B y Mark D. M.** [2000]. *Landscape Categories in Yindjibarndi: Ontology, Environment, and Language*. National Center for Geographic Information and Analysis, and Center for Cognitive Science University at Buffalo.
- Torres, M., Levachkine, S., Moreno, M., Quintero, R. y Guzmán, G.** [2004]. *TOGWA: Web-Mapping Application to Retrieve Spatial Data by means of Spatial Ontologies*. Third International Conference on Geographic Information Science, University of Maryland, Adelphi, USA.
- Torres, M., Quintero, R., Moreno, M. y Guzmán, G.** [2005]. "Spatial Semantic Definition to Generate Semantic Description for Spatial Data." *Research on Computing Science 14*[Advances in: Artificial Intelligence and Computing Science]: 297-310.
- Verastegui, K.** [2007]. "Conceptualización de aspectos geométricos en el contexto de datos geo-espaciales". Centro de Investigación en Computación, IPN. Tesis de maestría
- Villegas, V.** [2007]. "Conceptualización de objetos geomorfológicos en modelos digitales de elevación". Centro de Investigación en Computación, IPN. Tesis de maestría
- Weigand, H.** [1997]. "Multilingual Ontology-Based Lexicon for News Filtering –The TREVI Project", en K. Mahesh [1997]: 138-159.
- Werner K.** [2005]. *Geospatial Semantics: Why, of What, and How?* J. Data Semantics III: 1-24.
- Worboys M.** [2001]. "Nearness relations in environmental space". *International Journal of Geographical Information Science* 15: 633–51
- Xiaobai Y., Thill J.** [2005]. *Neurofuzzy Modeling of Context-Contigent Proximity Relations*. *Geographical Analysis* 39 [2007] 169-194.
- Zadeh L.** [1975]. "The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning", *Fuzzy sets and systems*, pp. 211-245.
- Zadeh L.** [1996]. "Fuzzy Logic = Computing with Words", *IEEE Transactions on fuzzy systems*, Vol. 4 No. 2, May 1996, pp: 103-111
- Zadeh L.** [1999]. "From Computing with Numbers to Computing with Words-From Manipulation of Measurements to Manipulation of Perceptions", *IEEE Transactions on Circuits and Systems-1: Fundamental Theory and applications*, Vol. 45, No.1 January

1999, pp:105-119

Zhan, F. [1998]. "Approximate analysis of binary topological relations between geographic regions with indeterminate boundaries". *Soft Computing* 2 [1998] 28-34.