

Abordando el problema del anclaje de símbolos para la clasificación semiautomática de imágenes satelitales

Tesina de grado presentada

por

Walter Alexis Alonso

A-1997/6

al

Departamento de Ciencias de la Computación
en cumplimiento parcial de los requerimientos
para la obtención del grado de

Licenciado en Ciencias de la Computación



Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura

Universidad Nacional de Rosario

Av. Pellegrini 250, Rosario, República Argentina

Mayo 2013

Supervisora

Dra. Cecilia H. Zanni-Merk

ICube

(Laboratoire des sciences de l'ingénieur,
de l'informatique et de l'imagerie)

Equipo BFO

(Bioinformatique théorique,
Fouille de données, Optimisation stochastique)

Universidad de Estrasburgo

UMR CNRS 7357

300 Bd S. Brant, BP 10413, 67412 Illkirch cedex, France

Resumen

Este trabajo se sitúa en el contexto de investigación del equipo de BFO¹ (bioinformatique théorique, fouille de données, optimisation stochastique) del laboratorio ICube² (Laboratoire des sciences de l'ingénieur, de l'informatique et de l'imagerie) de la Universidad de Estrasburgo y del CNRS, en los dominios de la representación de conocimientos (inteligencia artificial), y del tratamiento de imágenes satelitales.

El objetivo general de este trabajo es contribuir al diseño de un sistema de reconocimiento automático de objetos geográficos relativos a un contexto urbano (edificios, caminos, vegetación, etc.) extraídos de imágenes satelitales. Para ello se tiene que relacionar dos estructuras independientes de representación de estos objetos urbanos, que ya han sido definidas.

La primera estructura de representación se obtiene a partir de un proceso de clasificación no supervisada de una imagen de satélite. Esta estructura describe la imagen bajo la forma de « clusters », que agrupan objetos de mismas características físicas (superficie, longitud, anchura, perímetro, índice de Morton, firma espectral, etc.).

La segunda estructura de representación se obtiene a partir de una descripción lingüística de las características de los objetos urbanos, elaborada por expertos geógrafos bajo la forma de un diccionario. Estos conceptos han sido formalizados mediante una ontología OWL2.

Este trabajo consistirá en tratar de establecer una correspondencia entre la primera y la segunda estructura de representación. Para tal fin se realizará un estudio detallado de los atributos de ambas estructuras y con esta información se adquirirá un conjunto de reglas expertas que las relacione, es decir que traduzcan las características físicas de los objetos extraídos de la imagen en descripciones conceptuales. A su vez, se desarrollará un programa que extraiga los atributos de la imagen a partir de un archivo .arff, ejecute las reglas e instancie las descripciones conceptuales en una ontología. Por último, mediante un editor de ontologías, se clasificarán las instancias con un razonador y se identificarán a qué objetos urbanos pertenecen.

Finalmente, en esta tesina, se pudo lograr el desarrollo de un programa para obtener una instanciación automática de las características físicas traducidas a las descripciones conceptuales en la ontología.

¹ <http://icube-bfo.unistra.fr/fr/index.php/Accueil>

² <http://icube.unistra.fr/>

Agradecimientos

Deseo expresar mi agradecimiento a todos los que estuvieron a mi lado desde el inicio de la carrera hasta la finalización de esta tesina.

A mi mamá que me brindó todo el amor que un hijo necesita y el apoyo incondicional en todas las decisiones.

A mi pareja y a mi hija quienes resignaron parte de su tiempo para que pueda alcanzar esta meta y que a su vez fueron mi inspiración para seguir adelante.

A toda mi familia que con sus atenciones lograron mantenerme fuerte y preparado.

A mi grupo de “Colgados” que compartieron tiempo de estudio, horas de esfuerzo, penas y alegrías, y sobre todo una enorme amistad.

A mi supervisora por su enorme predisposición, por estar siempre atenta a mis inquietudes y por confiar en mí desde un principio.

Y finalmente, gracias a todos por compartir conmigo este camino tan largo que ahora llega a su final.

Índice

Resumen.....	iii
Agradecimientos.....	iv
Índice.....	v
Lista de figuras.....	vi
Capítulo 1. Introducción.....	1
Capítulo 2. El problema del anclaje de símbolos.....	4
Capítulo 3. Estructuras de representación.....	10
Capítulo 4. Análisis de reglas.....	32
Capítulo 5. Implementación.....	39
Capítulo 6. Experimentación.....	49
Capítulo 7. Conclusiones.....	61
Bibliografía.....	64

Lista de figuras

Número	Página
Los componentes del anclaje.	5
Proceso de extracción de los geógrafos.....	7
Proceso de extracción mediante la plataforma.....	7
Anclaje de símbolos para el contexto en estudio.....	8
Una segmentación mediante la plataforma Mustic.....	11
Diferentes segmentaciones de una misma imagen.	12
Diferentes resoluciones de la misma imagen satelital.....	11
Proceso de muestreo espectral mediante un sensor aéreo.....	13
Ejemplo de una imagen en las diferentes bandas.	14
Firmas espectrales de superficies básicas.	15
Histogramas para cada banda.	16
Variaciones del NDVI para los diferentes niveles de verde.	19
Aplicación de los índices a la imagen de la fig. 3.5(a).....	20
Largo (L) y ancho (l) de una forma geométrica.	21
Valores de referencia para el índice de Morton sobre algunas formas geométricas.....	22
Valores de referencia para el índice de Miller sobre algunas formas geométricas.....	23
Ejemplos de coeficientes de compacidad para algunas formas geométricas..	24
Ficha del diccionario sobre el objeto “Parcelle agricole”.....	25
Taxonomía simplificada de la ontología de objetos urbanos OOU.....	27
Ejemplo de objetos simples y agregados de la OOU.....	28
Vistas de clases y propiedades de objetos en Protégé.....	29
Descripción del objeto “Parcelle_Agricole” en Protégé.	30
Interacción del prototipo con la información cuantitativa (ARFF) y cualitativa (ontología).....	45
Diagrama de clases.....	45
Porción de la OOU con la instancia Region1 en formato OWL/XML.....	48
El razonador como medio para la clasificación de imágenes.....	49
Ontología con el agregado de la instancias. Vista a través de Protégé.	51
Clasificación mediante Protégé. Las inferencias para “Region1” están resaltadas en amarillo.....	52
Gráfico de la arquitectura completa: implementación + clasificación.	53
Imagen de campos fuera de la zona de Estrasburgo.....	54
La segmentación de la Fig. 6.2 mediante Mustic.....	54
Imagen de casas y piscinas – Su segmentación mediante Mustic.	57
Regiones segmentadas de interés de la Fig. 6.4.....	58

Capítulo 1

Introducción

El problema del anclaje del símbolo fue originalmente postulado por Harnad [1]. El problema se centra en la pregunta de ¿cómo están relacionados los símbolos de un sistema simbólico con el mundo real?

En el cognitivismo, los símbolos son meros elementos sintácticos, se relacionan unos con otros y son procesados por un intérprete. Normalmente no se discute la relación de los símbolos con el mundo real, donde reside el problema del anclaje del símbolo. De hecho, el problema del anclaje del símbolo no es tal cuando tenemos máquinas que utilizan un intérprete que establece correctamente las relaciones entre los símbolos y el mundo real. El conjunto de símbolos está por lo tanto anclado al intérprete (humano).

Sin embargo, en cuanto eliminamos al intérprete del sistema el problema se complica, ya que aparece una entidad (software o hardware) que tiene que interactuar con el entorno y que debe relacionar los símbolos con el mundo real.

Tal y como define Harnad, los símbolos así como su manipulación, son interpretados sistemáticamente como si tuviesen un significado. Sin embargo, la interpretación de dichos símbolos no será intrínseca al sistema simbólico, sino que será parasitaria. Es decir, los símbolos sólo tendrán sentido para el intérprete, de la misma manera que los símbolos en un libro no tienen sentido en sí mismos (no son intrínsecos), pero adquieren sentido, para nosotros, en base a nuestro conocimiento. Por lo tanto, si el significado de los símbolos en un sistema simbólico es externo, al contrario que nuestro conocimiento que es interno, entonces, dicho sistema no es un modelo válido para describir una teoría del conocimiento: El conocimiento no puede ser una simple

manipulación de símbolos. ¿Cómo es por lo tanto posible que un símbolo esté anclado (relacionado) con otra cosa que no sea otro símbolo sin significado? Este es el *problema del anclaje del símbolo* [2] y [3].

El equipo de investigación BFO³ del laboratorio ICube⁴ se especializa en las temáticas de investigación sobre minería de datos e ingeniería del conocimiento. En el primer eje temático, el equipo trabaja fundamentalmente sobre algoritmos de minería de datos aplicados a las imágenes de satélite, y en el segundo, sobre el desarrollo de ontologías y modelos conceptuales con diferentes modos de razonamiento. En el marco de colaboración entre estos dos ejes temáticos, el grupo de ingeniería del conocimiento publicó una ontología de objetos urbanos con valores cualitativos para determinar los conceptos [4], y a su vez, el área de minería de datos desarrolló una plataforma que reúne los resultados de investigación del equipo de los últimos diez años sobre el análisis de imágenes que produce valores cuantitativos (longitud, superficie, firma espectral, etc.) denominada Mustic (Multi-Step Image Classification)⁵. La necesidad del equipo es vincular esta plataforma en particular con su propia ontología de objetos urbanos y por lo tanto no será objetivo de esta tesina realizar un estudio del arte de las herramientas para el análisis de imágenes satelitales ni tampoco un estudio detallado de las ontologías existentes referentes a objetos urbanos.

Los valores cualitativos mencionados son necesarios para dar una descripción de los objetos que es independiente de la aplicación. Pero se precisan valores cuantitativos para construir aplicaciones concretas. Esta brecha entre los valores cualitativos y cuantitativos, y la necesidad del equipo de vincular en particular la salida de la plataforma Mustic con la ontología de objetos

³ <http://icube-bfo.unistra.fr/fr/index.php/Accueil>

⁴ <http://icube.unistra.fr/>

⁵ <http://icube-bfo.unistra.fr/fr/index.php/Plateformes>

urbanos ya existente, motivó el problema del anclaje de símbolos en el contexto de esta tesina.

La tesina se organiza de la siguiente manera: en el capítulo 2 se presenta una breve introducción al problema del anclaje de símbolos de manera general y aplicada al contexto de la tesina. En el capítulo 3 se describen las estructuras de representación de la información cuantitativa y cualitativa más un estado del arte sobre los diferentes atributos. A continuación, en el capítulo 4, se analizan las reglas para abordar el problema del anclaje. El capítulo 5 exhibe una implementación de un prototipo. Dos casos de pruebas son expuestos en el capítulo 6 como experimentación. Por último, el capítulo 7 expone las conclusiones obtenidas y las perspectivas de trabajos futuros.

Capítulo 2

El problema del anclaje de símbolos⁶

2.1 Introducción

El anclaje es el proceso de crear y mantener en el tiempo la correspondencia entre símbolos y datos de un sensor que refieren al mismo objeto físico. El problema del anclaje es la problemática de cómo realizar el anclaje en un sistema artificial [2].

Previamente, las proposiciones de resolución del problema del anclaje de símbolos fueron soluciones básicas y, en consecuencia, solo aplicables a dominios restringidos. Sin embargo, en los últimos años, el estudio del problema del anclaje ha ganado un mayor interés y se ha explorado un intento de enmarcar el problema y proporcionar bases teóricas para tratar el anclaje en los sistemas artificiales especialmente en sistemas con componentes simbólicos. La primera definición del anclaje fue dada en [5] y posteriormente una serie de publicaciones fueron establecidas por una comunidad de trabajo sobre el tema: [6], [2] y [7].

El proceso de anclaje según [2] se realiza en un sistema inteligente embebido que contiene los siguientes componentes: un sistema de símbolos “ Σ ” y un sistema de percepción “ Π ”, como se muestra en la Fig. 2.1.

El sistema de símbolos incluye símbolos de individuos, como ‘x’ y ‘cups22’, los cuales tienen como propósito designar los objetos físicos. Cada símbolo se asocia a un conjunto de símbolos de predicados, como ‘red’ y ‘large’, que especifican propiedades del objeto correspondiente. El sistema de percepción

⁶ En inglés: Symbol Anchoring Problem

genera percepciones⁷, como una región de una imagen, a partir de la observación de los objetos físicos. Cada percepción se asocia con los valores observados de un conjunto de atributos medidos, como los valores del tono, ‘hue’, de una región.

Este enfoque asume además, que está dada una relación de conexión de predicado “g”, que traduce la correspondencia entre símbolos de predicados y valores admisibles de atributos observables. Esta correspondencia símbolo-percepción se reifica en una estructura de datos interna denominada ancla “ α ”. Dado que las nuevas percepciones se generan continuamente dentro del sistema perceptual, esta correspondencia es indexada en el tiempo.

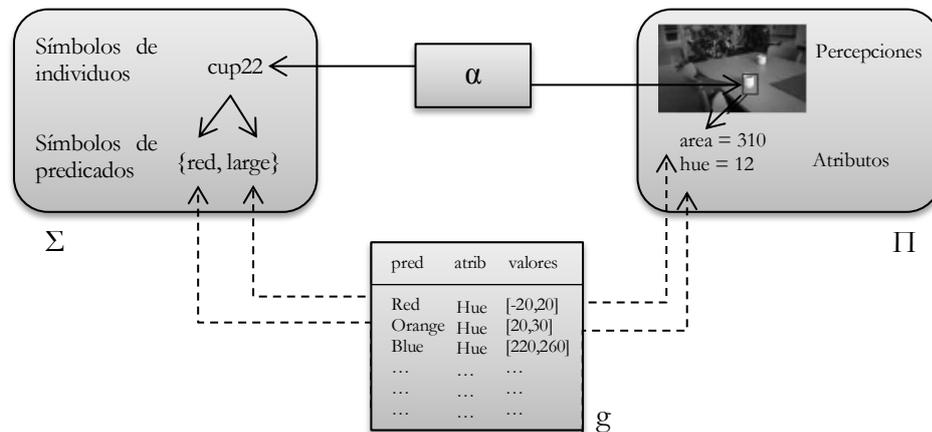


Fig. 2.1: Los componentes del anclaje.

La tarea del anclaje es utilizar la relación g para conectar símbolos de individuos en Σ y percepciones en Π . Por ejemplo, supongamos que ‘red’ es el predicado del símbolo ‘cup22’, y los valores de ‘hue’ de una región dada en una imagen son compatibles con el predicado ‘red’ de acuerdo a g, entonces la región podría ser anclada al símbolo ‘cup22’.

⁷ Se considera una percepción como un conjunto estructurado de medidas, que supuestamente, se originan en el mismo objeto físico.

2.2 El problema del anclaje aplicado a la clasificación de imágenes

El análisis de imágenes es un método de reconocimiento de elementos semánticos⁸ en una imagen. Para las imágenes satelitales⁹ el primer paso para el reconocimiento es extraer la información (diferentes objetos geográficos, sus cifras, etc.). Tal extracción puede ser realizada manualmente por intérpretes de fotografías denominados expertos geógrafos. Sin embargo, este proceso de interpretación visual demanda mucho tiempo, especialmente cuando el volumen de datos tiende a aumentar con las nuevas tecnologías. Por otra parte, esta interpretación es particularmente subjetiva. Para resolver estos problemas, la automatización de la extracción de la información se convierte en una necesidad. En [8] el autor trabajó sobre la integración de segmentos productos del análisis de una imagen de satélite en una ontología orientada a objetos y propuso algunas reglas para relacionar ambas estructuras.

Actualmente los expertos geógrafos toman una imagen¹⁰ y reconocen los objetos urbanos de manera manual, o sea, distinguen a ojo un objeto y utilizando su conocimiento implícito determinan qué tipo de objeto es (ver Fig. 2.2). Por ejemplo: el objeto “casa” se representa gráficamente mediante un polígono con las siguientes características: su área es pequeña, su forma cuadrada o rectangular, etc. En [9] se trabajó sobre la formalización de dominio y explotación del conocimiento en el ámbito de la interpretación semántica utilizando ontologías y presentan una taxonomía de objetos urbanos y un framework para describir objetos urbanos y su organización espacial.

⁸ El concepto de semántica de una imagen es un término relativo dependiendo del nivel deseado de interpretación, y por lo tanto, de los elementos que se desea extraer.

⁹ Se considera que una imagen satelital es una imagen digital adquirida por un sensor a bordo de un satélite.

¹⁰ Esta imagen puede ser también una “ground truth”. Este término es utilizado en la teledetección y se refiere a la información recogida en el lugar. Ground truth permite que los datos de imagen se relacionen a las características reales y a los materiales del terreno.



Fig. 2.2: Proceso de extracción de los geógrafos

Por otra parte, se han desarrollado métodos y herramientas para asistir a los expertos geógrafos para automatizar en gran medida el proceso de análisis de imágenes; especialmente la extracción de la semántica. En particular, una plataforma de procesamiento recibe como entrada una imagen y mediante un análisis no supervisado¹¹ extrae un conjunto de atributos cuantitativos (ver Fig. 2.3). Por ejemplo: Región: 1, superficie: 3.200, Índice de Miller: 0,8, etc. Luego esta información es almacenada en un archivo de texto.

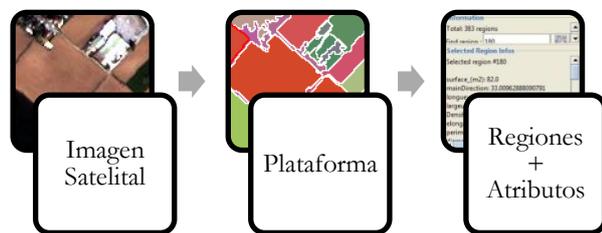


Fig. 2.3: Proceso de extracción mediante la plataforma.

De esta manera se exponen dos tipos de información como muestra la Fig. 2.4: la fuente de conocimiento implícito de los geógrafos formalizada (información cualitativa) y el conjunto de atributos en un archivo que entrega la plataforma de procesamiento a partir de una imagen segmentada (información cuantitativa). Abordar el problema del anclaje de símbolos en el contexto de este trabajo, implica poder encontrar un vínculo entre estas dos

¹¹ El análisis no supervisado no incluye ningún conocimiento a priori de los objetos al momento de ser extraídos

tipos de información. Es decir poder vincular los valores de los atributos de una región dada con las descripciones lingüísticas de los atributos asociados. Por ejemplo, la descripción “superficie: grande” de la Región 1 se correspondería con el atributo superficie, si el mismo tendría un valor mayor a 200.

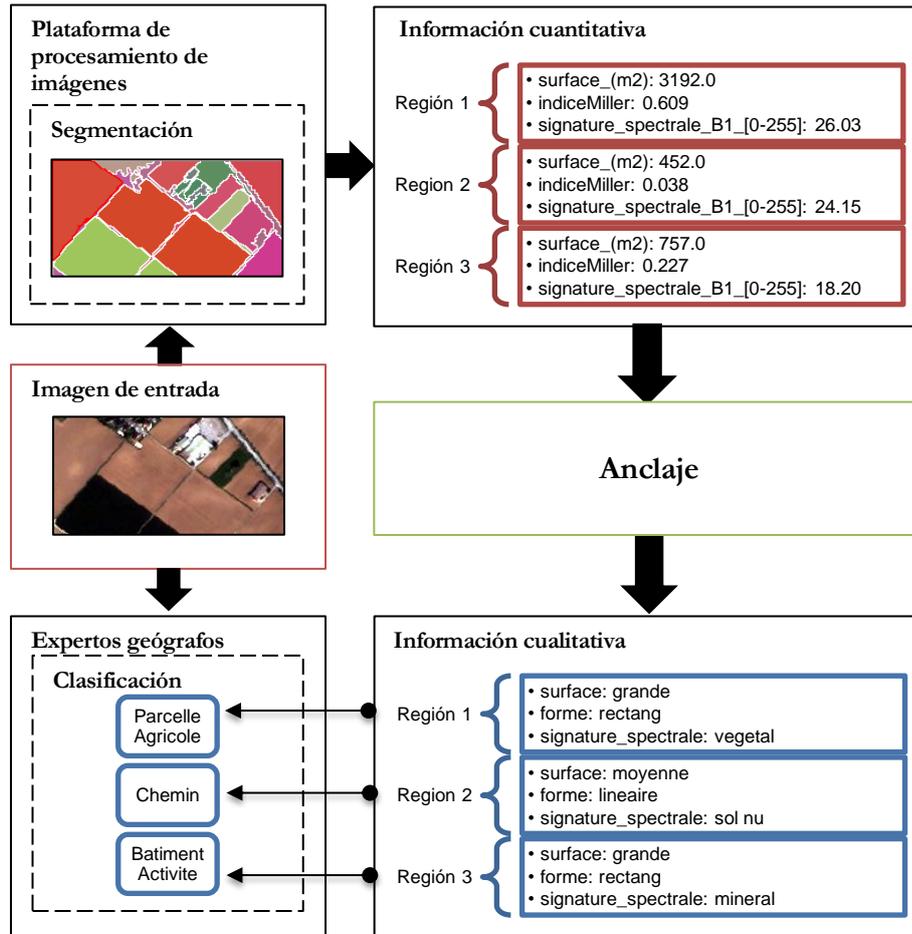


Fig. 2.4: Anclaje de símbolos para el contexto en estudio.

Por lo tanto, en términos del marco teórico antes definido, el sistema de percepción está dado por el contenido cuantitativo y el sistema de símbolos por el conocimiento cualitativo. La implementación de un conjunto de reglas de decisión, identificada mediante el módulo “Anclaje” de la Fig. 2.4, será planteada como solución para abordar el problema del anclaje en esta tesina.

En el siguiente capítulo se desarrollarán en detalle las representaciones de la información cualitativa y cuantitativa.

Capítulo 3

Estructuras de representación

3.1 Información cuantitativa

Como se comentó en el capítulo previo, una plataforma para el procesamiento de imágenes satelitales es utilizada para la extracción de la información cualitativa. Esta plataforma denominada Mustic se presentó en la introducción y es una aplicación de escritorio basada en Java desarrollada por el laboratorio ICube de la Universidad de Estrasburgo.

Mustic utiliza una colección de algoritmos de aprendizaje de máquina para procesar imágenes. Entre ellos incluye un algoritmo no supervisado para la segmentación de imágenes el cual permite dividir las imágenes en regiones homogéneas y calcular para cada una un conjunto de atributos. Se puede observar un ejemplo de segmentación mediante Mustic en la Fig. 3.1.

Se brindará un resumen de los tipos de segmentación que permite Mustic, a nivel informativo, dado que las segmentaciones de las imágenes son realizadas por los expertos y no es objetivo de este trabajo trabajar con los algoritmos de segmentación. Es decir, el punto de partida de este trabajo es un archivo de texto con la información cuantitativa que entrega Mustic de una imagen satelital previamente segmentada.

La versión 4 de Mustic permite tres tipos de segmentación:

- **Segmenter From File:** importar una imagen tipo PNG¹² ya segmentada, donde cada región tiene un color que la determina. La segmentación resultante tiene el mismo aspecto que la importada.

¹² Siglas en inglés de Gráficos de Red Portátiles

- Segmenter Watershed: utiliza un algoritmo Watershed¹³ con tres parámetros de entrada. Watershed es una técnica de segmentación basada en morfología matemática, que permite extraer las fronteras de las regiones que hay en una imagen. Esta técnica de segmentación está aconsejada para imágenes con texturas homogéneas y con gradiente de intensidad débiles. Los objetos resultantes de la segmentación se corresponden con los mínimos del gradiente morfológico y con los contornos de las líneas de división de aguas del gradiente [10].
- Segmenter Region Merging: segmentación que aplica el algoritmo de Region Merging¹⁴. La idea general de esta segmentación es fusionar recursivamente regiones similares. Esta similitud generalmente se basa en la comparación de las estadísticas de cada región.

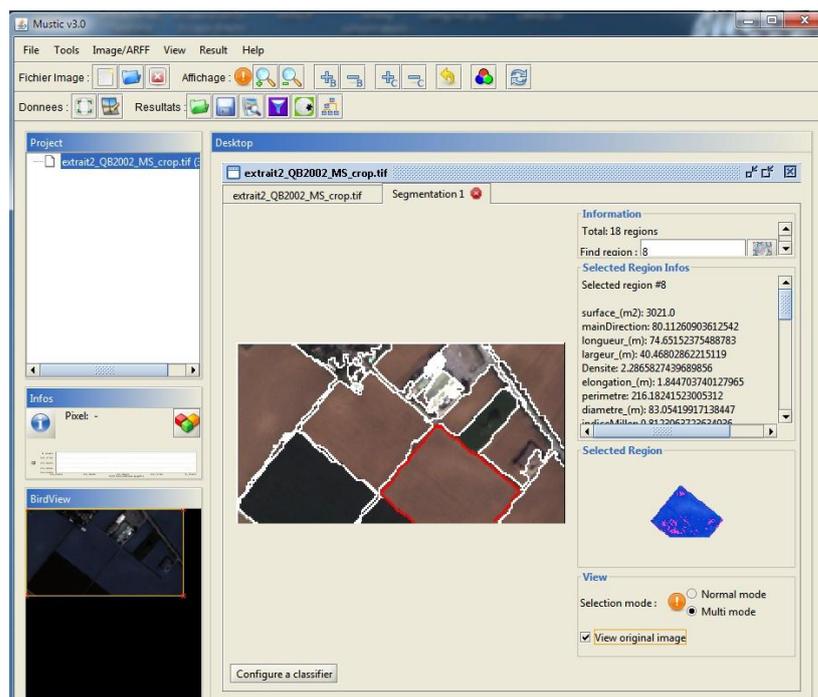


Fig. 3.1: Una segmentación mediante la plataforma Mistic

¹³ http://en.wikipedia.org/wiki/Watershed_%28image_processing%29

¹⁴ http://en.wikipedia.org/wiki/Statistical_region_merging

La selección de un algoritmo de segmentación adecuado es un factor clave para conseguir una identificación exitosa de los objetos englobados en una imagen dada. Se puede decir, que de esto depende la cantidad de regiones resultantes, y es de suma importancia, si se quiere caracterizar un objeto en particular (como una casa, una piscina, etc.). En la siguiente figura se ilustra tres segmentaciones para una misma imagen:

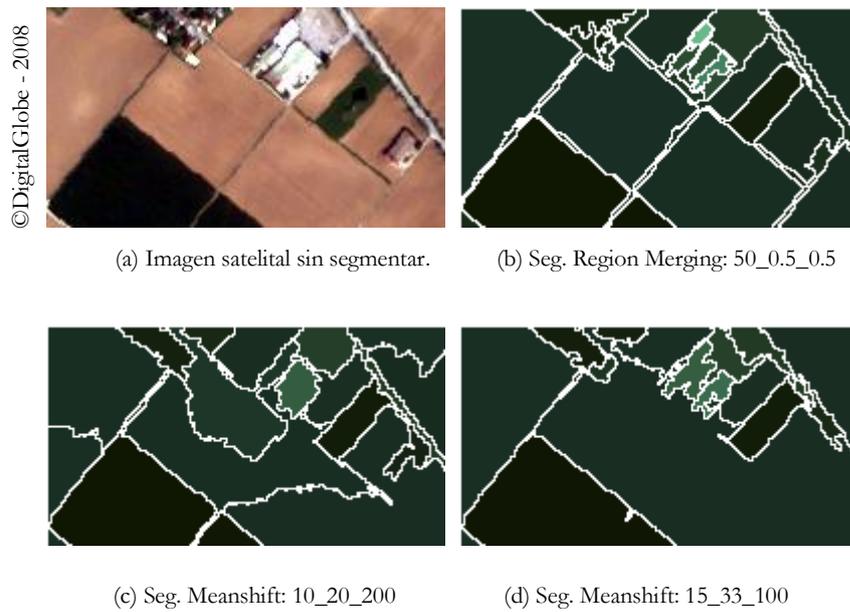


Fig. 3.2: Diferentes segmentaciones de una misma imagen.

Además de realizar la segmentación, Mustic calcula un conjunto de atributos cuantitativos para cada región. Estos atributos se pueden dividir en tres categorías: radiométricos (firma espectral, índice de vegetación, etc.), espaciales (resolución, dimensión) y morfológicos (área, perímetro, elongación, etc.). La siguiente tabla muestra la información que devuelve Mustic al segmentar:

Atributo	Tipo
Dimension	string
Resolution	string
Pos	INTEGER
surface_(m2)	NUMERIC
mainDirection	NUMERIC
longueur_(m)	NUMERIC
largeur_(m)	NUMERIC

Densite	NUMERIC
elongation_(m)	NUMERIC
Perimeter	NUMERIC
diametre_(m)	NUMERIC
indiceMiller	NUMERIC
indiceMorton	NUMERIC
indiceGravelius	NUMERIC
indiceSolidite	NUMERIC

Densite	NUMERIC	stdDevBand0	NUMERIC
Longueur_BB	NUMERIC	moyBand1	NUMERIC
Largeur_BB	NUMERIC	stdDevBand1	NUMERIC
Elongation_BB	NUMERIC	moyBand2	NUMERIC
ELONGATION_1	NUMERIC	stdDevBand2	NUMERIC
ELONGATION_2	NUMERIC	moyBand3	NUMERIC
MoyX	NUMERIC	stdDevBand3	NUMERIC
MoyY	NUMERIC	signature_spectrale_B1_[0-255]	NUMERIC
VarX	NUMERIC	signature_spectrale_B2_[0-255]	NUMERIC
VarY	NUMERIC	signature_spectrale_B3_[0-255]	NUMERIC
CovXY	NUMERIC	signature_spectrale_B4_[0-255]	NUMERIC
EIG1	NUMERIC	signature_spectrale_IBS_[0-255]	NUMERIC
EIG2	NUMERIC	signature_spectrale_NDVI_[0-255]	NUMERIC
moyBand0	NUMERIC	neighbors	string

Tabla 3.1: Atributos que determina la plataforma Mustic. Se resaltan en celeste los atributos de interés.

De todos estos atributos solamente los resaltados en celeste serán relevantes en el análisis de este trabajo. Para poder procesar posteriormente esta información cuantitativa, Mustic permite la exportación de la misma en un archivo de texto. En el Capítulo 5 se brindará más detalles respecto a la estructura y organización de este archivo ya que será la entrada de la implementación.

3.1.1 Atributos espaciales

Los datos capturados por los satélites se presentan en la forma de una matriz de píxeles que determina una imagen. La misma puede ser de diferentes tipos, dependiendo principalmente de la resolución espectral y espacial de los sensores.

Resolución espacial - Este concepto determina al objeto más pequeño que se puede distinguir en la imagen. La resolución está definida por el tamaño del píxel (medido en metros sobre el terreno) y depende de la altura del sensor con respecto a la Tierra, el ángulo de visión, la velocidad de escaneado y las características ópticas del sensor. La capacidad de discernir en las imágenes captadas, objetos o detalles de un determinado tamaño, depende de la resolución [11]. Es decir, los objetos son reconocibles por sus características intrínsecas dependiendo de la resolución. Algunos conceptos sólo existen en

una resolución espacial (por ejemplo, es difícil identificar un árbol en una imagen de resolución espacial de 20 m), mientras que existen otros conceptos en todas las resoluciones (por ejemplo, un lago se puede identificar en imágenes donde el rango de resolución espacial varía de 30 a 1 m).

Según el sensor utilizado la resolución varía de decenas de metros (Landsat-1: 80 m, Landsat-4: 30 m, SPOT 3: 20 m en el modo multispectral, y 10 m en pancromática o sea en niveles de grises) a un valor cercano al metro (QuickBird: 2,8 m en color y 0,7 m pancromática). Generalmente se distinguen cuatro categorías de resolución:

- Baja resolución (> 100 m);
- Media resolución MR (80 m);
- Alta resolución HR (10 a 30 m);
- Muy alta resolución THR (menos de 5 m).

El atributo “Resolution” de Mustic es de la forma “x – y”, donde x e y representan el tamaño del pixel y pueden pertenecer a alguno de estos intervalos [12]:

- THR1: [0,5m a 5m]
- HR1: [5m a 15m]
- HR2: [15m a 30m]

La Fig. 3.3 ilustra las diferentes resoluciones espaciales [11] mediante un ejemplo.

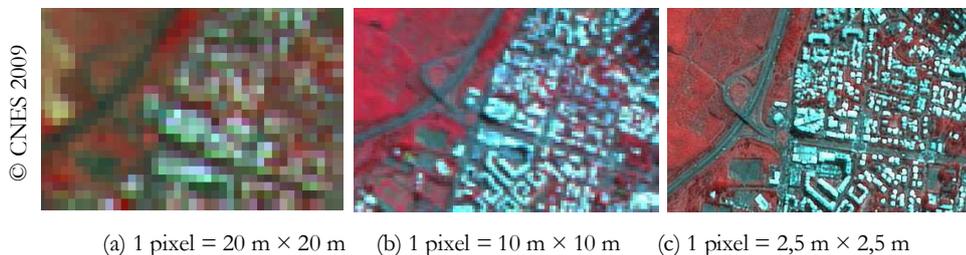


Fig. 3.3: Diferentes resoluciones de la misma imagen satelital.
(a) y (b) pertenecen a la categoría HR, mientras que (c) es una imagen THR.

3.1.2 Atributos radiométricos

La **radiometría** es la ciencia que se ocupa del estudio de la medida de la radiación electromagnética. Los sensores mediante la teledetección transforman la radiación electromagnética en información analizable para ser almacenada y procesada posteriormente [13]. De esta manera es posible distinguir en las imágenes satelitales las diferentes variaciones de luminosidad de las coberturas terrestres en cada rango del espectro electromagnético. Gracias a que los sensores miden la cantidad proporcional de luz reflejada por una superficie en función de las longitudes de onda, es posible producir un **espectro de reflectancia**¹⁵.

Los sensores son capaces de determinar diferentes intensidades de radiación (**resolución radiométrica**). Normalmente comprenden de 8 a 14 bits correspondientes a los 256 niveles de una escala de grises, y pueden llegar a 16.384 intensidades de color [14]. A su vez, los sensores pueden captar un número determinado de canales o bandas espectrales con sus correspondientes amplitudes. La **resolución espectral**, es decir, el ancho del intervalo de cada banda espectral varía de 0,2 μm a 10 μm de acuerdo con el sensor. El número de bandas puede ir de tres o cuatro (SPOT, QuickBird) hasta cien (DAIS), que corresponde a la muy alta resolución espectral (THR). En general se distinguen cuatro regiones espectrales [11]:

- Visible (VIS): 0,4 μm a 0,7 μm ;
- Infrarrojo cercano (NIR): 0,7 μm a 1,5 μm ;
- Infrarrojo medio (MID-IR): 1,5 μm a 3 μm ;
- Infrarrojo lejano (FAR-IR): 3 μm a 15 μm .

¹⁵ La reflectancia de una superficie, se define físicamente como el cociente entre la potencia de la radiación reflejada y la potencia total recibida por la misma. Dado que la cantidad de radiación reflejada por la superficie siempre será menor o igual que la potencia recibida, la reflectancia tendrá valores comprendidos entre 0 y 1. Normalmente suele expresarse en porcentaje. El espectro de reflectancia es el gráfico de la reflectancia en función de la longitud de onda.

En la siguiente figura extraída de [13] se puede observar como un sensor aéreo escanea una imagen y detecta las muestras simultáneamente para cada banda espectral. Después de un procesamiento apropiado, cada píxel de la imagen resultante contiene una medición de la reflectancia espectral de la muestra, que puede ser interpretada para identificar el material presente en la escena [13].

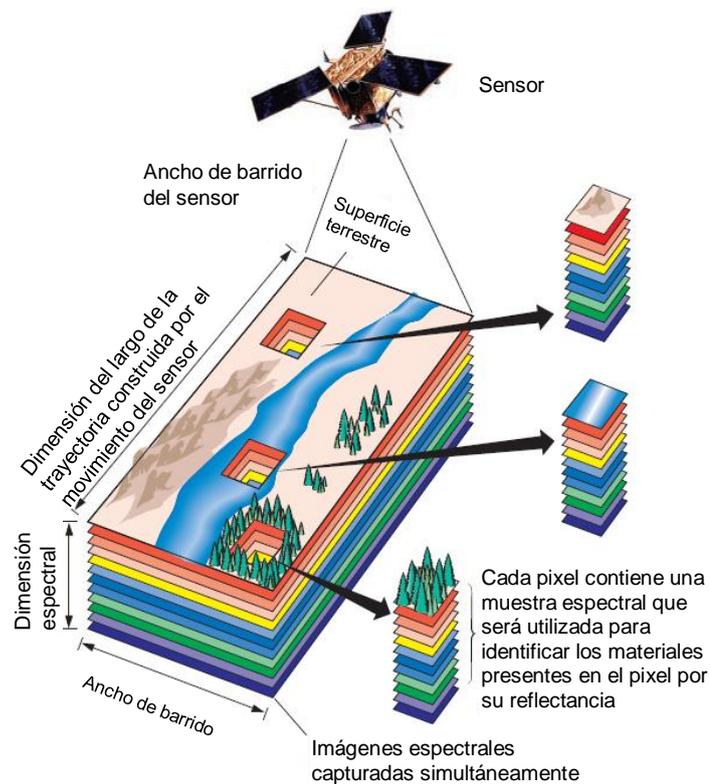


Fig. 3.4: Proceso de muestreo espectral mediante un sensor aéreo.

En esta tesina se trabajó con imágenes multispectrales adquiridas por el satélite QuickBird¹⁶ con resolución radiométrica de 8 bits y donde las bandas asumen las siguientes resoluciones espectrales:

- B1 - Azul (Blue): 0,45 - 0,52 μm
- B2 - Verde (Green): 0,53 - 0,59 μm

¹⁶ Especificaciones del sensor satelital QuickBird: <http://www.satimagingcorp.es/gallery-quickbird.html>

B3 - Rojo (Red): 0,63 - 0,69 μm

B4 - Infrarrojo cercano (Near Infrared): 0,76 - 0,90 μm

Se puede ver en la Fig. 3.5 una imagen en las bandas mencionadas.



(a) Imagen HRS (2,4 m) en las 4 bandas.



(b) Imagen en la banda 1.



(c) Imagen en la banda 2.



(d) Imagen en la banda 3.



(e) Imagen en la banda 4.

Fig. 3.5: Ejemplo de una imagen en las diferentes bandas.

Firma espectral - Para un material dado, la cantidad de radiación solar que se refleja (absorbida y transmitida) variará con la longitud de onda. Esta importante propiedad del material permite separar los distintos tipos de superficies en base a sus valores de respuesta para una determinada longitud de onda. Al graficar las características de respuesta de un cierto tipo de superficie contra la longitud de onda, se define lo que se denomina la **firma espectral** de esta superficie [15]. La siguiente figura extraída de [15] ilustra las firmas espectrales de los tres tipos más comunes de superficies terrestres: vegetación, suelo y agua:

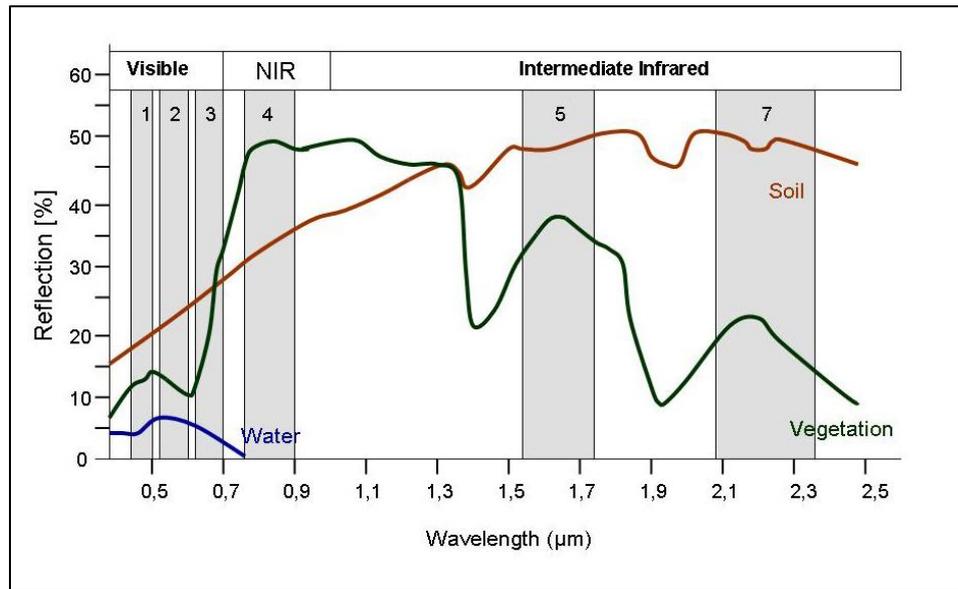
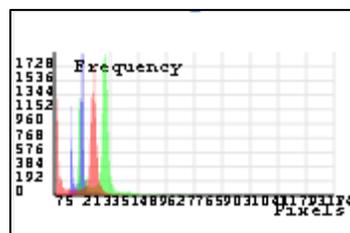


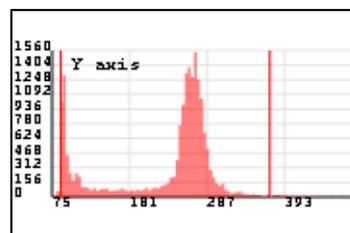
Fig. 3.6: Firmas espectrales de superficies básicas.

Estas curvas indican la cantidad de energía incidente que sería reflejada por la superficie, y en consecuencia, registrada por un sensor. En una longitud de onda dada, cuanto mayor es la reflectancia de la superficie en una imagen, mayor es su nivel de brillo.

Mustic deriva los atributos radiométricos de los datos de una imagen RAW¹⁷. Para cada región, se calcula el promedio y la desviación estándar de las respuestas espectrales en las cuatro bandas de los píxeles que componen el segmento asociado a la región. Se puede observar en los histogramas de la Fig. 3.7 los valores de los píxeles en las diferentes bandas correspondientes a las imágenes de la Fig. 3.5.

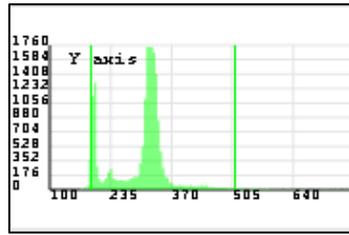


(a) Composición RGB.

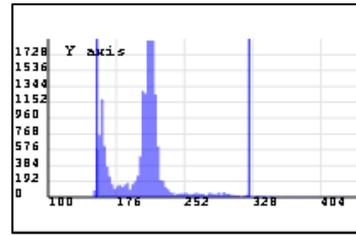


(b) Banda 1.

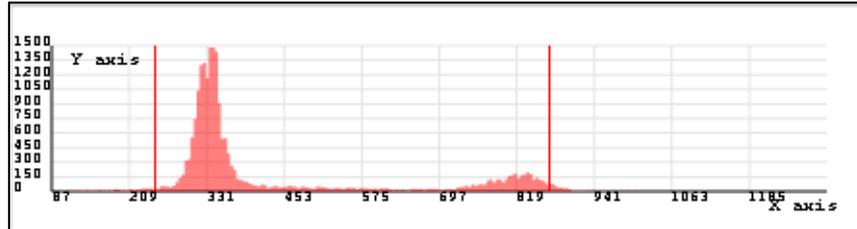
¹⁷ Es un formato de archivo digital de imágenes que contiene la totalidad de los datos de la imagen tal y como ha sido captada por el sensor digital



(c) Banda 2.



(d) Banda 3.



(b) Banda 4.

Fig. 3.7: Histogramas para cada banda.

En resumen, Mustic calcula los siguientes atributos:

signature_spectrale_B1_[0-255]	Firma espectral en la banda 1. Valor en [0, 255]
signature_spectrale_B2_[0-255]	Firma espectral en la banda 2. Valor en [0, 255]
signature_spectrale_B3_[0-255]	Firma espectral en la banda 3. Valor en [0, 255]
signature_spectrale_B4_[0-255]	Firma espectral en la banda 4. Valor en [0, 255]

La información que brindan las diferentes firmas espectrales para una misma región es de gran utilidad ya que sirve para discriminar el tipo de superficie que representa [16]. En lo que sigue se analizarán solamente las superficies y respuestas espectrales con las que se trabajó.

Tipos de superficie

- **Agua** – La reflectancia de agua pura es lo suficientemente fuerte en la banda azul del espectro visible y luego disminuye rápidamente a medida que se acerca al infrarrojo cercano (véase la Fig. 3.6). De esta manera, normalmente el agua se ve azul o azul-verdoso debido a una mayor reflectancia en las longitudes de onda más cortas, y más oscura si se ve en longitudes de onda roja e infrarroja cercana. Las partículas minerales, plancton o vegetal, suspendidos o flotando en el agua

aumentan la reflectancia visible. La clorofila de las algas absorbe más de la longitud de onda azul y refleja la verde, por lo que el agua se vea más verde en el color cuando las algas están presentes [16].

- **Vegetación** - Un compuesto químico en las hojas llamado clorofila absorbe fuertemente la radiación en las longitudes de onda roja y azul, pero refleja longitudes de onda verde. Las hojas parecen “más verde” en el verano, cuando el contenido de clorofila se encuentra al máximo. En otoño, hay menos clorofila en las hojas, por lo tanto hay menos absorción y proporcionalmente más reflexión de las longitudes de onda roja, lo que hace que las hojas aparezcan de color rojo o amarillo (amarillo es una combinación de longitudes de onda rojo y verde). La estructura interna de las hojas sanas actúa como un excelente reflector difuso de longitudes de onda del infrarrojo cercano. Si los ojos humanos fueran sensibles al infrarrojo cercano, los árboles parecerían muy brillantes en estas longitudes de onda. De hecho, la medición y el control de la reflectancia infrarrojo cercano es una forma en que los científicos pueden determinar el estado de salud de la vegetación [16]. Como se puede ver en la Fig. 3.6, la vegetación en general tiene una reflectancia:

- Muy baja en rojo ($\sim 0,66 \mu\text{m}$) y azul ($\sim 0,45 \mu\text{m}$)
- Baja en el verde ($\sim 0,546 \mu\text{m}$)
- Alta en el infrarrojo cercano ($0,7$ a $1 \mu\text{m}$)

Estos valores pueden variar en función del contenido de agua de la planta, la estructura de hojas, densidad, edad, etc. [17]. Como se verá más adelante la alta reflectancia en el infrarrojo cercano es un dato clave para el cálculo de un indicador de vegetación.

- **Suelos** – Los suelos tienden a tener propiedades de reflexión que aumentan monótonamente junto a longitud de onda. Ellos tienden a tener una alta reflectancia en todas las bandas. Por supuesto, esto depende de factores tales como el color, los componentes y especialmente el contenido de humedad. Como se ha descrito

anteriormente, el agua es un absorbente relativamente fuerte de todas las longitudes de onda, en particular en aquellas que están en la parte roja del espectro visible. Por lo tanto, como aumenta el contenido de humedad de los suelos, la reflectancia global del suelo tiende a disminuir. Suelos ricos en óxido de hierro reflejan proporcionalmente más del rojo que otras longitudes de onda visibles y por lo tanto aparecen de color rojo (color del moho) para el ojo humano. Un suelo arenoso por otro lado tiende a aparecer de color blanco brillante en las imágenes porque longitudes de onda visibles están más o menos igualmente reflejadas, cuando las longitudes de onda un poco menos azul se reflejan el resultado es de color amarillo [16].

Índices

Un índice es una combinación de varias bandas espectrales diseñado para resaltar las particularidades de una superficie dada. Mustic calcula dos tipos de índices teóricos ya conocidos en el tratamiento de imágenes de satélite, el índice normalizado de vegetación y el índice de brillantez del suelo y los devuelve en los siguientes atributos:

signature_spectrale_IBS_[0-255]	Índice normalizado de vegetación. Valor en [0, 255]
signature_spectrale_NDVI_[0-255]	Índice de brillantez del suelo. Valor en [0, 255]

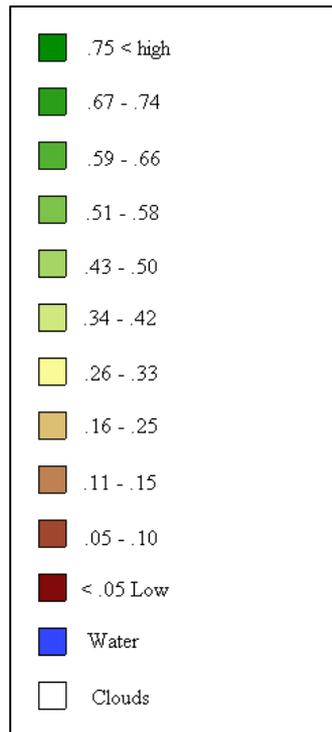
Índice normalizado de vegetación NDVI¹⁸

El índice de vegetación normalizado corresponde a una transformación no lineal de las bandas del visible rojo (R) e infrarrojo cercano (NIR) [18]. El NDVI corresponde a una medida del vigor de la vegetación en cuanto a contenido de humedad como muestra la Fig. 3.8. Los valores del NDVI están comprendidos entre -1 y +1 pero Mustic los normaliza entre 0 y 255 para las imágenes de resolución radiométrica de 8 bits. Su fórmula es la siguiente:

¹⁸ Las siglas en inglés: Normalized Difference Vegetation Index

$$NDVI_{(i,j)} = \frac{NIR_{(i,j)} - R_{(i,j)}}{NIR_{(i,j)} + R_{(i,j)}}$$

Donde (i, j) son las coordenadas del píxel en estudio.



Los colores del verdor en las imágenes van desde el marrón medio al amarillo y verde para superficies con vegetación parcial a completa respectivamente con valores de NDVI mayores que 0,05. Superficies desnudas tienen valores de NDVI menores a 0,05 y se muestran en color marrón oscuro. El agua es de color azul y las nubes (o nieve) son de color blanco y tienen valores cercanos a cero. En general, los tonos de verde más profundos (más oscuros) indican zonas de abundante vegetación sana, mientras que los tonos de marrón, naranja y amarillo indican las zonas áridas de baja densidad de vegetación [19].

Fig. 3.8: Variaciones del NDVI para los diferentes niveles de verde.

Índice de brillantez del suelo SBI¹⁹

El índice de brillantez del suelo proporciona información sobre las áreas potencialmente erosionadas y corrobora la información proveniente del NDVI [20]. Su fórmula es la siguiente:

$$SBI = \frac{R^2 + NIR^2}{2}$$

¹⁹ Las siglas en inglés: Soil Brightness Index

El SBI se utiliza generalmente para mostrar las variaciones cromáticas de los suelos y por esta razón es muy útil para identificar los rasgos de los suelos.

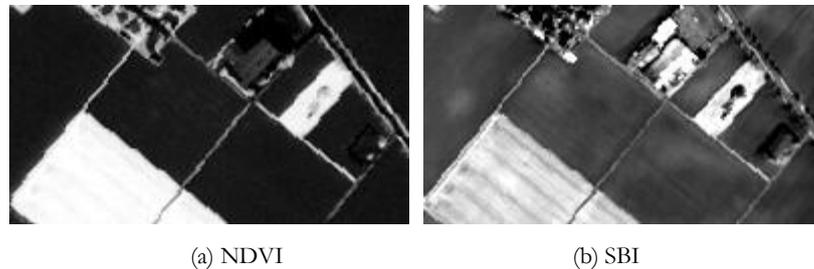


Fig. 3.9: Aplicación de los índices a la imagen de la fig. 3.5(a)

Se puede observar en la Fig. 3.9(a) que en las zonas donde se detecta más vegetación el tono de las mismas tiende a ser más brillante.

3.1.3 Atributos morfológicos

Superficie - La manera más simple para calcular la superficie de una forma consiste en medir el número total de píxeles que se encuentran en la misma. La superficie en m^2 se obtiene multiplicándola por la superficie del píxel.

Longitud/Largo - Representa la distancia más larga entre sus dos extremos más alejados.

Amplitud/Ancho - Representa la distancia más larga que es perpendicular a Longitud.

Para un polígono (Fig. 3.10), L es la longitud del eje más largo, es decir, la distancia entre los dos puntos más distantes y l la longitud más larga perpendicular a L [21].

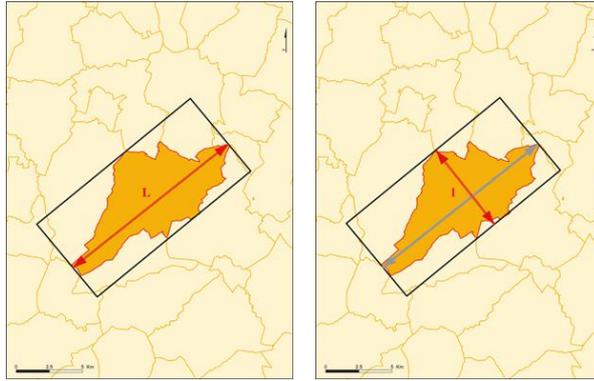


Fig. 3.10: Largo (L) y ancho (l) de una forma geométrica.

Estos atributos son representados por Mustic de la siguiente manera:

surface_(m2)	Superficie en m ²
longueur_(m)	Longitud en m
largeur_(m)	Ancho en m

Índices de forma geométrica

En general, los descriptores o índices son un conjunto de números que se producen para describir una forma dada. La forma puede no ser totalmente reconstruida a partir de ellos, pero los descriptores de diferentes formas deben ser lo suficientemente distintos para que las formas pueden ser discriminadas. Anteriormente se vio algunos ejemplos de descriptores simples.

Pero, ¿qué califica como un buen descriptor? En general, cuanto mejor es el descriptor, mayor será la diferencia entre los descriptores de las distintas formas y menor la diferencia para formas similares. Entonces, ¿qué califica para similitud de la forma? Bueno, realmente nadie ha sido capaz de responder a eso todavía. Si se pudiera cuantificar la similitud de forma, se tendría el descriptor perfecto. De hecho, eso es lo que los descriptores son: *intentos de cuantificar la forma de manera que estén de acuerdo con la intuición humana (o requisitos específicos de una tarea dada)* [22].

Las regiones pueden describir propiedades basadas en el contorno de un objeto o propiedades basadas en la región. Esta presentación, se centra en los descriptores basados en la región, en particular se analizarán cuatro de estos descriptores teóricos.

Índice de elongación: se utiliza para evaluar el alargamiento de una zona geográfica de acuerdo a su forma geométrica. Este índice relaciona el largo y el ancho de la zona.

$$I_{elongation} = \frac{L}{l}$$

Donde: L es el largo y l es el ancho.

El **índice de Morton (índice de forma)**: Permite evaluar la propagación de la forma de una zona geográfica con respecto a su superficie. Su valor es 1 si la forma es un círculo y 0 si se trata de una línea degenerada (ver Fig. 3.11) [23].

$$I_{Morton} = \frac{S}{\pi(0.5L)^2}$$

Donde: S es la superficie de la zona y L la longitud, la elongación de la zona (del diámetro máximo).

$$0 \leq I_{Morton} \leq 1$$

Índice de Forma I_{Morton}	0	0.126	0.21	0.47	0.636	1
Formas geométricas						

Fig. 3.11: Valores de referencia para el índice de Morton sobre algunas formas geométricas.

El **índice de Miller (índice de circularidad)**: Compara la forma de una zona con la de un círculo que tiene el mismo perímetro²⁰ que la zona. Su valor tiende a 0 para una forma más estirada, y cercano a 1 si la forma es circular (ver Fig. 3.12) [23].

$$I_{Miller} = \frac{4\pi S}{P^2}$$

Donde: S es la superficie de la zona y P el perímetro de la zona

$$0 \leq I_{Miller} \leq 1$$

Índice de circularidad I_{Miller}	0	0.5	0.685	0.785	1
Formas geométricas					

Fig. 3.12: Valores de referencia para el índice de Miller sobre algunas formas geométricas.

El **índice Gravelius (coeficiente de compacidad Gravelius)**: Se trata de un índice de compacidad. Se define como la relación entre el perímetro de una zona y el perímetro del círculo que tiene la misma área que la zona. Su valor se encuentra cerca de 1 para un área de forma casi circular y por encima de 1 cuando la zona se compacta (ver Fig. 3.13) [23].

$$I_{Gravelius} = \frac{P}{\sqrt{4\pi S}}$$

Donde: S es la superficie de la zona geográfica y P el perímetro de la zona.

$$1 \leq I_{Gravelius} < \infty$$

²⁰ El perímetro de una forma se expresa como el número total de píxeles de su contorno.

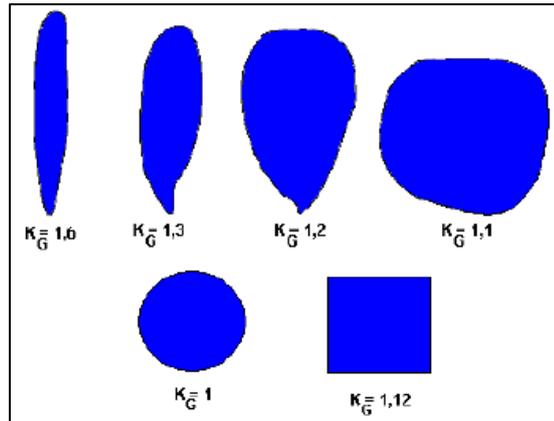


Fig. 3.13: Ejemplos de coeficientes de compacidad para algunas formas geométricas.

Como veremos más adelante estos índices teóricos serán de gran utilidad para traducir la forma de una región. Mustic los representa de la siguiente manera:

elongation_(m)	Índice de elongación
indiceMiller	Índice de Miller
indiceMorton	Índice de Morton
indiceGravelius	Índice de Gravelius

3.2 Información cualitativa

Los geógrafos almacenan su fuente de conocimiento sobre el reconocimiento de objetos urbanos en un documento similar a un diccionario regular denominado **diccionario de objetos geográficos** [9]. Este diccionario define cada objeto geográfico con descripciones textuales, gráficas, algunos atributos y relaciones con otros objetos. Los objetos geográficos comprenden regiones, parcelas de tierra, masas de agua, carreteras, edificios, etc. En la Fig. 3.14 puede observarse una de las fichas del diccionario de objetos geográficos utilizado en este trabajo.

Fiche 9 : Parcelle agricole				
A. Identification de l'objet				
Type	Nom de l'objet :	Type d'objet élémentaire	Type d'objet « image »	Resolution
 Polygone	Parcelle agricole (cultivée ou non)	Végétation	Objet image simple	THR1 – HR1 – HR2
B. Description de l'objet dans le monde réel				
B.1 Définition textuelle				
L'objet « parcelle agricole » appartient à la catégorie d'objets élémentaires « végétation ».				
Il désigne une unité de terrain d'étendue variable exploitée par l'homme. Il regroupe les parcelles cultivées ou non.				
En général, les parcelles agricoles sont				
<ul style="list-style-type: none"> - de forme carrée à rectangulaire - contiguës au TU discontinu de type pavillonnaire ou à de l'habitat isolé - parcourue de chemins ou pistes 				
B.2 Illustration graphique :				
	THR1	HR1 (sujet 5m et 15 m)	HR2 (30 m)	
- Parcelle agricole (cultivée ou non)		15 m 	30 m 	
C.4. Attributs				
	THR1	HR1	HR2	
Signature spectrale	Végétal	Végétal	Végétal	
Longueur ou diamètre (m)	> 70			
Largeur (m)	> 70			
Elongation (m)				
Surface (m ²)	> 5000			
Indice de Morton	0.38 à 0.63			
Texture (variance)	homogène			
Orientation de l'elongation (°)				

Fig. 3.14: Fiche del diccionario sobre el objeto “Parcelle agricole”.

El conocimiento extraído del diccionario de objetos geográficos se utilizó para construir una ontología. Las ontologías se utilizan para capturar el conocimiento sobre algún dominio de interés, describen los conceptos del dominio y también las relaciones que mantienen entre esos conceptos. La formalización y normalización del conocimiento en la ontología se logra mediante un lenguaje basado en lógica de descripción que permite razonar sobre el modelo con el fin de comprobar la consistencia y deducir nuevas aserciones sobre el mismo que no están literalmente presentes pero que son inherentes a la semántica. En este caso, donde la clasificación de imágenes es

necesaria para caracterizar e identificar objetos y los métodos asociados para el análisis de imagen se basan en el uso de conocimiento de dominio, las ontologías es una decisión aceptable para tratar esta formalización y explotación del conocimiento de dominio.

Por lo tanto, una **ontología referente a objetos urbanos** [4], denominada en este trabajo como **OOU**, se ha desarrollado para ayudar a los expertos en la interpretación de las imágenes. OOU se basa en las tipologías definidas en plataformas urbanas que caracterizan ciudades occidentales. Se puede ver en la Fig. 3.15 la taxonomía de objetos urbanos en forma de grafo. Cabe destacar, que su estructura de tipo árbol fue una decisión de diseño de los autores porque inicialmente habían pensado utilizar un motor de inferencias que no admitía multiherencia.



Fig. 3.15: Taxonomía simplificada de la ontología de objetos urbanos OOU.

Objetos de la OOU

Los objetos primitivos no descomponibles se definen como objetos simples, mientras que las composiciones de objetos simples y/o compuestos se clasifican como objetos de agregación. Un ejemplo de esto se observa en la siguiente figura obtenida de [9] :

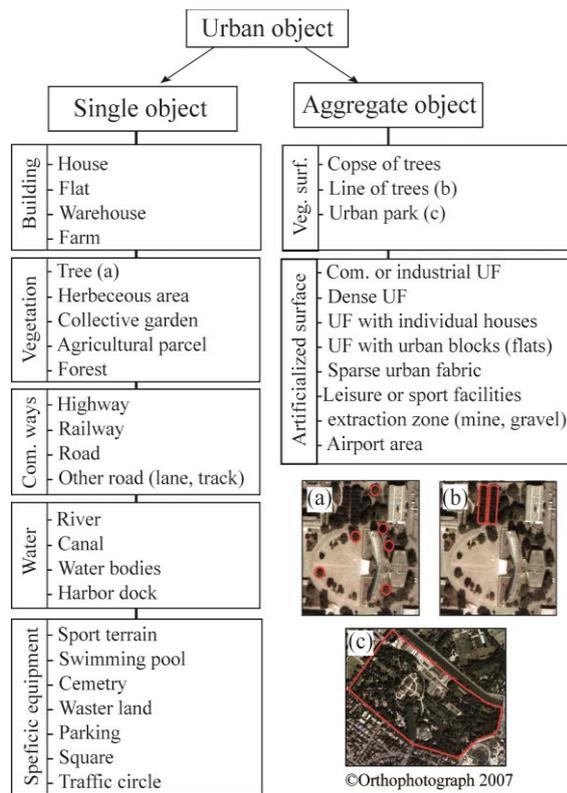
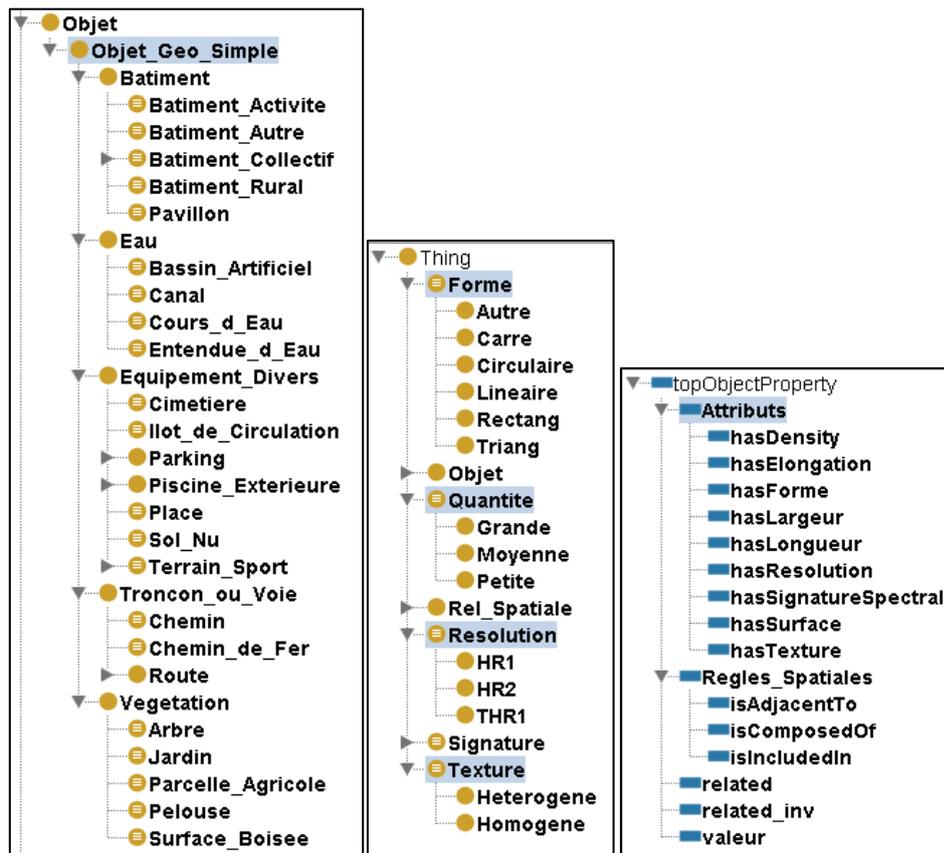


Fig. 3.16: Ejemplo de objetos simples y agregados de la OOU.

En el marco de esta tesina se modificó OOU agregando propiedades e individuos a los objetos de interés (utilizando el diccionario de objetos geográficos) y quitando los objetos y propiedades irrelevantes con el fin de que los objetos sean vinculados con la información cuantitativa expuesta anteriormente. El resultado de esta vinculación estará expresado mediante instancias en la ontología que identificarán las regiones de la segmentación más los atributos cuantitativos traducidos a cualitativos.

Dado que no estaba establecida/definida la relación de composición entre objetos, se decidió trabajar solamente con los objetos simples. Estos objetos están organizados mediante clases de manera taxonómica. Cada objeto tiene una descripción propia, que fue obtenida del diccionario, y especifica las características que debe cumplir un individuo para que sea inferido como el objeto en cuestión. Para poder definir estas características cualitativas se utilizan clases especiales sobre: los tamaños, las formas, las texturas y las resoluciones, y con el fin de relacionar los objetos geográficos con los valores cualitativos se especifican las propiedades de objetos para: densidad, elongación, forma, largo, ancho, resolución, superficie y textura. La siguiente figura muestra los objetos simples, las clases especiales y las propiedades de OOU a través de un editor de ontologías:



(a) Objetos simples. (b) Clases para caracterizar los objetos. (c) Propiedades de objetos.

Fig. 3.17: Vistas de clases y propiedades de objetos en Protégé

Un ejemplo de las características de un campo agrícola (parcelle agricole) mediante estas clases y propiedades se puede ver en la Fig. 3.18.

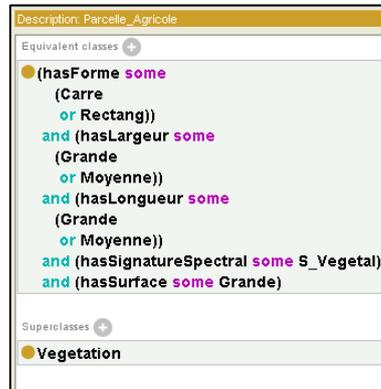


Fig. 3.18: Descripción del objeto "Parcelle_Agricole" en Protégé.

Modificaciones en la OOU

Se puede notar en el ejemplo que la descripción del objeto tiene información sobre la firma espectral. Este atributo, explicado en la representación de la información cuantitativa, fue una de las modificaciones de la OOU para poder vincularlo con los datos cualitativos. Teniendo en cuenta el diccionario de objetos geográficos se propuso lo siguiente:

- Una clase 'Signature' con las subclases: S_Eau, S_Mineral, S_Sol_Nu y S_Vegetal
- Un miembro para cada subclase respectivamente: _Eau, _Mineral, _Sol_Nu y _Vegetal
- Una propiedad funcional 'hasSignatureSpectral' que toma un objeto y devuelve algo de tipo 'Signature'.
- Modificar la descripción de cada objeto agregando la información espectral mediante las clases definidas. Por ejemplo para 'Parcelle_Agricole' se agregó: hasSignatureSpectral some²¹ S_vegetal.

²¹ Es equivalente a "la clase de los individuos que tienen al menos (some) una relación hasSignatureSpectral con los miembros de la clase S_Vegetal"

Por lo tanto la información cualitativa formalizada en la OOU que se utilizará es la siguiente:

Forma (Forme) que determina la forma del objeto y puede ser: cuadrada (Carre), rectangular (Rectang), circular (Circulaire), triangular (Triang), lineal (Lineaire) u otra (Autre). En este trabajo se tendrán en cuenta todas las formas excepto la triangular.

Resolución (Resolution) que es la resolución espacial del objeto y puede ser HR1, HR2 o THR1.

Superficie (hasSurface), **largo** (hasLongueur), **ancho** (hasLargeur), **elongación** (hasElongation) que tienen el mismo significado que en los atributos cuantitativos. Su valor puede ser 'Quantite'. Quantite es una clase definida en la ontología que describe el significado cualitativo y puede ser: grande (Grande), mediano (Moyenne) o pequeño (Petite).

Firma espectral (Signature) que indica la firma espectral del objeto y puede ser: S_Eau, S_Eau_Stagnante, S_Mineral, S_Pelouse, S_Sol_Nu o S_Vegetal.

Resumiendo, la siguiente tabla muestra los atributos cualitativos que serán de interés en este trabajo con sus respectivos rangos de valores:

Atributo	Rango
Forme	Autre, Carre, Circulaire, Lineaire o Rectang
Resolution	HR1, HR2 o THR1
Surface	Grande, Moyenne o Petite
Longueur	Grande, Moyenne o Petite
Largeur	Grande, Moyenne o Petite
Elongation	Grande, Moyenne o Petite
Signature	S_Eau, S_Mineral, S_Sol_Nu o S_Vegetal

Tabla 3.2: Rangos para cada atributo cualitativo.

Capítulo 4

Análisis de reglas

En el capítulo anterior se presentó en detalle los tipos de información con los que se trabajará: la información cuantitativa y la cualitativa. Un resumen de esto puede verse en la Tabla 4.1. En este capítulo, se abordará el problema del anclaje de símbolos mediante un análisis de reglas para poder vincular los dos tipos de información.

Cuantitativo	Cualitativo
Pos	Entity URI
Resolution	hasResolution
surface_(m2)	hasSurface
longueur_(m)	hasLongueur
largeur_(m)	hasLargeur
elongation_(m)	hasElongation
indiceMiller	hasForme
indiceMorton	
indiceGravelius	
signature_spectrale_B1_[0-255]	hasSignatureSpectral
signature_spectrale_B2_[0-255]	
signature_spectrale_B3_[0-255]	
signature_spectrale_B4_[0-255]	
signature_spectrale_IBS_[0-255]	
signature_spectrale_NDVI_[0-255]	

Tabla 4.1: Resumen de la información cuantitativa y cualitativa.

Reglas de decisión

Dado que la información sobre los objetos geográficos tiene una estructura jerárquica se pensó en definir un conjunto de reglas de decisión. Un conjunto de este estilo especifica la pertenencia a una clase basada en una secuencia jerárquica de decisiones. Generalmente, cada una de estas reglas toma la

forma de una cláusula de Horn²² donde la pertenencia a una clase es implicada por una conjunción de observaciones supeditadas:

```
IF condition1 AND condition2 AND ... AND conditionn  
THEN CLASS= classi
```

Donde *condition*_j en general está supeditada a la elección de *condition*_{j-1}.

En algunos casos la correspondencia entre cuantitativo y cualitativo es unívoca y en otros casos es necesario más de un atributo cuantitativo para vincular a uno cualitativo.

4.1 Reglas para los atributos espaciales

Resolución Para esta regla se tuvo en cuenta los posibles intervalos de resolución espacial: THR1 [0,5 a 5], HR1 [5 a 15] y HR2 [15 a 30].

```
if (x > 5.0) {  
    if (x > 15.0) resolution = "Res_HR2";  
    else resolution = "Res_HR1";  
}  
else if (x > 0.5) resolution = "Res_THR1";
```

Donde x representa el valor del atributo cuantitativo "Resolution".

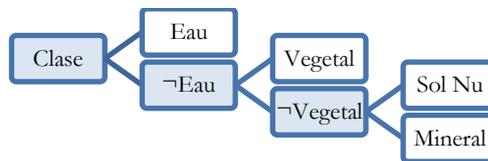
4.2 Reglas para los atributos radiométricos

Se determinó que el tipo de superficie de una región (agua, vegetación, etc.) está estrechamente ligada a los siguientes atributos cuantitativos: el valor medio espectral de los objetos en las cuatro bandas de la imagen (rojo, verde, azul e infrarrojo cercano), el valor medio del índice NDVI (índice normalizado diferencial de la vegetación), y el valor medio del IBS (Índice de brillantez del suelo).

²² http://en.wikipedia.org/wiki/Horn_clause

Las reglas expuestas son el resultado de una clasificación de árboles de decisión generados por un algoritmo C4.5²³ en [24] con algunas modificaciones teniendo en cuenta el estado de arte sobre firmas espectrales e índices expuesto en el capítulo 3. El autor de [24] explica que los ejemplos de aprendizaje se definieron a partir de regiones obtenidas mediante una segmentación previa de la imagen analizada y caracterizadas por un conjunto de atributos (el valor medio espectral de la imagen en las bandas rojo, verde, azul e infrarrojo cercano; el valor medio del NDVI, y el valor medio del IBS) para distinguir los objetos de la jerarquía de clases. Para crear los conjuntos de entrenamiento se interpretaron visualmente y etiquetaron de forma interactiva por un experto de dominio 50 objetos de cada clase (agua, vegetación, etc.).

Finalmente las reglas para los atributos radiométricos deciden primero por la clase “agua”, si no es agua deciden si es “vegetación” y así sucesivamente. Se puede ver esta disposición en el siguiente árbol seguido del conjunto de reglas adquiridas:



```

if (ndvi < 25.6 && ibs > 14.67) signature = "_Eau";
else {
  if (ndvi > 153.6) signature = "_Vegetal";
  else {
    if (b2 >= 15.65 && b4 > 59.25 && b1 < 57.86)
      signature = "_Sol_Nu";
    if (b2 >= 15.65 && b3 > 101.24)
      signature = "_Sol_Nu";
    else signature = "_Mineral";
  }
}
  
```

Se puede notar en las reglas como el valor del NDVI tiene un gran impacto en la decisión del tipo de superficie. Como se vio en las Fig. 3.6 y Fig. 3.8,

²³ <http://es.wikipedia.org/wiki/C4.5>

valores muy chicos determinan el agua y contrariamente valores muy grandes para la vegetación. A su vez valores medianos y altos del rojo y el infrarrojo cercano respectivamente, como bajos en la banda azul determinan el material del suelo.

4.3 Reglas para los atributos morfológicos

Los límites para determinar las categorías de los atributos superficie, largo y ancho fueron estimados del diccionario de objetos urbanos en base a un común denominador entre todos valores del mismo.

Superficie

```
if (x > 400.0){
    if (x > 1000.0) surface = "_Grande";
    else surface = "_Moyenne";
}
else surface = "_Petite";
```

Donde x representa el valor del atributo cuantitativo surface_(m2).

Largo

```
if (x > 30.0){
    if (x > 100.0) longueur = "_Grande";
    else longueur = "_Moyenne";
}
else longueur = "_Petite";
```

Donde x representa el valor del atributo cuantitativo longueur_(m).

Ancho

```
if (x > 30.0){
    if (x > 100.0) largeur = "_Grande";
    else largeur = "_Moyenne";
}
else largeur = "_Petite";
```

Donde x representa el valor del atributo cuantitativo largeur_(m).

Elongación

Para esta regla se consideró que si la elongación está determinada por el cociente entre la longitud más grande sobre la más pequeña, el resultado será siempre mayor que 1. Para los restantes límites consideramos el diccionario.

```
if (x > 2.0){  
    if (x > 3.0) elongation = "_Grande";  
    else elongation = "_Moyenne";  
}  
else if (x > 1.0) elongation = "_Petite";
```

Donde x representa el valor del atributo cuantitativo elongation_(m).

Forma

Representa la forma de la región analizada, la misma puede ser cuadrada, rectangular, circular, lineal u otra en caso de no ser cualquiera de los precedentes. Este atributo no es calculado mediante Mustic pero sí los índices de forma definidos en el capítulo 3.

Se puede ver en la siguiente tabla el resultado de los índices de forma para rectángulos de diferentes tamaños, partiendo de un cuasi cuadrado pasando por un rectángulo y finalizando en una forma casi lineal:

Rectángulo	Miller	Morton	Gravelius
L=10 y l=1 	0.25	0.12	1.96
L=10 y l=3 	0.55	0.35	1.33
L=10 y l=5 	0.69	0.51	1.20
L=10 y l=7 	0.76	0.59	1.14
L=10 y l=8 	0.77	0.62	1.135
L=10 y l=9 	0.78	0.63	1.1299

Estos valores dan una idea de cómo armar los intervalos para distinguir una forma de la otra. Con esta información más el análisis de la sección 3.1.3 se determinaron los siguientes intervalos no excluyentes para clasificar una forma geométrica:

Forma	Índice de Miller	Índice de Morton	Índice de Gravelius
Línea	[0 – 0.345)	[0 - 0,255)	(2.5 – 1000]
Rectángulo	[0.345 - 0,78)	[0,255 - 0,63)	(1,16 – 2.5]
Cuadrado	[0,735 - 0,9)	[0,57 - 0,83)	(1,05 - 1,2]
Círculo	[0,84 - 1]	[0,73 - 1]	(1,085 - 1]

Tabla 2: Cada fila en la tabla indica los posibles valores de los índices estudiados para cada una de las formas geométricas.

Por último, las reglas obtenidas son las siguientes:

```

if (iMiller >= 0.0 && iMiller < 0.345 && iMorton >= 0.0
&& iMorton < 0.255 && iGravelius > 2.5 && iGravelius <=
1000.0) shape="Forme_Lineaire";
else
if (iMiller >= 0.345 && iMiller < 0.78 && iMorton >=
0.255 && iMorton < 0.63 && iGravelius > 1.16 &&
iGravelius <= 2.5) shape="Forme_Rectang";
else
if (iMiller >= 0.735 && iMiller < 0.9 && iMorton >= 0.57
&& iMorton < 0.83 && iGravelius > 1.05 && iGravelius <=
1.2) shape="Forme_Carre";
else
if (iMiller >= 0.84 && iMiller <=1.0 && iMorton >= 0.73
&& iMorton <= 1.0 && iGravelius >=1.0 && iGravelius <
1.085) shape="Forme_Ciculaire";
else shape="Forme_Autre";

```

4.4 Algunas Conclusiones

En este capítulo se realiza un diseño de reglas basadas en lógica clásica porque se quería encontrar una primera aproximación de factibilidad para resolver el problema del anclaje. Sin embargo, como la lógica clásica es demasiado estricta y al tratarse de atributos cuyas fronteras no están naturalmente

separadas (por ejemplo: se podría pensar que en la regla de superficie una casa que tiene una superficie 400.1 es menos probable que sea “_Petite” a que sea “_Moyenne”) se podría enriquecer con otros formalismos como la lógica difusa²⁴ y de esta manera obtener grados de pertenencia más acertados. Por otro lado, desde el punto de vista de la ontología en [4] se concluye que: cualquier esquema de representación destinado a modelar las acciones y procesos del mundo real debe ser capaz de hacer frente a los efectos de los fenómenos de incertidumbre. La necesidad de representar los casos en que un objeto puede ser un miembro de varias clases, al mismo tiempo, introduce una incertidumbre. Para solucionar esto, los autores proponen un enfoque basado en ontologías probabilísticas, pero la incapacidad del lenguaje de ontologías web OWL para representar y razonar sobre la incertidumbre representa una restricción. Se propone poner en estudio algunas extensiones que permitan el razonamiento probabilístico en OWL como por ejemplo a PR-OWL²⁵ y a PRONTO²⁶.

²⁴ http://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%B3gica_difusa

²⁵ PRONTO: An extension of Pellet that enables probabilistic knowledge representation and reasoning in OWL ontologies <http://pellet.owldl.com/pronto>

²⁶ PR-OWL: An extension to the OWL language to represent probabilistic ontologies <http://www.pr-owl.org/>

Capítulo 5

Implementación

En las secciones anteriores se comentó que la información cuantitativa entregada por la plataforma de procesamiento de imágenes podía ser exportada a un archivo de texto. A su vez, se explicó que una ontología representaba la información cualitativa de los objetos urbanos. Consecuentemente se encontró una manera de relacionar los dos tipos de información mediante reglas de decisión. En este capítulo, se presentará dos aspectos fundamentales para el diseño y la implementación de un prototipo: el formato y organización de estos archivos como a su vez el lenguaje para manipular ontologías web. Por último se presentará el programa que permitirá automatizar el anclaje entre los valores cuantitativos y cualitativos. En el capítulo siguiente se explicará la clasificación de la ontología mediante un razonador para una posterior experimentación.

5.1 Archivos ARFF

Se precisa poder analizar y extraer la información del archivo que entrega la plataforma para luego poder manipularla. Para lograr esto, es necesario conocer de qué manera está organizada y estructurada dicha información. Los archivos que exporta Mustic son del tipo ARFF.

Un ARFF (Attribute-Relation File Format) es un archivo de texto ASCII que describe una lista de instancias que comparten un conjunto de atributos [25]. Se divide en dos secciones. La primera sección es la información del encabezado (**Header**), seguido de la información de datos (**Data**).

Sección del encabezado. El encabezado del archivo ARFF contiene el nombre de la relación, una lista de atributos (las columnas de los datos) y sus tipos. Si se quiere incluir comentarios las líneas deben comenzar con un %.

1. **@relation <relation-name>**

Todo archivo ARFF debe comenzar con esta declaración en su primera línea. **<relation-name>** es una cadena de caracteres y si contiene espacios se debe escribir entre comillas. Mustic completa esta declaración con la ruta del archivo de la imagen.

2. **@attribute <attribute-name> <datatype>**

Se agrega esta línea por cada atributo (o columna) que se vaya a incluir en el conjunto de datos, indicando el nombre y el tipo de dato. De esta manera Mustic indica los atributos que puede calcular para cada región.

Con **<attribute-name>** se indica el nombre del atributo, que debe comenzar por una letra y si contiene espacios tendrá que estar entrecomillado.

Con **<datatype>** se indica el tipo de dato para este atributo (o columna) que puede ser:

- **numeric** (numérico)
- **string** (texto)
- **date [<date-format>]** (fecha). En **<date-format>** se especifica el formato de la fecha del tipo "yyyy-MM-dd'T'HH:mm:ss".
- **<nominal-specification>**. Tipos de datos definidos por el usuario y que pueden tomar una serie de valores que se indiquen entre llaves.

Sección de datos @data. En esta sección se incluyen los datos propiamente dichos. Cada columna es separada por comas y todas las filas deben tener el mismo número de columnas, número que coincide con la cantidad de declaraciones **@attribute** de la sección anterior.

Si no se dispone de algún dato, se coloca un signo de interrogación (?) en su lugar. El separador de decimales tiene que ser obligatoriamente el punto y las cadenas de tipo string tienen que estar entre comillas simples. Mustic

completa los datos con el resultado del cálculo para cada atributo. En caso de que el resultado sea indeterminado completa el dato con “NaN” (Not a Number) o en cuyo caso con “Infinity” cuando el cálculo tienda a infinito.

En el siguiente cuadro de texto se puede observar un extracto de un archivo arff resultado de una segmentación mediante el algoritmo Region Merging de la imagen de la Fig. 3.2(a) denominada `extrait2_QB2002_MS_crop.tif`:

```

@RELATION
/media/KeyBeuvron/beuvron/recherche/BFO/mustic/musticData/extrait
multi-bande/extrait2_QB2002_MS_crop

%% Dimension 198,110
%% Resolution 1.0 - -1.0

%% Segmentation RegionMerging
%% Parameters:
%% nivCouleur = 0.5
%% valEchelle = 50.0
%% preSegmentation = false
%% arretAutoSegmentation = false
%% nivEncombrement = 0.5

%% Total number of regions: 18
@ATTRIBUTE Pos INTEGER
@ATTRIBUTE surface_(m2) NUMERIC
@ATTRIBUTE mainDirection NUMERIC
@ATTRIBUTE longueur_(m) NUMERIC
@ATTRIBUTE largeur_(m) NUMERIC
@ATTRIBUTE Densite NUMERIC
@ATTRIBUTE elongation_(m) NUMERIC
@ATTRIBUTE perimetre NUMERIC
@ATTRIBUTE diametre_(m) NUMERIC
@ATTRIBUTE indiceMiller NUMERIC
@ATTRIBUTE indiceMorton NUMERIC
@ATTRIBUTE indiceGravelius NUMERIC
@ATTRIBUTE indiceSolidite NUMERIC
@ATTRIBUTE densite NUMERIC
@ATTRIBUTE Longueur_BB NUMERIC
@ATTRIBUTE Largeur_BB NUMERIC
@ATTRIBUTE Elongation_BB NUMERIC
@ATTRIBUTE ELONGATION_1 NUMERIC
@ATTRIBUTE ELONGATION_2 NUMERIC
@ATTRIBUTE MoyX NUMERIC
@ATTRIBUTE MoyY NUMERIC
@ATTRIBUTE VarX NUMERIC
@ATTRIBUTE VarY NUMERIC
@ATTRIBUTE CovXY NUMERIC
@ATTRIBUTE EIG1 NUMERIC
@ATTRIBUTE EIG2 NUMERIC
@ATTRIBUTE moyBand0 NUMERIC
@ATTRIBUTE stdDevBand0 NUMERIC
@ATTRIBUTE moyBand1 NUMERIC
@ATTRIBUTE stdDevBand1 NUMERIC
@ATTRIBUTE moyBand2 NUMERIC
@ATTRIBUTE stdDevBand2 NUMERIC
@ATTRIBUTE moyBand3 NUMERIC
@ATTRIBUTE stdDevBand3 NUMERIC
@ATTRIBUTE signature_spectrale_B1_[0-255] NUMERIC
@ATTRIBUTE signature_spectrale_B2_[0-255] NUMERIC

```

```

@ATTRIBUTE signature_spectrale_B3_[0-255] NUMERIC
@ATTRIBUTE signature_spectrale_B4_[0-255] NUMERIC
@ATTRIBUTE signature_spectrale_IBS_[0-255] NUMERIC
@ATTRIBUTE signature_spectrale_NDVI_[0-255] NUMERIC
@ATTRIBUTE neighbors_string

@DATA
1,-3192.0, 20.679094020716207, -97.49946860679908, 32.7386399701609,
2.0841749542939616, 2.978116033398559, 256.52315454532317,
100.65783625729296, -0.6095644106473328, -0.42753187936810183,
1.280826187758927, 1.0045633359559403, 2.0841749542939616, 95.0, -
60.0, 1.5833333333333333, 2.978116033398559, 3.045726817042606,
20.865288220551378, 75.58803258145363, 213.61092541818212,
468.01605978841354, 111.97927757206298, 510.2828163880023,
171.34416881859335, 0.10211724415430326, 0.00455625944921745,
0.18491535714736843, 0.010014988101637704, 0.14026832740598713,
0.012979638526861844, 0.19061602891317528, 0.0279337136696289,
214.8408521303296, 74.08803258145323, 54.09837092731859,
79.27944862155421, 78.68748696431315, 189.0134144160948, '2 4 '
2,-452.0, 34.70185969035638, -108.59162921462111, 4.16238344768421,
0.5264278582123726, 26.08880959178264, 385.68733103614204,
122.3315167894194, -0.038183659785413784, -0.04880404911752675,
5.117539742875547, 0.12606331055640776, 0.5264278582123726, 103.0, -
75.0, 1.3733333333333333, 26.08880959178264, 34.50222385902102,
40.703539823008846, 60.703539823008846, 522.920960920981,
1028.3324653457594, 672.4452972041639, 1493.9879557775052,
57.26547048923521, 0.09470906044330613, 0.032131378389252604,
0.16321508438616944, 0.0600491429159185, 0.09519326949419263,
0.05333346081913955, 0.3063800913626025, 0.08371627196214057,
184.72787610619463, 93.54646017699118, 157.64823008849547,
123.62389380530955, 149.7625468202544, 48.70852677401128, '1 3 4 5 6 '

```

5.2 Lenguaje de ontologías

En [26] la autora sostiene que “las ontologías requieren de un lenguaje lógico y formal para ser expresadas. En la inteligencia artificial se han desarrollado numerosos lenguajes para este fin, algunos basados en la lógica de predicados, como KIF y Cycl que ofrecen poderosas primitivas de modelado, y otros basados en frames (taxonomías de clases y atributos) que tienen un mayor poder expresivo pero menor poder de inferencia; e incluso existen lenguajes orientados al razonamiento como Description Logic y Classic. Estos lenguajes han servido para desarrollar otros lenguajes aplicables a la Web. En un lenguaje de ontologías se pretenderá un alto grado de expresividad y uso”. Dentro de los principales lenguajes de ontologías se destaca OWL.

5.2.1 OWL²⁷ o Lenguaje de Ontologías para la Web

Se define como “un lenguaje de etiquetado semántico para publicar y compartir ontologías en la Web. Se trata de una recomendación del W3C, y puede usarse para representar ontologías de forma explícita, es decir, permite definir el significado de términos en vocabularios y las relaciones entre estos términos. En realidad, OWL es una extensión del lenguaje RDF²⁸ y emplea las tripletas de RDF, aunque es un lenguaje con un poder expresivo mayor. OWL se trata de un lenguaje diseñado para usarse cuando la información contenida en los documentos necesita ser procesada por programas o aplicaciones, en oposición a situaciones donde el contenido solamente necesita ser presentado a los seres humanos. Este lenguaje surge como una revisión al lenguaje DAML-OIL²⁹ y es mucho más potente que éste. Al igual que OIL, OWL se estructura en capas que difieren en la complejidad y puede ser adaptado a las necesidades de cada usuario, al nivel de expresividad que se precise y a los distintos tipos de aplicaciones existentes (motores de búsqueda, agentes, etc.)” [26].

El dominio de la OOU fue implementado con OWL 2.0 [27] a partir del diccionario de objetos geográficos diseñado específicamente para la interpretación de imágenes por los expertos geógrafos. Se ha elegido como lenguaje a OWL porque se estaba interesado en crear un modelo lógico y consistente, y estas características son inherentes a OWL permitiendo de esta manera la posibilidad de utilizar posteriormente razonadores para comprobar la consistencia e inferir nuevas aserciones.

La interfaz de programación de aplicaciones para OWL escrita en Java, **OWL-API**³⁰, será la utilizada para modificar la OOU en la implementación.

²⁷ Sus siglas en inglés: Web Ontology Language

²⁸ <http://www.hipertexto.info/documentos/rdf.htm>

²⁹ <http://www.w3.org/TR/daml+oil-reference>

³⁰ <http://owlapi.sourceforge.net/>

Esta modificación consiste en la incorporación de individuos y axiomas. La cantidad de individuos estará identificada por el número de regiones segmentadas y los axiomas por la cantidad de atributos cualitativos que se traduzcan.

5.2.2 Componentes de ontologías OWL

Dado que modificaremos la OOU mediante OWL a través de su implementación en Java OWL-API, se presentará los componentes de una ontología en OWL:

Individuos. Los individuos representan objetos del dominio de discurso. También se los considera como instancias en el paradigma orientado a objetos.

Propiedades. Las propiedades representan relaciones binarias entre dos individuos. También son conocidos como roles en lógicas descriptivas, y relaciones en UML y otros conceptos orientados a objetos. Existen dos tipos principales de propiedades: propiedades de objetos y propiedades de tipo de datos.

Propiedades de objetos: se trata de las relaciones entre dos individuos.

Propiedades de tipos de datos: describen las relaciones entre un individuo y valores de datos de un tipo determinado (integer, float, etc.).

Clases. Se interpretan como ‘conjuntos’ que contienen individuos. Se las describe utilizando descripciones formales que establecen precisamente los requerimientos para ser miembro de la clase.

5.3 Prototipo

Para la experimentación se desarrolló un prototipo creado en Java mediante el entorno de desarrollo integrado Eclipse Juno (4.2). En la Fig. 5.2 se puede ver

de manera resumida que el prototipo deberá interactuar con el archivo .arff obtenido de Mustic y luego con el archivo .owl de la ontología OOU con el fin de abordar el problema del anclaje.

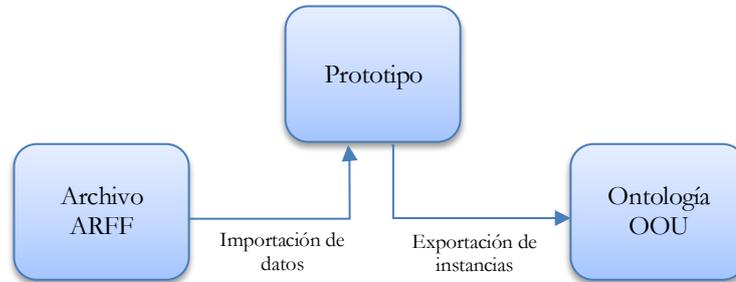


Fig. 5.1: Interacción del prototipo con la información cuantitativa (ARFF) y cualitativa (ontología)

Por lo tanto este prototipo se divide en tres componentes fundamentales:

- La importación de la información cuantitativa del archivo ARFF que genera Mustic.
- La traducción de la información cuantitativa a la información cualitativa mediante las reglas obtenidas.
- La exportación de la información cualitativa, resultado de la traducción, a la OOU mediante OWL.

Clases del prototipo

La Fig. 5.2 muestra cómo se reparten en clases las tareas de los componentes mediante un diagrama.

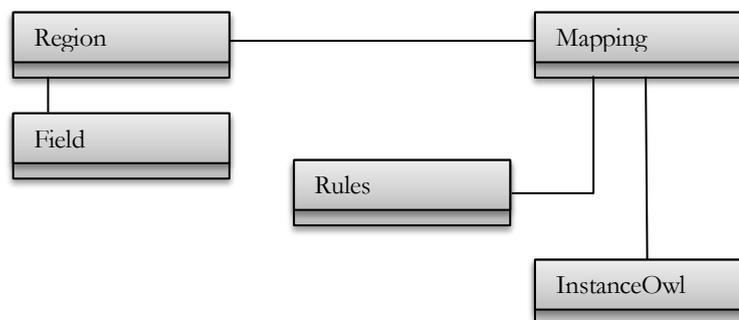


Fig. 5.2: Diagrama de clases

Mapping - Ésta es la clase principal. Se encarga de escanear el archivo arff de entrada y extraer la información para almacenarla en una estructura de datos. Para detectar la información relevante se utiliza la clase *StrinTokenizer* la cual permite dividir un string en substrings o tokens, en base a otro string delimitador. El hecho de que el archivo arff tenga la estructura que se comentó en 5.1 posibilita de manera sencilla encontrar los delimitadores. La estructura de datos definida es una lista enlazada de objetos de tipo “Region”. Una vez que se obtiene la lista, esta clase se encarga de recorrerla y para cada atributo de interés (ver Tabla 3.1) aplica las reglas mediante la clase “Rules” para luego almacenar los resultados en una lista de regiones. Por último, invoca a la clase “InstanceOWL” para que estos resultados sean exportados a la ontología OOU.

Region - Encapsula la información de cada región segmentada. Los atributos cuantitativos se representan mediante una lista enlazada de objetos de tipo “Field” con excepción del atributo “Pos” que se representa como un tipo string.

Field - Representa el nombre (string) y el tipo (object) de un atributo cuantitativo. Como los atributos pueden ser de diferentes tipos se consideró un tipo general.

Rules - Cada una de las reglas definidas en el capítulo 4 se modela en esta clase mediante métodos. Los valores retornados son del tipo string y corresponden a los atributos de la Tabla 3.2 del capítulo 3.

InstanceOWL - Contiene los métodos necesarios para manipular la ontología por medio de la API de OWL. En la API una ontología (OWLOntology) es una interfaz, que modela un conjunto de axiomas (OWLAxioms) lógicos y no lógicos, con un nombre (un IRI), una ubicación física opcional y métodos convenientes para recuperar dichos axiomas. Las OWLOntology son creadas por OWLOntologyManager, todas las demás interfaces se construyen utilizando OWLDataFactory. De esta manera lo

primero que realiza uno de los métodos de esta clase es crear y cargar la ontología generada en [4] con las modificaciones de la sección 3.2. Luego recorre la lista obtenida por “Mapping” y para cada objeto de tipo región instancia un individuo a la clase de más alto nivel Thing, esto quiere decir que crea un OWLIndividual denominado #RegionX y un OWLClassAssertionAxiom entre el individuo y la clase Thing. A continuación para cada objeto de tipo Field de la región analizada agrega una propiedad de objeto al individuo asociado mediante OWLObjectProperty y OWLObjectPropertyAssertionAxiom. La correspondencia entre los objetos concretos (las regiones) y abstractos (Object en la ontología) es uno a uno, sólo se crea una instancia de cada región obtenida en la ontología. Por último se guarda las modificaciones en la ontología OOU con extensión owl.

Se puede ver en la Fig. 5.3 el resultado de instanciar a la ontología la región “Region1” del archivo arff de la sección 5.1 en formato OWL/XML [28]. La etiqueta “ClassAssertion” indica que la región denominada Region1 es subclase de Thing, la clase de más alto nivel de la ontología. Cada “ObjectPropertyAssertion” relaciona a Region1 con el atributo cualitativo correspondiente mediante la propiedad especificada en “ObjectProperty” (ver Tabla 4.1 del cap. 4).

```

- <ClassAssertion>
  <Class abbreviatedIRI="owl:Thing"/>
  <NamedIndividual IRI="#Region1"/>
</ClassAssertion>
- <ObjectPropertyAssertion>
  <ObjectProperty IRI="#hasElongation"/>
  <NamedIndividual IRI="#Region1"/>
  <NamedIndividual IRI="#_Grande"/>
</ObjectPropertyAssertion>
- <ObjectPropertyAssertion>
  <ObjectProperty IRI="#hasForme"/>
  <NamedIndividual IRI="#Region1"/>
  <NamedIndividual IRI="#Forme_Autre"/>
</ObjectPropertyAssertion>
- <ObjectPropertyAssertion>
  <ObjectProperty IRI="#hasLargeur"/>
  <NamedIndividual IRI="#Region1"/>
  <NamedIndividual IRI="#_Petite"/>
</ObjectPropertyAssertion>
- <ObjectPropertyAssertion>
  <ObjectProperty IRI="#hasLongueur"/>
  <NamedIndividual IRI="#Region1"/>
  <NamedIndividual IRI="#_Moyenne"/>
</ObjectPropertyAssertion>
- <ObjectPropertyAssertion>
  <ObjectProperty IRI="#hasResolution"/>
  <NamedIndividual IRI="#Region1"/>
  <NamedIndividual IRI="#Res_THR1"/>
</ObjectPropertyAssertion>
- <ObjectPropertyAssertion>
  <ObjectProperty IRI="#hasSignatureSpectral"/>
  <NamedIndividual IRI="#Region1"/>
  <NamedIndividual IRI="#_Sol_Nu"/>
</ObjectPropertyAssertion>
- <ObjectPropertyAssertion>
  <ObjectProperty IRI="#hasSurface"/>
  <NamedIndividual IRI="#Region1"/>
  <NamedIndividual IRI="#_Moyenne"/>
</ObjectPropertyAssertion>

```

Fig. 5.3: Porción de la OOU con la instancia Region1 en formato OWL/XML.

Una vez instanciados los individuos solo queda pendiente la clasificación de las mismas. Esta tarea es independiente del prototipo y su implementación. En el próximo capítulo se brindará más información al respecto.

Capítulo 6

Experimentación

6.1 Clasificación semiautomática

Una vez que el modelo conceptual es expresado en un lenguaje apropiado queda pendiente la interpretación de imágenes mediante un razonador (Fig. 6.1). Un razonador proporciona los mecanismos de razonamiento sobre la ontología, útiles para el reconocimiento de objetos urbanos mediante la explotación de mecanismos de inferencia permitidos por el lenguaje [29]. Dado que la descripción de la ontología se hizo a nivel conceptual, la interpretación de imágenes implicará individuos. Estos individuos son los que se agregan a la ontología a través del prototipo y serán los que se clasificarán, según sus características mediante un razonador externo al prototipo, para finalmente inferir a qué objeto geográfico pertenecen.

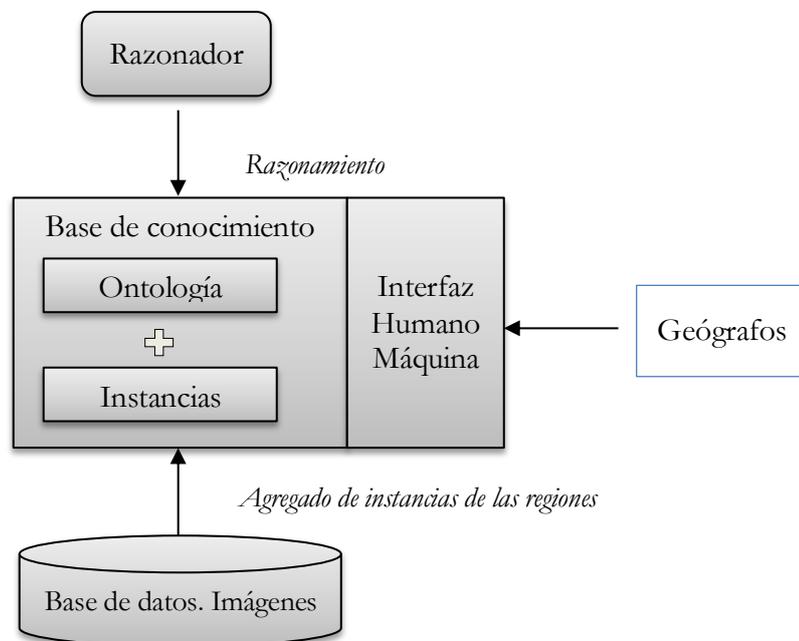


Fig. 6.1: El razonador como medio para la clasificación de imágenes

Razonamiento mediante Protégé

La ontología OOU fue modelada mediante **Protégé 4**³¹. Protégé es un editor ontologías de código abierto y un marco de trabajo basado en conocimiento, escrito en Java. Implementa un amplio conjunto de estructuras y acciones para el modelado de conocimiento que soportan la creación, visualización y manipulación de ontologías en diversos formatos de representación. Protégé incluye razonadores integrados para derivar consecuencias lógicas y comprobar la consistencia. Uno de los principales servicios ofrecidos por un razonador es probar si una clase es una subclase de otra clase. Mediante la realización de estas pruebas en las clases de una ontología, es posible para un razonador calcular la jerarquía de clases inferida de la misma. Otro de los servicios que permiten los razonadores es la comprobación de la consistencia. Basándose en la descripción (condiciones) de una clase el razonador puede comprobar si es posible para la clase tener algunas instancias. Actualmente Protégé dispone de los siguientes razonadores FaCT++, HermiT y Pellet³² los cuales tienen las mismas funcionalidades para las necesidades de este trabajo, aunque sí se determinó que HermiT es más rápido que los demás al momento de inferir.

La clasificación de los individuos de la OOU se realizará con los razonadores de Protégé mediante su interfaz gráfica. Se dice que esta clasificación es semiautomática debido a que si el resultado de la inferencia no aporta información significativa, será necesaria la interacción humana para determinar el objeto urbano que identifica al individuo en cuestión (representación en la Fig. 6.1 por “Geógrafos”). La Fig. 6.2 muestra una vista de Protégé con la ontología OOU y las instancias de las regiones agregadas. En particular está seleccionada la Region1 y a la derecha se puede ver las propiedades de objeto asociadas.

³¹ Versión 4. <http://protege.stanford.edu/>

³² <http://www.cs.man.ac.uk/~sattler/reasoners.html>

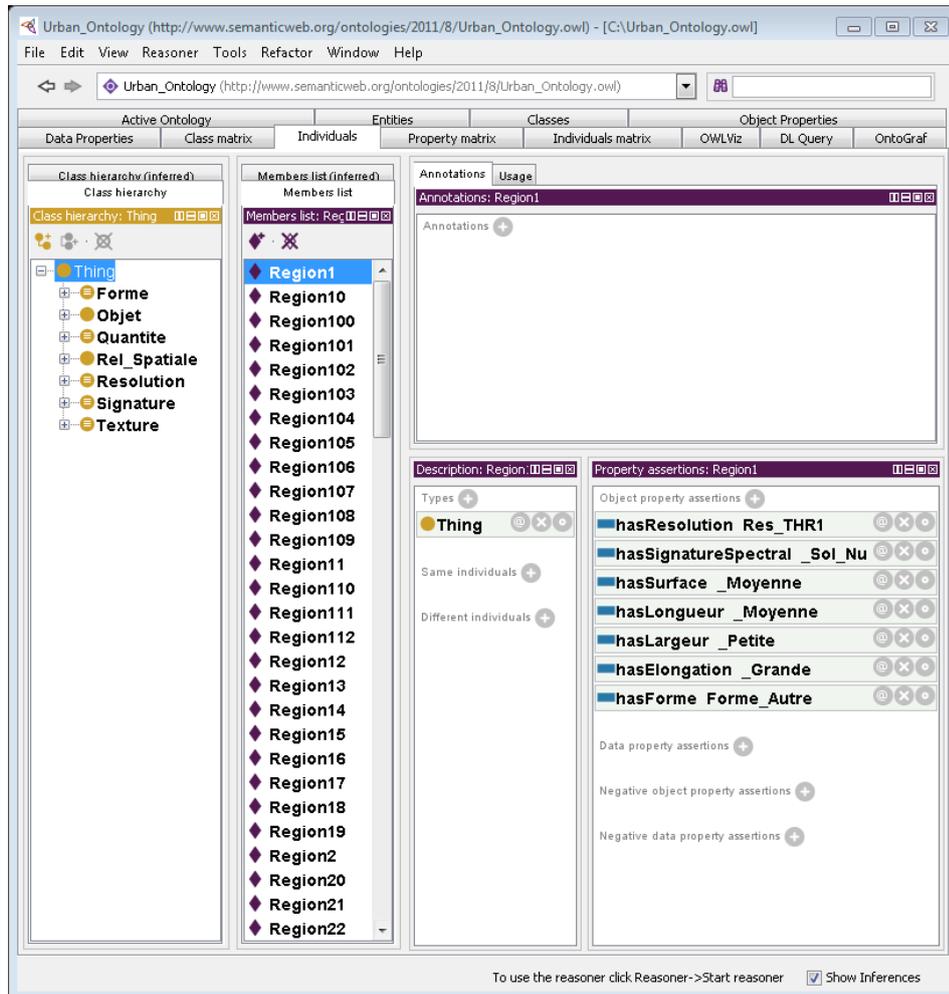


Fig. 6.2: Ontología con el agregado de la instancias. Vista a través de Protégé.

En la Fig. 6.3 (resaltado en amarillo) el resultado de aplicar la clasificación mediante el razonador de Protégé. Se puede ver en particular las inferencias de la Region1.

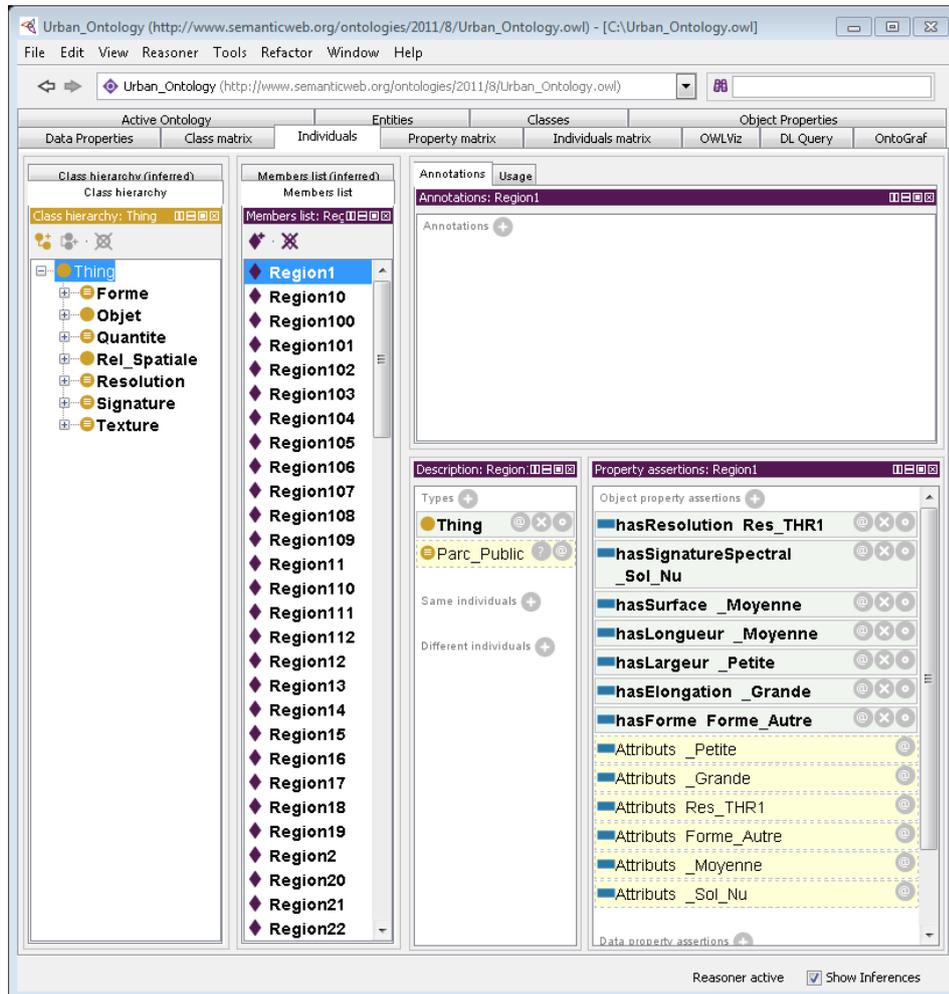


Fig. 6.3: Clasificación mediante Protégé. Las inferencias para “Region1” están resaltadas en amarillo.

Arquitectura completa

Por último en la Fig. 6.4 se presenta la idea general de la propuesta de este trabajo. A partir de un archivo .arff con la información cuantitativa de la imagen segmentada por Mustic, el prototipo importa los datos de interés y los traduce mediante reglas expertas a valores cualitativos. Luego exporta estos valores a la ontología de objetos urbanos OOU en forma de instancias. Finalmente fuera de la implementación, se procede a la clasificación de las instancias a través del editor Protégé y un razonador incorporado.

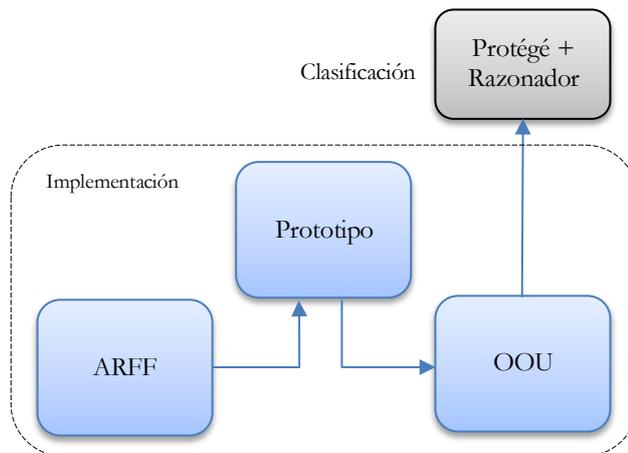


Fig. 6.4: Gráfico de la arquitectura completa: implementación + clasificación.

6.2 Casos de estudio

Para testear la OOU se presenta dos casos de estudio. Para cada ejemplo el objetivo es clasificar e identificar los objetos extraídos de la imagen y observar si los resultados corresponden a la interpretación humana.

En los dos casos la clasificación ha sido realizada mediante el razonador Hermit 1.3.7 de Protégé 4.1 dado que era el más rápido entre los disponibles en obtener las inferencias. El área de las imágenes examinadas está situada en la zona urbana de Estrasburgo (Francia). Esta área tiene una extensión de 42 km², es representativa de las ciudades occidentales y se caracteriza por varios objetos diferentes con una amplia gama de valores de reflexión espectral.

6.2.1 Primer Caso

El extracto de una imagen de Estrasburgo es presentado en la Fig. 6.5 con su correspondiente segmentación mediante Mustic en la Fig. 6.6. Esta imagen se caracteriza por tener campos agrícolas de gran tamaño.

© DigitalGlobe - 2008



Fig. 6.5: Imagen de campos fuera de la zona de Estrasburgo

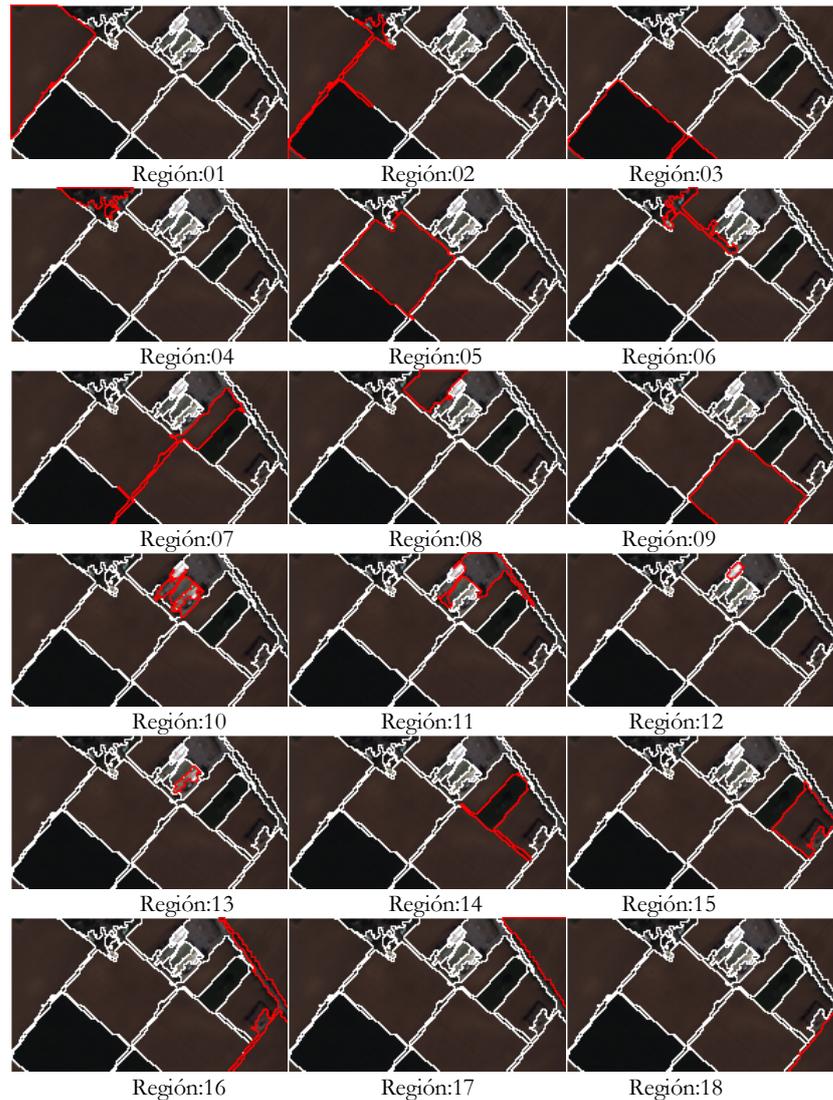


Fig. 6.6: La segmentación de la Fig. 6.2 mediante Mustic

Información sobre la imagen:

- Quickbird (©DigitalGlobe)
- Tipo de archivo: Tagged Image File (TIF)
- Multibanda: Blue, Green, Red, Infrared.
- Dimensión: 198,110
- Resolución: 1.0 - -1.0 (THR1 para todas las regiones)

Segmentación:

RegionMerging

Parámetros:

- nivCouleur = 0.5
- valEchelle = 50.0
- preSegmentation = false
- arretAutoSegmentation = false
- nivEncombremet = 0.5

Número total de regiones: 18

Plataforma: Mustic v3.

La Tabla 6.1 representa la información de interés del archivo arff. Cada fila en la tabla constituye una región segmentada con su información cuantitativa.

Región	Sup.	Largo	Ancho	Elong.	Perim.	Müller	Morton	Gravelius	SS_B1	SS_B2	SS_B3	SS_B4	SS_IBS	SS_NDVI
1	3192,00	97,50	32,74	2,98	256,52	0,61	0,43	1,28	214,84	74,09	54,10	79,28	78,69	189,01
2	452,00	108,59	4,16	26,09	385,69	0,04	0,05	5,12	184,73	93,55	157,65	123,62	149,76	48,71
3	3206,00	102,95	31,14	3,31	289,25	0,48	0,39	1,44	159,50	198,74	93,54	83,69	94,44	154,88
4	494,00	55,51	8,90	6,24	163,95	0,23	0,20	2,08	184,02	153,02	140,81	133,29	145,78	154,88
5	3118,00	63,45	49,14	1,29	247,13	0,64	0,62	1,25	212,33	71,67	40,49	89,24	77,04	207,57
6	419,00	53,07	7,90	6,72	223,19	0,11	0,19	3,08	178,92	106,87	143,15	130,37	147,04	65,17
7	877,00	129,61	6,77	19,15	320,83	0,11	0,07	3,06	209,51	80,28	107,93	113,00	122,74	154,88
8	745,00	44,25	16,84	2,63	125,16	0,60	0,48	1,29	211,43	82,30	83,44	91,80	100,71	154,88
9	3021,00	74,65	40,47	1,84	216,18	0,81	0,69	1,11	213,20	70,31	38,13	80,34	71,01	210,59
10	402,00	24,18	16,63	1,45	132,78	0,29	0,88	1,87	77,19	137,81	99,35	125,12	123,85	98,11
11	785,00	38,95	20,16	1,93	239,89	0,17	0,66	2,42	93,60	142,89	95,36	101,92	104,83	94,20
12	74,00	13,34	5,55	2,41	34,97	0,76	0,53	1,15	116,38	128,97	122,53	116,39	130,26	96,23
13	119,00	22,87	5,20	4,40	63,93	0,37	0,29	1,65	120,64	121,55	132,90	132,92	140,57	77,67
14	757,00	41,02	18,45	2,22	204,37	0,23	0,57	2,10	172,15	189,20	129,36	111,34	124,84	154,88
15	1071,00	41,03	26,10	1,57	160,48	0,52	0,81	1,38	203,96	71,84	121,42	80,44	117,02	154,88
16	571,00	57,92	9,86	5,87	313,81	0,07	0,22	3,70	167,51	106,03	132,94	128,37	140,07	88,85
17	1471,00	68,01	21,63	3,14	187,03	0,53	0,40	1,38	212,42	70,83	78,06	69,80	88,05	161,58
18	1006,00	47,22	21,30	2,22	143,22	0,62	0,57	1,27	207,74	57,28	143,92	55,47	121,26	154,88

Tabla 6.1: Valores cuantitativos por región, obtenidos del archivo arff por la plataforma de análisis de imágenes.

La comparación entre los resultados de la clasificación por el razonador de Protégé con la realizada por un experto en el dominio se puede observar en la Tabla 6.2. Las coincidencias de ambas clasificaciones están resaltadas en celeste.

Región	Firma Espectral	Forma	Superficie	Largo	Ancho	Elongación	Inferencia mediante el razonador de Protégé	Clasificación del experto
1	Vegetación	Rectángulo	Grande	Mediano	Mediano	Mediano	Jardín/Parcela Agrícola	Parcela Agrícola
2	Suelo	Línea	Mediano	Grande	Pequeño	Grande	Camino/Parque Público	Camino
3	Vegetación	Rectángulo	Grande	Grande	Mediano	Grande	Jardín/Parcela Agrícola	Parcela Agrícola
4	Vegetación	Otro	Mediano	Grande	Pequeño	Grande	Conj. de Árboles/Parque Público	Conj. de Árboles
5	Vegetación	Rectángulo	Grande	Mediano	Mediano	Pequeño	Parcela Agrícola	Parcela Agrícola
6	Suelo	Línea	Mediano	Mediano	Pequeño	Grande	Camino/Parque Público	Camino
7	Vegetación	Línea	Mediano	Grande	Pequeño	Grande	Árboles Alineados/Parque Público	Otro
8	Vegetación	Rectángulo	Mediano	Mediano	Pequeño	Mediano	Conj. de Árboles/Parque Público	Parcela Agrícola

9	Vegetación	Cuadrado	Grande	MedianoMediano	Pequeño	Jardín/ Parcela Agrícola	Parcela Agrícola
10	Mineral	Otro	Mediano	PequeñoPequeño	Pequeño	Parque Público/Suelo	Construcción
11	Mineral	Otro	Mediano	MedianoPequeño	Pequeño	Parque Público/Suelo	Otro
12	Mineral	Otro	Pequeño	PequeñoPequeño	Mediano	Parque Pequeño/Suelo	Construcción
13	Mineral	Rectángulo	Pequeño	PequeñoPequeño	Grande	Parque Pequeño	Construcción
14	Vegetación	Otro	Mediano	MedianoPequeño	Mediano	Conj. de Árboles/Parque Público	Conj. de Árboles
15	Vegetación	Otro	Grande	MedianoPequeño	Pequeño	Jardín	Parcela Agrícola
16	Suelo	Línea	Mediano	MedianoPequeño	Grande	Otra Calle/Construcción Colectiva	Otra Calle
17	Vegetación	Otro	Grande	MedianoPequeño	Grande	Jardín/Césped	Parcela Agrícola
18	Vegetación	Rectángulo	Grande	MedianoPequeño	Mediano	Parque Aglom./Zona de Areop.	Parcela Agrícola

Tabla 6.2: Valores cualitativos de los individuos (regiones) en la ontología resultado de aplicar el prototipo del capítulo 5. A su vez, se muestra el resultado de clasificar cada instancia mediante el razonador de Protégé y la realizada por un experto. Las coincidencias entre las dos clasificaciones están resaltadas en celeste.

La comparación entre las inferencias del razonador y la clasificación del experto entrega nueve coincidencias: regiones 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 14 y 16. Sin embargo, para las clasificaciones que difieren, hay algunos resultados que indican que ciertos conceptos en la ontología tal vez no están definidos correctamente o que hay problemas en la segmentación de la imagen. Considérese por ejemplo las regiones 8 y 15; estas deberían ser parcelas agrícolas pero evidentemente hay problemas en la definición del concepto, principalmente con los atributos de área y forma (las parcelas deben tener superficie grande y forma cuadrada o rectangular). La región 7 tiene problemas de segmentación (no se separó el camino de la parcela agrícola). La región 17 debería ser una parcela agrícola, pero dado que esta región se encuentra en el borde de la imagen y, por lo tanto incompleta, su forma no es ni un cuadrado ni un rectángulo. Por último, en las regiones 10, 11, 12 y 13 la inferencia es claramente incorrecta debido a que existen problemas de segmentación, y en la región 18 remarca errores en la definición de los conceptos.

Respecto a la validez de las reglas obtenidas, en especial las de forma y firma espectral, para las regiones cuya inferencia no coinciden con la clasificación de los expertos, los resultados de estas reglas son en general bastantes certeros. Esto quiere decir que la forma y firma de estas regiones coincide con respecto

a una clasificación manual a pesar de que la inferencia total no lo sea. Para mejorar la clasificación total se recomienda en principio una segmentación de partida más precisa que distinga mejor los segmentos, por ejemplo en muchas de las regiones donde la forma es “Otro” y no fue bien clasificada, fue debido a que la misma estaba compuesta de más de un objeto. Por otro lado, recomendamos rever los conceptos en la ontología dado que en algunos casos las definiciones son muy estrictas, por ejemplo en el caso de la parcela agrícola se podría contemplar la forma cuando una región esté en el borde de la imagen y agregar a la restricción de forma que sea también de tipo “Otro”.

6.2.2 Segundo Caso

En este ejemplo se expone un extracto de imagen de una zona urbana que se caracteriza por tener casas de techo naranja y algunas piscinas (Fig. 6.7). A diferencia del caso anterior sólo se analizarán algunas regiones de interés dado que la mayoría tienen problemas en la segmentación (Fig. 6.8).



Fig. 6.7: Imagen de casas y piscinas – Su segmentación mediante Mustic.





Fig. 6.8: Regiones segmentadas de interés de la Fig. 6.4.

Información sobre la imagen:

- Quickbird (©DigitalGlobe)
- Tipo de archivo: Tagged Image File (TIF)
- Multibanda: Blue, Green, Red, Infrared.
- Dimensión: 141,115
- Resolución: 1.0 - -1.0 (THR1 para todas las regiones)

Segmentación:

Watershed

Parámetros:

- hDyn = 0.2
- fusion = 0.2
- hMin = 0.1

Número total de regiones: 112

Plataforma: Mustic v5.

Como en el caso anterior se muestra en la Tabla 6.3 la información de interés del archivo arff. Cada fila en la tabla constituye una región segmentada con su información cuantitativa.

Región	Sup.	Largo	Ancho	Elong.	Perím.	Miller	Morton	Gravelius	SS_B1	SS_B2	SS_B3	SS_B4	SS_IBS	SS_NDVI
15	196,00	30,25	6,48	4,67	78,63	0,40	0,27	1,58	140,14	149,05	185,39	102,99	159,19	24,48
16	337,00	25,98	12,97	2,00	71,15	0,84	0,64	1,09	151,84	53,60	218,32	72,26	166,27	5,78
18	928,00	62,13	14,94	4,16	183,15	0,35	0,31	1,70	98,57	108,98	166,77	153,18	173,33	76,30
21	1761,00	125,82	14,00	8,99	339,12	0,19	0,14	2,28	184,45	87,58	196,42	125,93	177,50	47,40
31	144,00	20,57	7,00	2,94	58,49	0,53	0,43	1,37	129,26	120,18	125,67	141,59	147,43	109,55
39	153,00	20,28	7,54	2,69	54,78	0,64	0,47	1,25	121,37	189,03	181,79	139,65	169,90	35,86
44	72,00	13,00	5,54	2,35	34,51	0,76	0,54	1,15	101,29	159,94	113,56	112,08	122,91	73,37
70	825,00	40,68	20,28	2,01	145,60	0,49	0,63	1,43	168,15	53,54	202,83	103,17	167,79	19,18
72	430,00	24,87	17,29	1,44	91,93	0,64	0,89	1,25	120,13	110,10	207,66	140,74	186,21	36,62

Tabla 6.3: Valores cuantitativos por región, obtenidos del archivo arff por la plataforma de análisis de imágenes.

Región	Firma Espectral	Forma	Superficie	Largo	Ancho	Elongación	Inferencia mediante el razonador de Protégé	Clasificación del experto
15	Agua	Rectángulo	Pequeño	Mediano	Pequeño	Grande	Piscina Privada Exterior	Conj. de Árboles
16	Agua	Cuadrado	Pequeño	Pequeño	Pequeño	Mediano	Piscina Privada Exterior	Construcción de casas individuales
18	Suelo	Rectángulo	Mediano	Mediano	Pequeño	Grande	Objeto	Construcción de casas individuales
21	Suelo	Otro	Grande	Grande	Pequeño	Grande	Objeto	Camino

31	Suelo	Rectángulo	Pequeño	Pequeño	Pequeño	Mediano	Objeto	Otro
39	Suelo	Rectángulo	Pequeño	Pequeño	Pequeño	Mediano	Objeto	Conj. de Árboles Piscina Privada
44	Suelo	Otro	Pequeño	Pequeño	Pequeño	Mediano	Objeto/Suelo	Exterior
70	Agua	Otro	Mediano	Mediano	Pequeño	Mediano	Piscina Pública Exterior	Conj. de Árboles
72	Suelo	Otro	Mediano	Pequeño	Pequeño	Pequeño	Objeto/Suelo	Construcción de casas individuales

Tabla 6.4: Valores cualitativos de los individuos (regiones) en la ontología resultado de aplicar el prototipo del capítulo 5. A su vez, se muestra el resultado de clasificar cada instancia mediante el razonador de Protégé y la realizada por un experto. En este ejemplo no hay coincidencias entre las dos clasificaciones.

En este caso los resultados no fueron muy satisfactorios como se puede ver en la Tabla 6.4. Las regiones 15, 16 y 70 fueron determinadas como superficies de agua debido a su pequeño valor de NDVI (ver Tabla 6.3) y por lo tanto nunca podrían haber sido inferidas como casa o vegetación. Al contrario de la anteriores, la región 44, que a simple vista es una piscina; fue determinada como suelo en vez de agua por su valor NDVI superior. Los valores de la región 21 se acercaron bastante a la clasificación de “Chemin” (carretera o camino) con excepción de la forma que resulto ser no lineal. Las regiones clasificadas como objeto no encajaron con ninguno de los conceptos definidos en la ontología.

Es importante mencionar que tanto el valor de la forma como el de la firma espectral son determinantes para la clasificación correcta de los objetos debido a la conceptualización de la ontología, por ejemplo para que una región sea clasificada como alguna construcción o como una piscina su firma espectral debería ser mineral y agua respectivamente. En este ejemplo se puede ver que a diferencia las reglas de firma espectral que no entregan buenas inferencias por los valores bajos de “ndvi”, en general las reglas de forma dan resultados similares a la de una clasificación manual. Sin embargo, las reglas podrían ser ajustadas incorporando otros atributos que calcula Mustic y no fueron estudiaron en este trabajo (por ejemplo el índice de solidez y el promedio y desvió estándar de las diferentes bandas). A su vez se recomienda un segmentación de origen más precisa; por ejemplo en el caso de la piscina de la región 44 se ve que el segmento no es exacto y de forma irregular y esto origina con seguridad que la clasificación definitiva de la forma

sea de tipo “Otro”. Finalmente, dado que el modelo de la ontología se construye a partir de un diccionario de objetos urbanos y cada afirmación se basa en la información que se puede encontrar en el diccionario implícita o no, se sugiere que se realicen ajustes en la definición de los objetos del diccionario.

Capítulo 7

Conclusiones

En esta tesina se planteó como objetivo establecer una correspondencia entre dos tipos de información, una correspondiente a características físicas de segmentos de imágenes obtenidas vía satélite en forma de archivo, y otra determinada por una descripción conceptual representada por instancias en una ontología de objetos urbanos. Para lograr este propósito, se realizó un estudio detallado de los atributos de ambas estructuras, se presentó entre otros dos atributos fundamentales: la firma espectral y la forma de un objeto, y posteriormente con la información obtenida se diseñaron reglas que traduzcan la información cuantitativa a cualitativa para abordar el problema del anclaje de símbolos. Luego, se desarrolló un programa que a partir de un archivo arff importe la información cuantitativa ejecute las reglas diseñadas y agregue instancias a la ontología de objetos urbanos. Finalmente se presentaron dos casos de estudio en los cuales mediante un razonador externo se obtuvo para cada caso una clasificación de las instancias de la ontología.

En el transcurso del trabajo se tuvo que identificar qué atributos se podían utilizar y por lo tanto indagar cómo la plataforma los calculaba y verificar si la información del diccionario de objetos geográficos era suficiente para relacionarlos. Se logró mediante un conjunto de reglas relacionar atributos que hasta el momento no se vinculaban, pero quedaron fuera del alcance de este trabajo otros atributos, como por ejemplo los de textura y densidad, que podrían ser explorados en un trabajo futuro. A su vez, se encontró que una mejora interesante para estas reglas sería ampliar el rango de opciones para los atributos involucrados, por ejemplo se podría analizar cuando una firma espectral identifica la superficie césped o cuando un objeto tiene forma triangular. Respecto a la ontología, algunos conceptos no se tuvieron en

cuenta (por ejemplo las relaciones de conexión entre objetos) y podrían ser interesantes en la identificación de los objetos urbanos.

La clasificación de los casos de estudio entregaron resultados variados, en particular se descubrió que la clasificación final está supeditada en gran parte a los siguientes factores: la segmentación de la imagen de entrada, la conceptualización en la ontología y las reglas de decisión. Si la segmentación de una región fuese más puntual, entonces mejor sería la determinación de un objeto urbano en particular. También se observó, que cuanto mayor es el tamaño de las regiones segmentadas, mayor información hay al respecto y esto ayuda a que los valores analizados den resultados más certeros. Estos resultados podrían mejorar si se trabajara con imágenes de mayor resolución. La definición de cada objeto en la ontología está basada en el diccionario, cuya información puede no estar del todo correcta y por lo tanto conducir a clasificación incorrecta. Dado que se encontró que para algunos objetos no había suficiente información subyacente (por ejemplo “Piscine extérieure” y “Sol Nu”) se propone ampliar y corregir la información de los objetos en el diccionario.

Otro aspecto relevante fue la decisión de no hacer una implementación aislada y pensar en algo integrado a Protégé. Una posibilidad habría sido definir las reglas mediante SWRL. SWRL (Semantic Web Rule Language) es una propuesta de un lenguaje de reglas para la Web Semántica, combinando sublenguajes de OWL (OWL DL y Lite) con los del lenguaje de marcado de regla [30]. Este lenguaje es un motor de inferencias, pero el problema fundamental es que no permite crear individuos en la ontología. A su vez mezclar SWRL con el prototipo implicaría tener la información cuantitativa y cualitativa en la ontología que no sería conceptualmente correcto. Para tener la posibilidad de hacer entrada/salida y de crear nuevos individuos en la ontología hace falta un motor de inferencia asociado a SWRL. Jess es un motor de reglas y entorno de programación escrito completamente en lenguaje Java [31]. Usando Jess, se puede construir una aplicación que tenga la

capacidad de razonar con el conocimiento que se suministra en forma de reglas declarativas. El problema es que en Protégé esta interacción entre SWRL y Jess se hace mediante un plugin que no funciona con la versión 4.X, sino con las versiones anteriores. Dado que la ontología base está modelada en OWL2 y las versiones anteriores trabajan con OWL1, y además la solución SWRL+Jess es solamente para ontologías OWL1 se decidió por lo tanto implementar un prototipo aislado de Protégé. Un trabajo futuro sería el desarrollo de un plugin en Protégé 4 para poder utilizar SWRL y Jess.

Bibliografía

- [1] S. Harnad, "The symbol grounding problem," *Physica D*, vol. 42, pp. 335-346, 1990.
- [2] S. Coradeschi y A. Saffiotti, "An introduction to the anchoring problem," *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 43, pp. 85-96, 2003.
- [3] Á. G. Martín, "Arquitecturas basadas en el Conocimiento vs Arquitecturas basadas en el Comportamiento - Robolabo," 18 Octubre 2011. [En línea]. Disponible en: http://www.robolabo.etsit.upm.es/asignaturas/iri/transparencias/CogvoBeh_trans.pdf. [Último acceso: 16 Mayo 2013].
- [4] M. Cravero, F. de Bertrand de Beuvron, C. Zanni-Merk y S. Marc-Zwecker, "A Description Logics Geographical Ontology for Effective Semantic Analysis of Satellite Images," *KES2012 Frontiers in Artificial Intelligence and Applications*, vol. 243, p. 1573–1582, 2012.
- [5] S. Coradeschi y A. Saffiotti, "Anchoring symbols to sensor data: preliminary report," *Proceedings of the 17th National Conference on Artificial Intelligence (AAAI)*, p. 129–135, 2000.
- [6] S. Coradeschi y A. Saffiotti, "Anchoring Symbols to Sensor Data in Single and Multiple Robot Systems: Papers from the AAAI Fall Symposium," *AAAI Press*, 2001.
- [7] S. Coradeschi y A. Saffiotti, "Anchoring symbols to sensor data. Papers from the AAAI Workshop Technical Report WS-04-03," *AAAI Press*, 2004.
- [8] A. Tapia Maldonado, "Integration of the segments from analysis of a satellite image into an Object Oriented Ontology," *Computer Engineering - University of Puerto Rico at Mayagüez*, 2012.
- [9] F. de Bertrand de Beuvron, S. Marc-Zwecker, A. Puissant y C. Zanni-Merk, "From expert knowledge to formal ontologies for semantic interpretation of the urban environment from satellite images," *KES Journal - Innovation in Knowledge-Based and Intelligent Engineering Systems*, vol. 17, pp. 55-65, 2013.
- [10] N. Palomino y L. Concepción, "Watershed: un algoritmo eficiente y flexible para segmentación de imágenes de geles 2-DE," *RISI*, vol. 7, n° 2, pp. 35-41, 2010.
- [11] C. Kurtz, "Analyse multirésolution d'images de télédétection par segmentations et classifications conjointes," Strasbourg, 2009.
- [12] A. Puissant y J. Hirsch, "Télédétection urbaine et résolution spatiale optimale: intérêt pour les utilisateurs et aide pour les classifications," *Revue Internationale de Géomatique*, Vols. 1 de 23-4, n° 14, pp. 403-415, 2004.
- [13] G. Shaw y H.-h. Burke, "Spectral Imaging for Remote Sensing," *Lincon*

- Laboratory Journal*, vol. 14, n° 1, 2003.
- [14] C. Wikipedia, “Teledetección,” 3 Julio 2013. [En línea]. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Teledetecci%C3%B3n>. [Último acceso: 16 Julio 2013].
- [15] A. Siegmund, I. Kollar y A. Siegmund, “Introduction to Remote Sensing,” SEOS Project, 1 Agosto 2007. [En línea]. Disponible en: <http://www.seos-project.eu/modules/remotesensing/remotesensing-c01-p05.html>. [Último acceso: 2 Abril 2013].
- [16] R. Swearingen, “Spectral Signatures and Color Composites,” 2012. [En línea]. Disponible en: <http://www.iupui.edu/~ghw/lessons/materials/SpectralSig.doc>. Último acceso: 20 Mayo 2013].
- [17] A. Moquet, “Apports de la télédétection pour la cartographie d’habitats terrestres en zones humides méditerranéennes,” UMR 3S Structures et Systèmes Spatiaux Cemagref-ENGREF, Nancy, 2003.
- [18] J. W. Rouse, R. H. Haas, J. A. Schell y D. W. Deering, “Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS,” *NASA. Goddard Space Flight Center*, vol. 1, pp. 309-317, 1974.
- [19] USGS, “More Information about NDVI and the NDVI Images,” U.S. Department of the Interior | U.S. Geological Survey, Enero 2010. [En línea]. Disponible en: <http://ivm.cr.usgs.gov/helppage.php>. [Último acceso: 4 Mayo 2013]
- [20] V. Ochoa Tejada y J. F. Parrot, “Extracción automática de trazas de deslizamientos utilizando un modelo digital de terreno e imágenes de satélite de alta resolución IKONOS. Ejemplo en la Sierra Norte de Puebla, México,” *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, vol. 24, n° 3, pp. 354-367, 2007.
- [21] P. Chareille, X. Rodier y E. Zadora-Rio, “Analyse des transformations du maillage paroissial et communal en Touraine à l’aide d’un SIG,” 30 Noviembre 2007. [En línea]. Disponible en: <http://histoiremesure.revues.org/772>. [Último acceso: 8 Mayo 2013].
- [22] B. S. Morse, “Lecture 9: Shape Description (Regions),” 16 Febrero 2000. [En línea]. Disponible en: http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/LOCAL_COPIES/MORSE/region-props-and-moments.pdf. [Último acceso: 17 Junio 2013]
- [23] C. Turck, “Prédiction de couverture de champ radioélectrique pour les réseaux radiomobiles: L’apport des Systèmes d’Information Géographique. Application en milieu urbain,” Thèses de doctorat, Strasbourg, 2005.
- [24] D. Sheeren, A. Puissant, C. Weber, P. Gançarsk y W. Cédric, “Deriving classification rules from multiple remotely sensed urban data with data mining,” *1st EARSeL Workshop of the SIG Urban Remote Sensing*, pp. 2-3, 2006.
- [25] G. Paynter, “ARFF Department of Computer Science - The University

- of Waikato,” 1 Noviembre 2008. [En línea]. Disponible en: <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/arff.html>. [Último acceso: 9 Mayo 2013].
- [26] M. J. L. Lapuente, “Hipertexto: El nuevo concepto de documento en la cultura de la imagen,” 5 Noviembre 2012. [En línea]. Disponible en: <http://www.hipertexto.info/documentos/ontologias.htm>. [Último acceso: 16 Marzo 2013].
- [27] B. Cuenca Grau, I. Horrocks, B. Motik, B. Parsia, P. Patel-Schneider y U. Sattler, “OWL 2: The next step for OWL,” *Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web*, vol. 6, n° 4, p. 309–322, 2008.
- [28] B. Motik, B. Parsia y P. Patel-Schneider, “OWL 2 Web Ontology Language XML serialization,” W3C Recommendation, W3C – World Wide Web, 2009.
- [29] F. Badra, “Utilisation de techniques de fouille de données pour enrichir une ontologie d’objets géographiques,” Mendès, 2005.
- [30] I. Horrocks, “SWRL: A Semantic Web Rule Language Combining OWL and RuleML,” W3C Member Submission, National Research Council of Canada, 2004.
- [31] E. Friedman-Hill, “Jess, the Rule Engine for the Java Platform,” Sandia National Laboratories, 12 Octubre 2012. [En línea]. Disponible en: <http://herzberg.ca.sandia.gov/>. [Último acceso: 12 Junio 2013].