

LAND COVER CLASSIFICATION IN A BORDER LANDSCAPE

Tutor: Diego Varga i Linde

Correu electrònic: diego.varga@udg.edu

Alumne: Aitor Guerrero Soliva

Correu electrònic: aitor.soliva@gmail.com

Treball de final de Grau

Ciències Ambientals

Maig 2015

Resum

El treball que es presenta pretén mostrar quina ha sigut la metodologia utilitzada per la creació i representació dels usos i cobertes del sòl, en dos períodes de temps diferents (1956 i 2013) a la comarca de Bidasoa al País Basc. Amb els resultats extrets de la realització d'aquesta metodologia podem elaborar una anàlisi sobre la ecologia del paisatge.

Per dur a terme aquesta metodologia hem hagut d'adquirir les imatges que pertanyen al vol americà de l'any 1956, ortorectificar-les i posicionar-les en l'espai mitjançant el software ERDAS 9.1. Posteriorment digitalitzar i fotointerpretar els usos i cobertes del sòl de la imatge ortorectificada de l'any 1956 i de la imatge actual de l'any 2013. Aquest procés es va realitzar amb el software eCognition per obtenir finalment imatges amb format *raster* mitjançant el software Arcgis 10.1. Amb les imatges finals vam poder fer una anàlisi de l'ecologia del paisatge a través del software FRAGSTAT, el qual analitza patrons espacials per quantificar l'estructura del paisatge.

Per una part, els resultats obtinguts de la metodologia són els dos mapes amb format *raster*. Aquests mapes són la base per extraure els resultats sobre els índexs del paisatge. Els primers resultats ens mostren com la metodologia empleada per crear els mapes d'usos i cobertes del sòl són realment innovadors per la seva rapidesa en la execució i per la seva efectivitat. També es detecta com el paisatge ha evolucionat a una major heterogeneïtat en el present, i com aquest s'ha convertit en un paisatge més fragmentat, encara que amb major diversitat. Per últim s'observa un procés clarament humanitzat en el conjunt general de l'estructura del paisatge on l'acció de l'home té un paper clau.

Resumen

El trabajo que se presenta pretende mostrar cual ha sido la metodología utilizada para la creación y representación de los usos y cubiertas del suelo en dos periodos de tiempo diferentes (1956 y 2013) en la comarca de Bidasoa, en el País Vasco. Con los resultados extraídos de la realización de esta metodología podemos elaborar un análisis sobre la ecología del paisaje.

Para llevar a cabo tal metodología hemos tenido que adquirir las imágenes pertenecientes al vuelo americano del año 1956, ortorectificar-las y posicionar-las en el espacio mediante el software ERDAS Imagine 9.1. Posteriormente digitalizar i fotointerpretar los usos y cubiertas del suelo de la imagen ortorectificada del año 1956 y de la imagen actual del año 2013. Este proceso se realizó con el software eCognition para obtener finalmente imágenes en formato raster mediante el software Arcgis 10.1. Con estas imágenes finales pudimos hacer una análisis de la ecología del paisaje por medio de FRAGSTAT, el cual analiza patrones espaciales para cuantificar la estructura del paisaje.

Por una parte, los resultados obtenidos de la metodología son los dos mapas en formato raster. Estos mapas, son la base para extraer los resultados sobre los índices del paisaje. Los primeros resultados nos muestran como la metodología empleada para crear los mapas de usos y cubiertas del suelo, son realmente novedosos por su rapidez de

ejecución y efectividad. También se detecta como el paisaje a evolucionado a una mayor heterogeneidad en el presente y como este se ha convertido en un paisaje más fragmentado aunque con mayor diversidad. Por último, se observa un proceso claramente humanizado en el cómputo general de la estructura del paisaje, donde la acción humana tiene un papel clave.

Abstract

The work presented aims to show which methodology has been used for the creation and representation of the uses and covers of the land in two different periods of time (1956 and 2013) in the region of Bidasoa, in País Vasco, and how we can develop an analysis related to the ecology of the landscape with the results taken from the fulfillment of this methodology.

To carry out this methodology, we have had to acquire the images belonging to the American flight of the year 1956, orthorectify and position them in the space by means of the ERDAS Imagine 9.1 software.

Then, we have had to digitize and photointerpret the uses and covers of the land related to the orthorectified image of 1956 and the current image of 2013. This process was performed by means of the eCognition software in order to obtain, in the end, images in raster format using the ArcGIS 10.1 software. With these final images, we were able to carry out an analysis of the ecology of the landscape through FRAGSTAT, which analyzes spatial patterns in order to quantify the landscape structure.

The results obtained from the methodology are the two maps in raster format. These maps are the basis for drawing the results related to the indices of the landscape. The first results show us how the methodology used to create the maps of the uses and covers of the land is really innovative because of its speed of execution and effectiveness. It is also detected how the landscape has evolved to a greater heterogeneity nowadays and how it has become into a more fragmented landscape although with more diversity. Finally, humanized process is clearly seen in the overall structure of the landscape where the human activity has a key role.

Índex

Land cover classification in a border landscape

INTRODUCCIÓ:	5
Àrea d'estudi.....	5
Marc Teòric.....	5
Objectius.....	8
METODOLOGIA	9
Creació i descripció de la base de dades.....	9
Ortorectificació i georeferenciació amb ERDAS Imagine 9.1.....	9
Arcgis.....	13
→ <i>Digitalització de les vies de comunicació mitjançant Arcgis</i>	13
eCOGNITION.....	15
→ <i>La metodologia amb l'eCognition és bassa en dues premisses</i>	16
→ <i>Exemple del procediment de digitalització amb eCognition Developer 8.7</i>	16
→ <i>Creació d'un Workspace o zona de treball i els Projects o projectes</i>	17
→ <i>Creació de Class Hierarchy</i>	18
→ <i>Segmentació de la imatge mitjançant l'algoritme Multiresolution Segmentation</i>	18
→ <i>Classificació manual dels segments</i>	19
→ <i>Unió de tots els segments d'una mateixa classe</i>	20
→ <i>Conversió en format shapefile de la digitalització finalitzada i digitalització de la següent subselecció</i>	20
FRAGSTAT.....	24
→ <i>Índex calculats a nivell de paisatge</i>	24
Resultats	26
Composició.....	26
Configuració.....	27
→ <i>A nivell de paisatge</i>	27
→ <i>A nivell de classe</i>	28
Discussió i conclusions	31
Bibliografia	34

INTRODUCCIÓ:

Àrea d'estudi

L'àrea d'estudi d'aquest treball està localitzada al Baix Bidasoa o també anomenat Bidasoaldea. És una comarca de la província de Guipúscoa, al País Basc. Situada al nord-est de la província i limitada amb Iparralde a l'est, amb Navarra al sud, amb la comarca de Sant Sebastian a l'oest i amb el mar Cantàbric al nord. Abasta una petita superfície de 71,6 km², sent la comarca més petita de la província.

El Baix Bidasoa està format pels municipis d'Irun i Hondarribia. Té una població de 75.000 habitants. Geogràficament la comarca està situada al marge esquerre del riu Bidasoa, així com de la Badia de Txingudi, on desemboca aquest riu.

Marc Teòric

Aquest present Projecte de fi de Grau amb el títol "*Land cover classification in a border landscape*" ha sorgit a partir d'un projecte a escala Europea. Tal projecte, "*Veinticinco años de cooperación territorial entre España y Francia en el marco de la Unión Europea; un análisis desde la geopolítica de planes, proyectos, agentes y resultados territoriales*" finançat pel ministeri Espanyol, té com a finalitat l'anàlisi i avaluació dels plans i projectes territorials -tant a escala local, regional, com estatal- dins del marc transfronterer entre Espanya i França. Es fa a partir de tres òptiques interrelacionades:

- La planificació concurrent.
- La governació.
- La geopolítica.

Aquest projecte té el seu origen en la confluència de diverses experiències d'investigació que han trobat en l'espai transfronterer hispano-francès un escenari perfecte per assajar i aprofundir en les respectives línies de treball, tal com l'anàlisi territorial, ambiental i de planificació. També en l'àmbit geopolític, conflictes territorials i la seva gestió, entre d'altres.

Dins de la cooperació hispana-francesa els antecedents relacionats amb temes transfronterers són relativament limitats. A trets generals són molts els treballs relacionats amb aquestes relacions hispanes-franceses, o bé projectes concrets a escala local, però no es troben estudis que avaluïn ambdues perspectives i que proposin interrelacionar-les.

El motiu d'aquest projecte és que el conjunt de la frontera entre Espanya i França està dins d'un marc que molt poques vegades ha estat analitzat en la seva totalitat i per tant és un escenari privilegiat per interpretar tant l'eficiència política de desenvolupament, com de cohesió i protecció territorial. A més, pot ser d'ajuda per interpretar i analitzar diferents polítiques de caràcter públic marcades per les connotacions geopolítiques (de gran interès pel seu caràcter fronterer), i per l'aplicació de les directives europees, i la fragmentació política local, entre d'altres.

Cal destacar l'Institut Universitari d'Estudis Europeus de la Universitat de Barcelona com a instància acadèmica, ja que és des d'aquí que es promou i es dona cobertura a una gran investigació a escala Europea, a la cooperació i als espais transfronterers.

Al mateix temps existeix un treball de tesi realitzat per Roser Pastor. Aquesta tesi doctoral té per títol provisional "*Els paisatges fronterers dels territoris de pas dels Pirineus: els casos de l'Espai Català Transfronterer i l'Eurociutat Basca*". L'objectiu

principal és la determinació d'aquells elements i dinàmiques del paisatge que defineixen els paisatges fronterers, fent especial èmfasi en l'afectació paisatgística resultant de la juxtaposició de dos models de planificació territorial i paisatgística. Finalment es vol determinar com i en quina mesura el procés d'obertura de fronteres ha condicionat l'evolució paisatgística (Roser, 2015). A més, a la tesi cal destacar l'objectiu específic on jo he participat i m'ha ajudat a realitzar aquest Treball de fi de Grau. Aquest objectiu és el de cartografiar i quantificar quina ha estat l'evolució dels usos i cobertes del sòl (de la composició del paisatge) per a diferents períodes de temps (en el meu cas l'anàlisi és dels anys 1956 i 2013) per als municipis Espanyols ja esmentats anteriorment, d'Irun i Hondarribia, al País Basc.

Aquesta tesi doctoral està inclosa dins del Projecte Europeu de la cooperació territorial entre Espanya i França.

Quines diferències trobem entre els usos i les cobertures del sòl?

El concepte d'ús i cobertura del sòl són comunament confosos. Aquesta confusió crea problemes per a la investigació i altres activitats que busquen integrar diferents dades de la terra (A. J. Comber). Les conseqüències d'aquesta confusió dificulta la integració de les dades i les activitats, tals com l'avaluació dels impactes del canvi climàtic i la interacció entre els ambients terrestres i els atmosfèrics.

Bàsicament, la cobertura de la terra està determinat per l'observació directa de la superfície terrestre, mentre que l'ús del sòl és una interpretació socioeconòmica de les activitats que es duen a terme en la superfície (Fisher et al, 2005, A. J. Comber). És a dir, es necessita la cobertura del sòl pel desenvolupament dels models ambientals físics i es requereix dels usos del sòl per fins polítics i de planificació. (A.J. Comber). A més, tenen característiques molt diferents. Per exemple, pot haver-hi molts terrenys diferents simultanis o alternatius (usos del sòl) en un indret determinat, mentre que la classificació de la coberta del sòl registra el material físic de la superfície de la terra i és estàtic.

No obstant i havent-hi diferències palpables entre els dos conceptes, la seva unió és totalment convenient, encara que presenta un paradigma il·lògic.

- La coberta que existeix en un indret determinat és una classe de terra única. Això és perquè l'ocupació de la terra està definida pel que s'observa en eixe moment.
- L'ús de la terra que existeix en qualsevol indret és probable que sigui multidimensional, ja que els usos del sòl es defineixen per l'activitat humana. Per exemple, Fisher et al (2005) explica que una plantació forestal també pot ser utilitzada simultàniament per diverses formes de recreació (caça, senderisme), així com per a la producció de fusta. Alguns usos del sòl també poden variar estacionalment.
- Jansen i Di Gregori (2003) exposen que l'ús del sòl pot estar influenciat per factors culturals com les pràctiques agrícoles, amb el resultat que diferents usos del sòl es practiquen en la mateixa classe de cobertura en diferents àrees. Per exemple, la classe de cobertura 'herba' pot estar present en varis usos diferents com a zones esportives, parcs urbans, terrenys residencials, etc.
- Les relacions entre la cobertura i els usos del sòl poden canviar depenent de l'escala o nivell d'anàlisi en el que s'observa. Això és a causa de la complexitat dels vincles entre els sistemes socioeconòmics i ambientals (J. A. Comber).

Per altra banda el grau d'anàlisi dins dels usos i cobertes del sòl té una gran importància quan volem estudiar les possibles conseqüències d'un determinat esdeveniment en un indret concret. Així doncs, observant el conjunt d'imatges de diferents anys successius podem avaluar les decisions de gestió del passat, i profunditzar en els possibles efectes

de les decisions actuals abans de la seva aplicació. Atenent a la informació oportuna sobre la cobertura i ús del sòl, i amb l'ajuda de mapes, podem entendre millor quins són els impactes dels fenòmens naturals i l'ús humà del paisatge. Els mapes poden ajudar a:

- Avaluar el creixement urbà.
- Estudiar els problemes de la qualitat de l'aigua.
- Predir els impactes de les inundacions i les marees.
- Fer un seguiment en la pèrdua dels aiguamolls i els impactes de l'augment del nivell del mar.
- Prioritzar àrees per a què els esforços de la conservació siguin optimitzats.
- Comparar els canvis de cobertura del sòl amb efectes al medi ambient, etc.

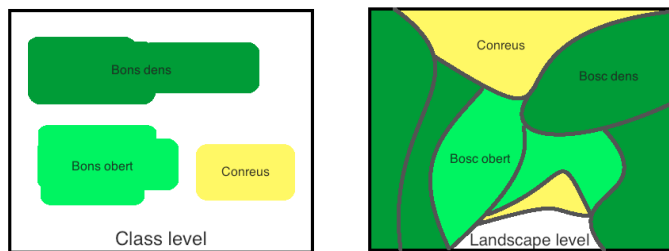
L'ecologia del paisatge es defineix com l'estudi de tota la complexitat de les relacions causa-efecte que existeixen entre les comunitats d'éssers vius i les condicions ambientals en una secció específica del paisatge (*Conceptos y metodos fundamentales en ecologia de paisaje*). És una visió holística, de síntesis fonamentada especialment en la incorporació de dues interpretacions; la primera és l'heterogeneïtat horitzontal, un enfocament propi de la geografia que centra l'atenció en la distribució del paisatge dins del territori. La segona és l'heterogeneïtat vertical, perspectiva pròpia de l'ecologia que s'endinsa en la interrelació entre els elements biòtics i abiòtics en una porció del paisatge.

Aquesta vessant del paisatge va néixer a finals dels anys 1930 de la mà del geògraf Carl Troll influenciat per Alexander von Humboldt i el filòsof i polític sud-africà Jan Cristiaan Smuts especialment de la seva obra "*Holism and Evolution*" (1926). Posteriorment és L. von Bertalanffy qui considera l'estructura del paisatge com una interrelació entre els processos que es donen en l'ecologia del paisatge, i com a relacions discernibles amb altres sistemes, encara que remarca la possibilitat d'estudiar, de forma independent, les diferents unitats del sistema en determinades situacions. Aquesta jerarquia sistemàtica enllaça amb la teoria de James Lovelock on s'estableix com l'últim nivell jeràrquic del paisatge.

És després de la segona Guerra Mundial quan Carl Troll començà a aprofundir en aquesta visió integral del paisatge. És a la dècada de 1960 quan a Europa comença a prendre cos i a finals dels anys 80 quan es consolida. Aquesta dècada suposa l'enlairament definitiu de l'ecologia del paisatge i quan el nucli del treball es va desplaçar d'Europa cap als Estats Units. També van sortir diferents e innovadors conceptes com ara la fragmentació de l'hàbitat, conservació de la biodiversitat, corredors biològics i connectivitat, i el desenvolupament de mètodes quantitius i estadístics.

Podem establir 3 nivells d'anàlisi de l'ecologia del paisatge:

- Patch level: Els càlculs s'apliquen a cada fragment individualment. Aquest nivell és l'òptim per a determinar el fragment de major àrea de tots els representats.
- Class level: Els càlculs s'apliquen al conjunt de fragments d'una mateixa classe, és a dir, aquells que són de la mateixa classe d'usos del sòl, coberta, habitat, etc. El class level és el nivell apropiat per a calcular la superfície total que ocupa una mateixa cobertura del sòl, per exemple el bosc dens, o la suma de tots els fragments de bosc dens.
- Landscape level: Els càlculs s'apliquen al conjunt del paisatge, és a dir, tots els fragments i classes alhora. El resultat ens indica l'heterogeneïtat o homogeneïtat de l'àrea total estudiada.



Imatge 1. Font d'elaboració pròpia

Aims

The main aim of this work is to demonstrate, by means of the methodology, which tools are the most appropriate ones in order to orthorectify, photointerpret and digitize the aerial images of the region of Bidasoa, in the years 1956 and 2013.

This work will also aim to observe and quantify which changes have been taken in the composition of uses and covers of the land during the period comprised between 1956 and 2013. Finally, we will assess the evolution in the shaping of the landscape in the same period. Within these main aims, we should mention other more specific, but vital in order to achieve the main aims. These ones are:

- To orthorectify aerial photographs of 1956.
- To cartograph and photointerpret, by means of fragmentation processes, the uses and covers of the land of the previously orthorectified image of the years 1956 and 2013.
- To calculate the index of the landscape in order to quantify the composition and configuration of the landscape.

METODOLOGIA

En aquest apartat s'exposa la metodologia emprada per a la creació dels mapes dels usos i cobertes del sòl pertanyents als anys 1956 i 2013 del País Basc Espanyol, per tal de poder caracteritzar i diferenciar les dinàmiques en la composició del paisatge.

Creació i descripció de la base de dades

Hem cartografiat les imatges corresponents a dos períodes de temps, les de l'any 1956 provinent del vol Americà i el mapa actual de l'any 2013.

Tota la base de dades requerida per dur a terme aquesta metodologia ha sigut proporcionada pel Departament de Geografia de la Universitat de Girona. El Departament de Geografia ha adquirit aquesta base de dades per una banda del "Centro Cartográfico y Fotográfico del Ejército del Aire", corresponent a la imatge de l'any 1956 i per altra banda la imatge del 2013 del "Instituto Cartográfico del País Vasco". El Model Digital d'Elevacions (MDE) i *Shapefile* (SHP) de municipis va ser adquirit del "Instituto Geográfico Nacional" (Espanya) (IGN).

De la zona del País Basc Espanyol no es disposa de les capes i usos del sòl digitalitzades i per tant s'ha hagut de digitalitzar per als dos períodes de temps.

Ortorectificació i georeferenciació amb ERDAS Imagine 9.1

Totes les fotografies aèries recopilades a un inici, no estaven preparades per ser utilitzades per crear la nostra base de cobertes i usos del sòl. En primer terme, les fotografies aèries presentaven distorsions que tenen diferents orígens: la mateixa curvatura de la Terra, les òptiques de les càmeres fotogràfiques, el relleu de l'àrea captada i l'angle de la càmera respecte a la superfície terrestre (Pastor, R. 2015).

A més, cap de les imatges de l'any 1956 estaven georeferenciades i per tant, a banda de ortorectificar les imatges per reduir les distorsions ocasionades durant el vol, s'han de georeferenciar per integrar-les en els Sistemes d'Informació Geogràfica i proporcionar a la imatge les coordenades i així situar-les a l'espai.

Per iniciar els processos d'ortorectificar i georeferenciar les fotografies amb ERDAS es necessita la base de dades, la qual incorpora la imatge antiga a ortorectificar i georeferenciar, la ortofotografia (fotografies aèries sense distorsió i amb una projecció cartografia incorporada) que pertany a la imatge actual de l'any 2013 i el Model Digital d'Elevacions (MDE). El Model Digital d'Elevacions és una estructura numèrica de dades que representa la distribució espacial d'una variable quantitativa i contínua (Varga Linde 2008; R. Pastor, 2015). Quan l'altitud és la variable parlem de MDE (Varga Linde 2008 ; R. Pastor, 2015). Per tant, el Model Digital d'Elevacions és una representació del terreny mitjançant el mostreig regular o irregular de l'altitud del terreny (Roser, 2015).

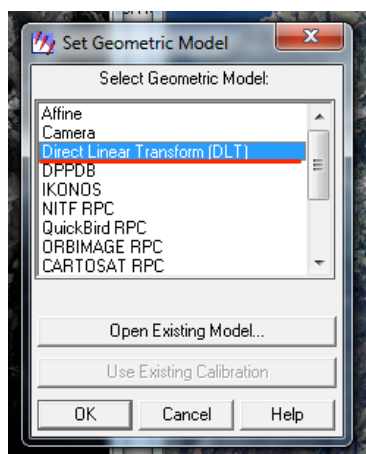
El que s'aconsegueix amb l'ortorectificació és que les coordenades (x,y) de la imatge original tinguin la seva replic (x',y') en la imatge a ortorectificar.

En primer lloc hem carregat la imatge antiga de l'any 1956 en format TIFF i la imatge actual en format IMG.

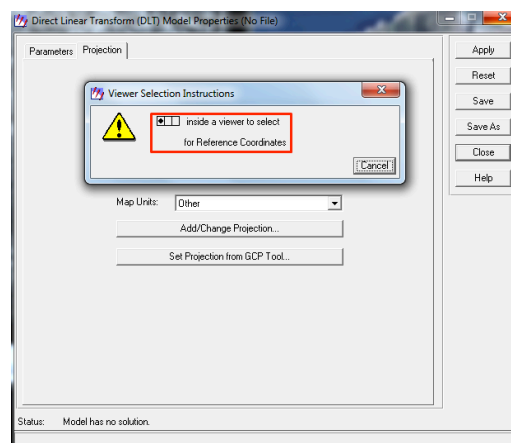
Hem començat a ortorectificar i georeferenciar les fotografies de l'any 1956 del País Basc Espanyol en format TIFF (les hem carregat mitjançant el visor de l'ERDAS). Aquest procés l'hem realitzat amb la funció *Geometric Correction* del menú *raster* del visor

d'imatges del programa ERDAS. La seva funció és la de buscar punts en comú entre les dues imatges. L'objectiu ha sigut la correcció dels errors anteriorment anomenats causats per la distorsió de les fotografies antigues.

A la següent imatge (imatge 2) veiem representat l'opció de *DLT* (*Direct Linear Transform*) on podrem carregar el MDE a la imatge antiga. Hem escollit aquest model de correcció perquè és el que ens ajuda a fer la ortorectificació de les imatges on no hi ha cap informació a l'interior (Roser, 2015). A més, mitjançant la projecció atorguem a la imatge de l'any 1956 les coordenades de la imatge de l'any 2013 (imatge 3). Així doncs, aquesta imatge antiga ja quedaria georeferenciada.



Imatge 2. Font d'elaboració pròpia



Imatge 3. Font d'elaboració pròpia.

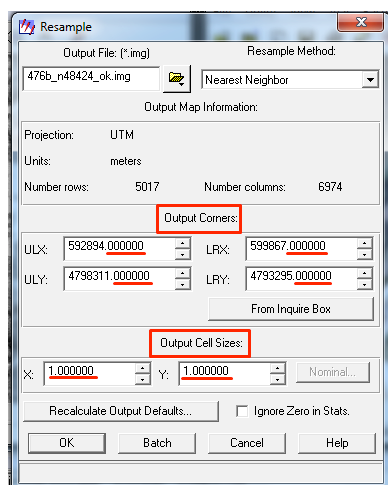
Un cop tenim les dues imatges, l'antiga de 1956 que hem d'ortorectificar i la imatge de referència de l'any 2013, el Model Digital d'Elevacions introduït i les coordenades ja adquirides a la imatge antiga, és moment d'introduir els *Grounds Control Points (GCP)*. Aquesta funció consisteix en introduir els punts de control. Cada punt de control té unes coordenades X, Y i Z. Les coordenades X i Y s'obtenen a partir de l'ortofotomapa de referència (imatge de l'any 2013), mentre que la coordenada Z s'obté del MDE. La millor forma de repartir els punts sobre les imatges és de forma homogènia posant especial atenció a les cantonades de les imatges i en aquelles zones on la orografia sigui més abrupta o irregular (Roser, 2015). Segons les dimensions de la imatge hem de col·locar una mitjana de 60 punts per a què les distorsions siguin corregides de la forma més adient possible.

Un cop s'han introduït tots els punts de control el següent pas és la *Triangulació*. Aquesta funció destaca per ser capaç de calcular si algun dels punts col·locats a la imatge està mal posicionat i si és així, ens diu quin ha sigut l'error. Aquest error s'indica mitjançant el *Root Mean Square Error (RMS Error)*. El *RMS Error* determina la precisió en la transformació d'un sistema de coordenades a un altre a partir dels nostres punts de control (Varga Linde 2008 pag. 108, R. Pastor, 2015). El càlcul de l'error es fa a partir d'un model matemàtic. Aquest model compara els punts de control que col·loquem a la imatge antiga amb les coordenades conegudes de la imatge de referència.

L'error és el que ens indica la distància entre les coordenades de l'ortofoto antiga i la imatge de referència mesurat en píxels. Així doncs un RMS d'1 vol dir que la distància entre la imatge antiga i la imatge de referència és d'1 píxel. Per a la realització de l'ortorectificació de la fotografia antiga s'ha buscat que l'error sempre sigues per sota d'1 i sempre el més pròxim a zero.

Un cop hem posicionat cada un dels punts de control, la imatge ja pot ser modificada. Per realitzar aquesta modificació utilitzarem la funció *Resample*, la qual ens dóna l'opció d'obtenir una imatge de sortida en format IMG.

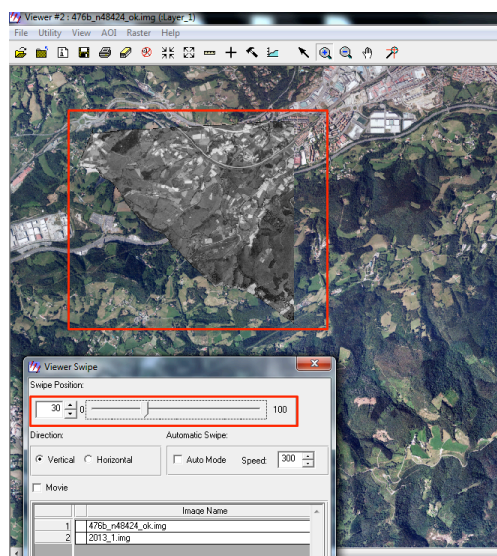
Els paràmetres establerts per obtenir la imatge ja modificada són els següents:



- *Output Corners*: Tots els decimals de les coordenades es col·locaran a zero perquè així fem coincidir totes les imatges que hem d'ortorectificar i posteriorment unir mitjançant el *Mosaic* (explicat més endavant), amb les mateixes coordenades.
- *Output Cell Sizes*: És la dimensió del píxel i el modificarem a 1 per a totes les imatges.

Imatge 4. Font d'elaboració pròpia on es mostra els GCP i el RMS Error.

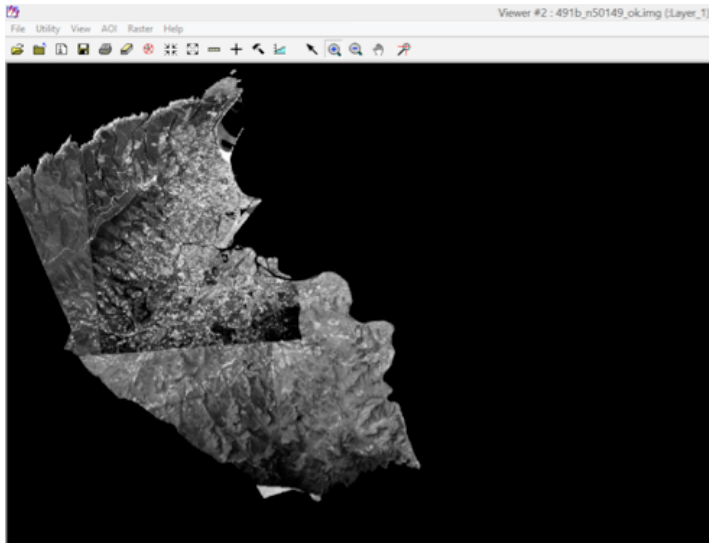
La imatge resultant estarà amb les coordenades geogràfiques adquirides i amb les deformacions corregides. Per comprovar el resultat de la tasca realitzada utilitzarem la funció *Swipe*, al menú de *Utility*. Aquesta funció ens permet fer un escombratge de la imatge antiga, sobreposada sobre la imatge de referència per poder observar que tots els punts que hi ha en comú en la imatge antiga corresponen amb la mateixa posició que en la imatge de referència. Així doncs, amb aquesta funció podrem captar qualsevol imperfecció i podrem corregir-ho si és el cas.



Imatge 5. Font d'elaboració pròpia on és mostra la funció *Swipe*.

Tot aquest procediment l'hem realitzat per a la totalitat del territori a estudiar, amb un total de 5 imatges.

Un cop tenim totes les imatges ortorectificades i georeferenciades passem al procés d'unió de les imatges. Aquest procés s'anomena *Mosaic*. Aquest mòdul ens permet fer una visualització de com queden totes les imatges corregides i georeferenciades tal com es poden observar a la imatge següent.



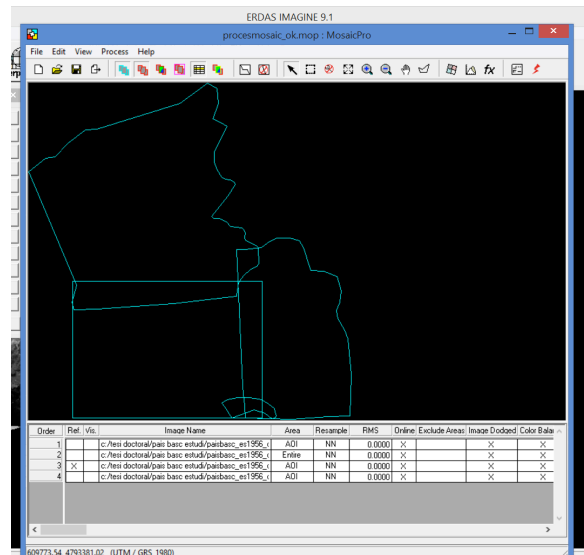
Imatge 6. Font d'elaboració pròpia per a mostrar la funció Mosaic

A més, aquesta funció ens permet millorar la imatge final. Una de les opcions interessants d'aquest procés és que ens permet corregir el color de les fotografies aèries per tal que disminueixin els diferents contrastos que hi puguin haver entre les fotografies unides, concretament amb l'opció de *Color Balancing*

Una vegada les imatges estan introduïdes dins del menú d'incorporació d'imatges, *Add Images*, a la pestanya *Image Area Options*, tenim l'opció d'incorporar el nostre fitxer *AOI* que ens designarà la nostra àrea d'interès i que permetrà que el la unió de les imatges només es faci per aquesta àrea.

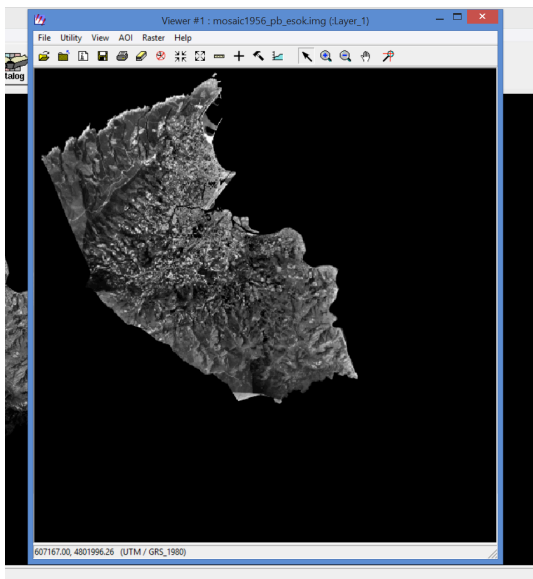
Finalment, un cop introduïdes les imatges aèries i el fitxer *AOI* es procedeix a la creació del mosaic d'imatges. El resultat és una única imatge georeferenciada i ortorectificada obtinguda a partir de la unió de la resta d'imatges anteriorment corregides. El procés d'unió és el següent:

- En el menú *Data Preparation* obrim el menú de *mosaic pro* i dins d'aquesta opció *mosaic pro*. Aquí podrem escollir totes les imatges de forma individual per a què la funció de *mosaic* pugui unir-les. Haurem d'escollir el directori de sortida on voldrem que la nostra imatge final es guardi.
- Una vegada les imatges estan carregades al menú del mosaic, podem observar com en el nostre cas no ens ha fet falta carregar el *shapefile* dels municipis perquè al carregar les imatges ja ens apareix el perímetre delimitat de la zona del nostre estudi.



Imatge 7. Font d'elaboració pròpia on es mostra el perímetre de la zona d'estudi.

- El següent pas és la correcció dels colors amb l'opció de *Color Corrections* on clicarem l'opció de *Use Image Dodging* per equilibrar les possibles pèrdues d'informació a conseqüència d'una imatge cremada.
- El resultat final, una vegada s'ha realitzat tot el procés, és aquesta imatge.



Imatge 8. Font d'elaboració pròpia amb el resultat final amb l'Erdas 9.1

Arcgis

Amb la base de dades adquirida mitjançant *ERDAS* hem obtingut un ortofotomapa on, mitjançant *ArcGis* digitalitzarem els camins, les carreteres i les vies ferroviàries, és a dir, les vies de comunicació que abasta el territori que hem d'analitzar. Aquest procés l'hem realitzat tant per a la imatge de 1956 com per la de l'any 2013. Els motius d'aquesta tasca s'explicaran més endavant i l'objectiu és la creació d'una nova capa (*shapefile*) de les vies de comunicació. A posteriori, aquesta nova capa la podrem introduir durant el procés de fotointerpretació i digitalització mitjançant el software *eCognition Developer 8.7*.

→ Digitalització de les vies de comunicació mitjançant Arcgis.

En primer lloc hem carregat la imatge antiga de 1956 en format *img*. Un cop tenim la imatge carregada, hem d'activar la funció d'Editor en la pestanya de *Toolbars*. Al costat dret del nostre Interface tenim la finestra *Catalog*. Aquesta finestra ens mostra totes les nostres carpetes on tenim la informació guardada i que podem fer servir en *Arcgis*. Així doncs hem seleccionat una carpeta on guardarem la nostra informació del treball realitzat i clicant el botó secundari sobre la carpeta podrem escollir l'opció de crear un nou *shapefile (shp)*.

En *Feature Type* posarem l'opció de *polyline*. Les altres opcions queden descartades perquè el que volem crear és un *shapefile* amb línies per poder crear a posteriori uns polígons. A continuació li posarem les mateixes coordenades que té la imatge de referència, en aquest cas la imatge de l'any 1956, simplement important les dades.

Un cop creat el *shp*, el qual no té cap informació encara, podem començar amb l'edició clicant sobre *Start editin*, seleccionant el nostre *shp* i començant a digitalitzar.

En la pestanya de l'Editor tenim diverses opcions:

- *Straight Segment*: És l'opció més bàsica que ens aporta l'editor d'*Arcgis* on simplement cal fer una línia recta per començar a digitalitzar.
- *End point arc segment*: Aquesta opció en permet crear una línia corba a partir d'una línia recta.

- *Edit Vertices*: En qualsevol dels casos anteriors clicant aquesta opció, l'editor ens permet crear nous punts sobre les línies creades amb anterioritat utilitzant les opcions anteriors, així doncs, podem crear punts nous entre els punts ja creats. Vàries opcions entre els quals destaquen la modificació d'un vèrtex ja existent, afegir nous vèrtex o eliminar-los.

La manera de procedir en el moment de crear les noves línies ha sigut mitjançant el traçat d'aquestes línies sempre per la banda esquerra de la via de comunicació respecte a la direcció en que tracem la línia de digitalització. Aquest procediment és de vital importància per motius metodològics i de processament en la creació dels polígons que més endavant explicarem.

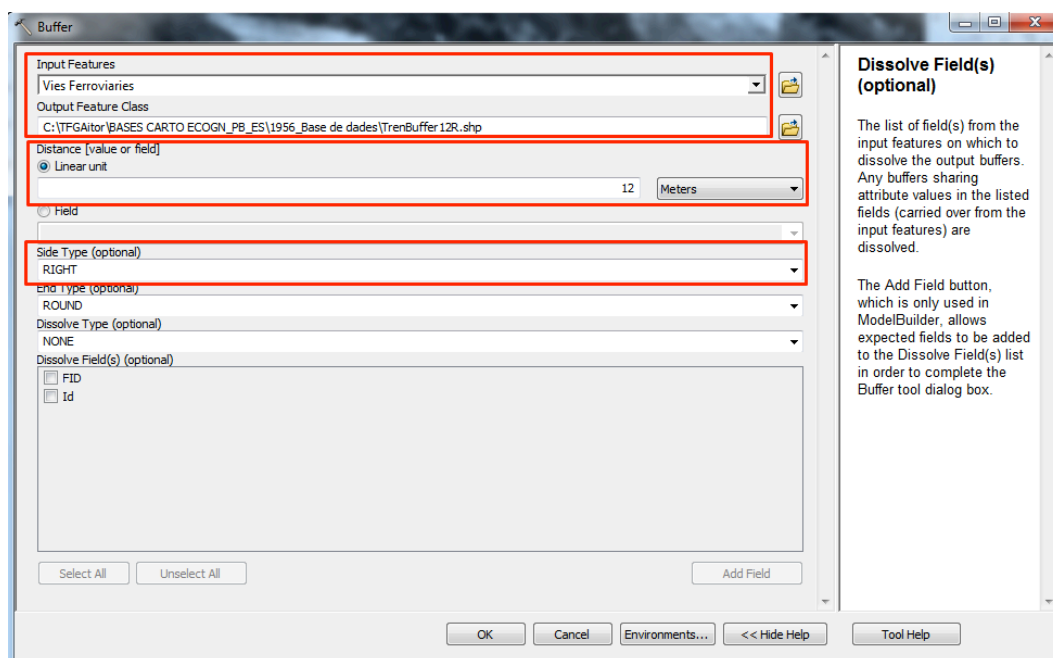
Un cop donem per conclòs la digitalització de les vies de comunicació, és hora de crear els polígons. Hem d'anar a l'opció de *Extensions*, en *Customize* i fer clic en *Network analyst* i *Spatial analyst* per activar-les. Seguidament anirem a l'opció de *Geoprocessing* i activarem la funció de Buffer (imatge 8). Aquesta funció ens permet crear polígons a partir de la línia creada en l'edició. El procediment és el següent:

- *Input Features*: Escollirem el *shp* que hem creat per editar les nostres vies de comunicació.
- *Output Features Class*: en aquesta finestra hem d'indicar quin és el directori de sortida on volem guardar el nostre shp amb el buffer realitzat.
- *Distance*: Seleccionarem l'amplada dels polígons en el sistema mètric que vulguem. En el nostre cas hem escollit metres.
- *Side Type*: podem escollir entre *Full* (el polígon es crea a banda i banda de la línia, és a dir, si escollim una distància de 6 metres, el buffer és creat a 3 metres a cada banda de la línia), *Right* (si volem que el buffer es creï a la dreta de la línia) o *Left* (si desitgem que el buffer es creï a la esquerra).

Després d'aquest pas ja tindrem creat el *shp* de vies de comunicació.

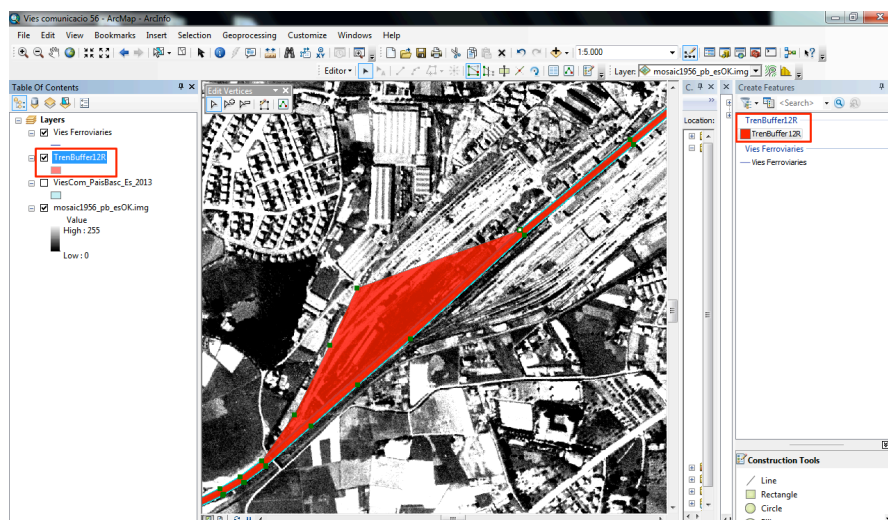
Aquest mateix procediment l'hem realitzat per a:

- Camins: amb una *Distance* de 5 metres.
- Carreteres: amb una *Distance* de 10 metres.
- Vies ferroviàries: amb una *Distance* de 12 metres.



Imatge 9. Font d'elaboració pròpia amb Arcgis per mostrar el procediment de la funció Buffer.

Així doncs, al finalitzar la tasca tenim tres *shp* diferents. En tots els casos hem hagut d'utilitzar l'editor dels vèrtexs per modificar el *buffer* en el cas de camins o carreteres (fer-les més amples o més estretes) i en el cas de les vies ferroviàries per incloure l'estació de tren i vies mortes on estacionen els trens que no s'utilitzen.



Imatge 10. Font d'elaboració pròpia amb Arcgis per mostrar el procediment de modificació del vèrtex a

eCOGNITION

Una vegada tenim tota la base cartogràfica creada, s'ha iniciat el procés de digitalització. Aquest procés l'hem realitzat amb el software *eCognition Developer 8.7*. Bàsicament, aquest software ens ajuda a realitzar els processos de segmentació i fotointerpretació del territori mitjançant una digitalització semi-automatitzada. Aquesta tasca s'ha realitzat per a la foto aèria del País Basc Espanyol de 1956 i l'ortofotomapa de l'any 2013, ja que no hi ha una base de dades dels usos i cobertes del sòl, a diferència de Catalunya on existeix la base de dades del CREAM.

Per tal d'entendre millor el funcionament del software cal remarcar que aquest té una funcionalitat jeràrquica basada en:

- Scene/Escena: Zona de treball en format, per exemple IMG, on hi ha una informació associada. En aquest cas són els ortofotomapes.
- Map/Mapa: Combinació entre una *Scene* i una jerarquia d'objectes d'imatge (*Image Object Hierarchy*) després veurem el seu procediment. Cada vegada que vulguem definir un procés per a la *Scene* mitjançant un algoritme es realitzarà en aquest nivell, en el *Map*.
- Project/Projecte: És un fitxer amb extensió *.dpr* que conté la imatge i informació associada. Cada vegada que cliquem la tecla de guardar se'ns guarda un projecte nou. Hem creat un *project* per a cada una de les parts de la imatge processada.
- Work space/Zona de treball: Contenedor de projectes que ens permet agrupar-ne diversos junts. Durant el nostre anàlisi hem decidit crear un *work space* per a cada any, País Basc Espanyol de 1957 i 2013.

La fotointerpretació és el procés pel qual s'extreu informació continguda en la fotografia aèria (Varga Linde 2008, R. Pastor, 2015). És el pas previ a la digitalització, és a dir, el pas previ a l'edició gràfica per a generar dades cartogràfiques digitals dibuixant les

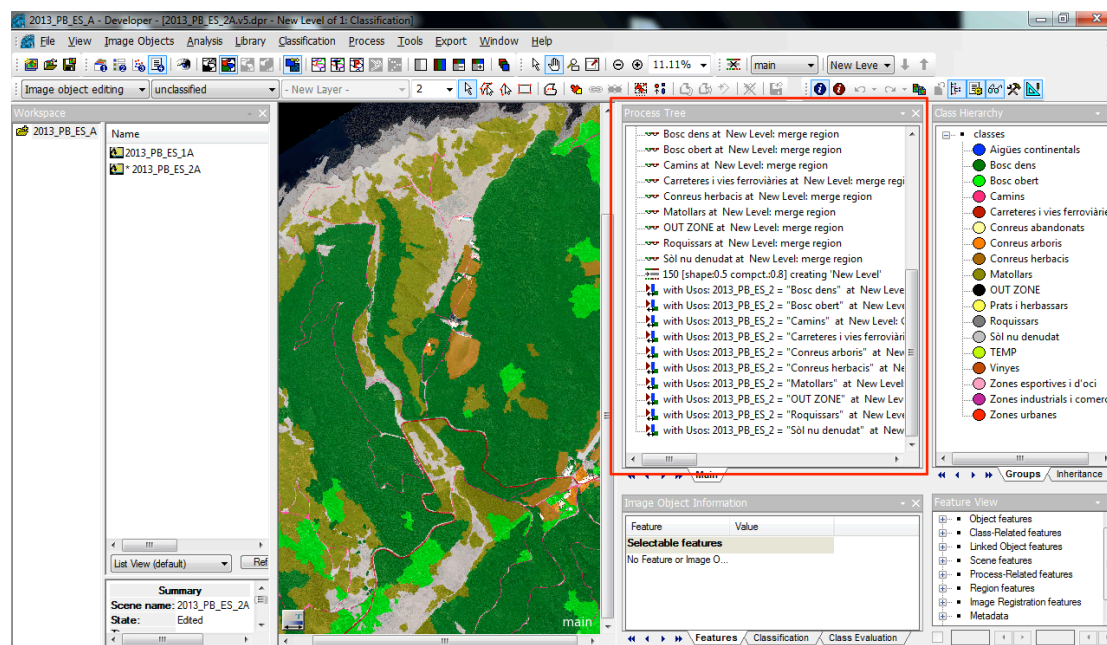
formes dels elements geomètrics de mapes analògics o d'imatges (Roser, 2015). L'objectiu en aquest cas és la creació de capes dels usos i cobertes del sòl del País Basc Espanyol.

→ *La metodologia amb l'eCognition és bassa en dues premisses:*

- La segmentació: és el mecanisme pel qual la imatge introduïda és fragmentada en diferents segments. Aquests segments, tots ells irregulars, s'anomenen *Images Object* o Objectes d'imatge i són fruit d'un algoritme anomenat *Multiresolution segmentation*. La manera en la que arriben fins aquest punt l'explicarem més endavant.
- La classificació: consisteix en assignar una classe (tipus d'ús o coberta del sòl) als diferents objectes d'imatge generats durant la segmentació. Prèviament hem hagut de fer una *Class Hierarchy* o jerarquia de classes que és una llegenda dels usos i cobertes del sòl. Així doncs li hem donat a cada Objecte d'Imatge (segment) una jerarquia de classe (tipus d'ús o coberta del sòl).

→ *Exemple del procediment de digitalització amb eCognition Developer 8.7.*

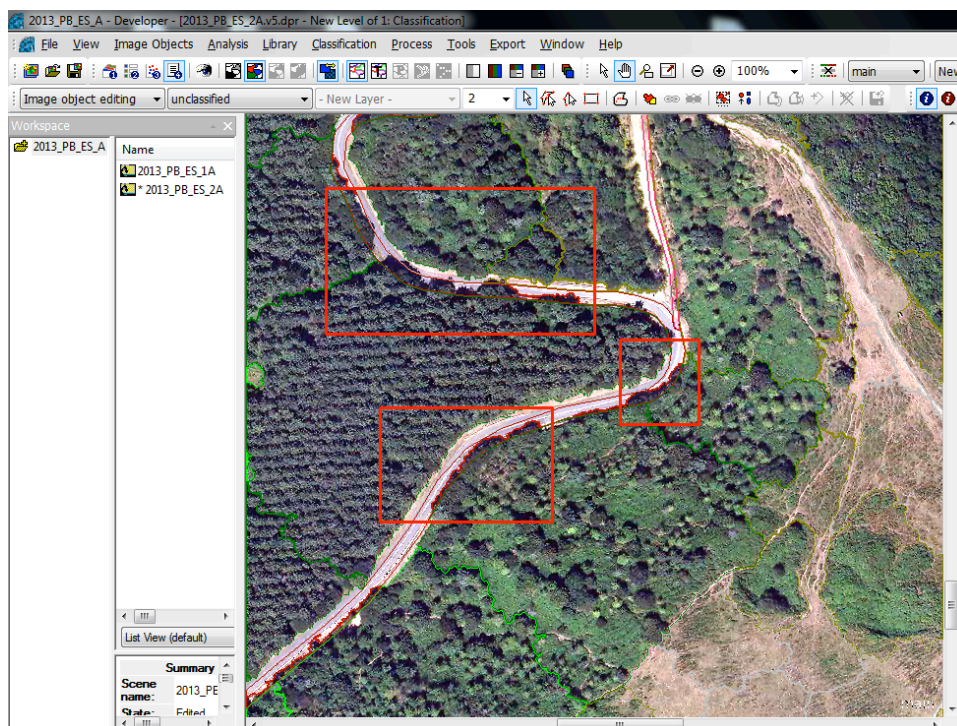
Com ja s'ha comentat amb anterioritat l'eCognition funciona amb algoritmes que executem mitjançant els *Process* o processos. Aquests processos que nosaltres executem s'incorporen al *Process tree* o Arbre de processos al nostre *Workspace* del software. En aquesta finestra (Process Tree) és on estan tots els processos que hem executat o que ens disposem a fer-ho.



Imatge 11. Font d'elaboració pròpia amb l'eCognition.

La fotointerpretació i digitalització amb *eCognition Developer 8.7* presenta dos avantatges. La primera avantatge, és el procés de segmentació. Aquesta funció es fa de forma automàtica a partir d'uns paràmetres de mida, forma i color dels segments. La segona avantatge, és que aquest software ens permet incorporar fitxers, com per exemple *shapefiles* i que aquests siguin presents a l'hora de segmentar la imatge. És aquí

on radica la importància d'utilitzar el software *Arcgis* per digitalitzar les vies de comunicació (pag.11). La importància està en el fet de que quan l'*eCognition* segmenta la imatge mitjançant els paràmetres de mida, color i forma, no té en compte les vies de comunicació. En molts casos, sobretot en carreteres secundàries i camins la segmentació de la carretera no es produeix perquè aquesta queda tapada per la massa forestal.



Imatge 12. Font d'elaboració pròpia amb l'eCognition que mostrar com la vegetació impedeix la correcta segmentació de les vies de comunicació.

Així doncs, la feina prèvia amb l'*Arcgis* ens facilita moltíssim la tasca de classificació. Ja que no hem d'editar els segments manualment per a què les carreteres puguin ser classificades com a tal. Amb la possibilitat d'introduir *shapefiles* també cal destacar que podem introduir la limitació de l'àrea d'estudi.

→ **Creació d'un Workspace o zona de treball i els Projects o projectes.**



En la creació del projecte és on hem d'introduir totes les dades per poder digitalitzar. Aquestes dades són tots els *shapefiles* que en el nostre primer Project han sigut el *shapefile* de camins, vies ferroviàries i carreteres i l'àrea d'estudi. L'*eCognition* ens permet seleccionar un fragment del total de la imatge. Aquesta funció ens proporciona poder agilitzar notablement el temps de segmentació, ja que si la imatge té molt de pes, molts *Mega Bytes* (Mb), aquest procés serà molt lent i possiblement el nostre treball és ralenti molt. Aquesta opció es pot fer clicant sobre l'opció de *Subset Selection* o Selecció de subconjunt.

Imatge 13. Font d'elaboració pròpia amb eCognition per mostrar la selecció del geocondig.

En aquesta opció és molt importat seleccionar l'opció de *Geocondig for Subset* o Geocodificació de Subconjunt. Seleccionada aquesta funció estem proporcionant a la imatge nova que segmentarem, les coordenades de la imatge

de referència. Així doncs, quan tinguem tota la imatge acabada podem unir les imatges processades i que aquestes estiguin correctament localitzades en l'espai. Per realitzar la imatge del País Basc Espanyol de l'any 2013 ens han fet falta processar un total de 7 imatges diferents. Per a la imatge de l'any 1956 han sigut 3 imatges.

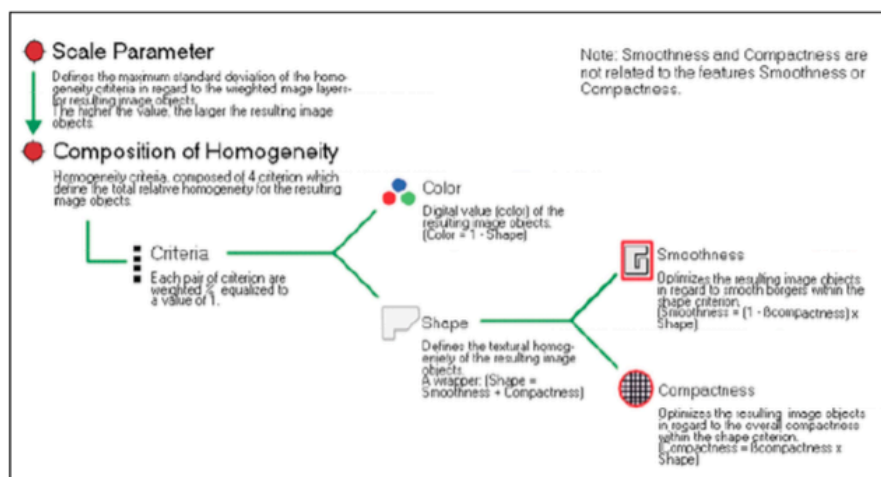
→ **Creació de Class Hierarchy.**

Aquest procés de creació simplement consta en la formació d'una llegenda per atorgar un valor als usos i cobertes del sòl. Hem categoritzat la llegenda tan sols amb un nivell jeràrquic que consisteix en aigües continentals, boscs dens, bosc obert, camins, carreteres i vies ferroviàries, conreus arboris, conreus herbacis, conreus abandonats, sòl nu, roquissar, prats i herbassars, out zone, zones d'oci i esportives, i zones urbanes.

→ **Segmentació de la imatge mitjançant l'algoritme Multiresolution Segmentation.**

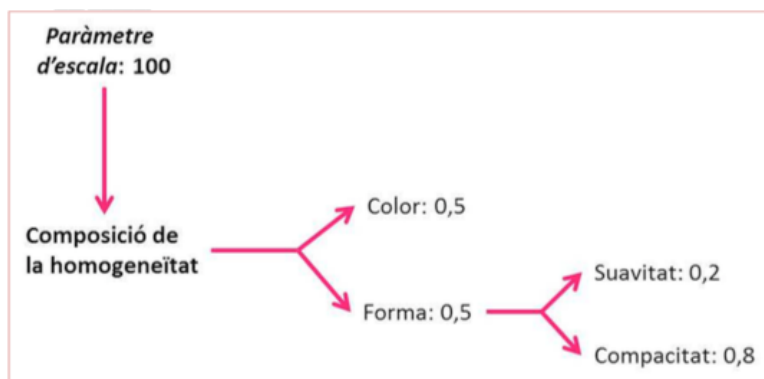
Aquest algoritme (*Multiresolution Segmentation*) és el que ens facilita la tasca de segmentació de la imatge. Aquest procés es basa en la unió de diferents píxels o bé en la unió de *Object Image* per crear nous *Objects Images*. En el nostre cas el que hem fet ha sigut la unió de diferents píxels (milers) per formar *Object Image* homogenis i són aquest els que formen els diferents segments a classificar. L'homogeneïtat dels píxels es busca en dos factors: el valor espectral i la forma, per tant, a partir del color i la forma, la imatge serà segmentada (Roser, 2015). Així doncs, hem definit els diferents paràmetres:

- **Image Layer weights:** en aquesta opció hem de seleccionar (1) o de-seleccionar (0) els diferents *shp* que vulguem que es tinguin en compte per segmentar. En el nostre cas i per a la primera imatge el *shp* de camins, carreteres i vies ferroviàries i l'àrea d'estudi.
- **Scale parametre:** terme abstracte que determina el màxim d'heterogeneïtat permesa en els Objectes d'imatge resultants. Com major sigui el nombre que definim com a paràmetre d'escala, més gran serà la mida dels Objectes d'imatge, i per tant més heterogeneïtat contindrà (Roser, 2015).
- **Compsiton of homogeneity criterion:**
 - **Criteri de forma:** està format per paràmetres, el de suavitat (*Smoothness*) i el de compacitat (*Compactness*). Un va en detriment de l'altre i amb un valor que oscil·la entre 0 i 1. Així doncs, si l'hi donem un valor de 0,8 al paràmetre de compacitat, ens crearà segments amb una compacitat general proporcionalment superior a la suavitat i per tant, les fronteres entre els Objectes d'imatge seran molt pocs suaus, és a dir, poc arrodonits i poc geomètrics.
 - **Criteri de Color.**



Imatge 14. Font de R. Pastor, 2015

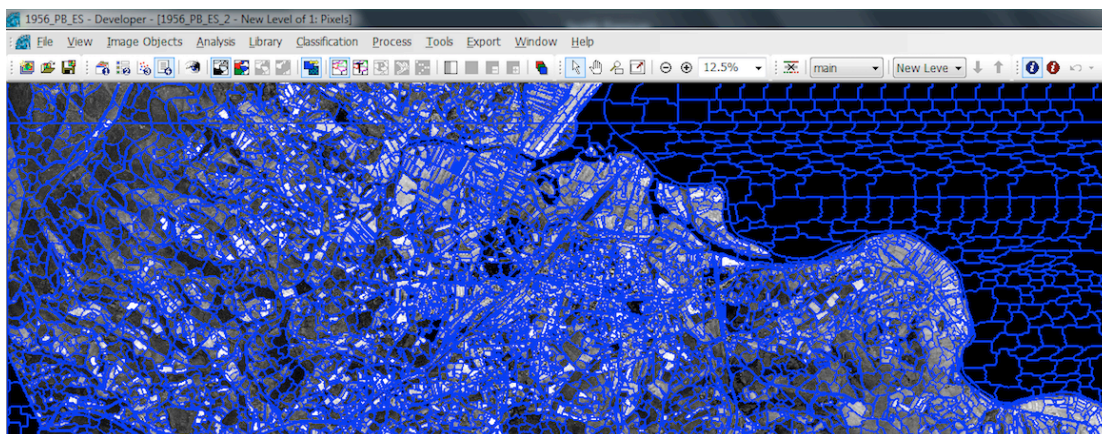
Per al nostre treball els paràmetres s'han definit de la següent manera:



Imatge 15. Font de R. Pastor, 2015

Els criteris es basen sobre un paràmetre d'escala sobre 100. Així doncs en la composició de l'homogeneïtat hem donat un valor del 50% a cada un dels criteris principals, color i forma. Dins del 50% de la forma un 20% és el valor per la suavitat i per tant el 80% restant és per la compacitat dels Objectes d'Imatge.

Una vegada tenim tots els criteris definits hem, d'executar la funció de *Multiresolution Segmentation*. El resultat és el següent:



Imatge 16. Font d'elaboració pròpia amb l'eCognition per mostrar el procés de segmentació.

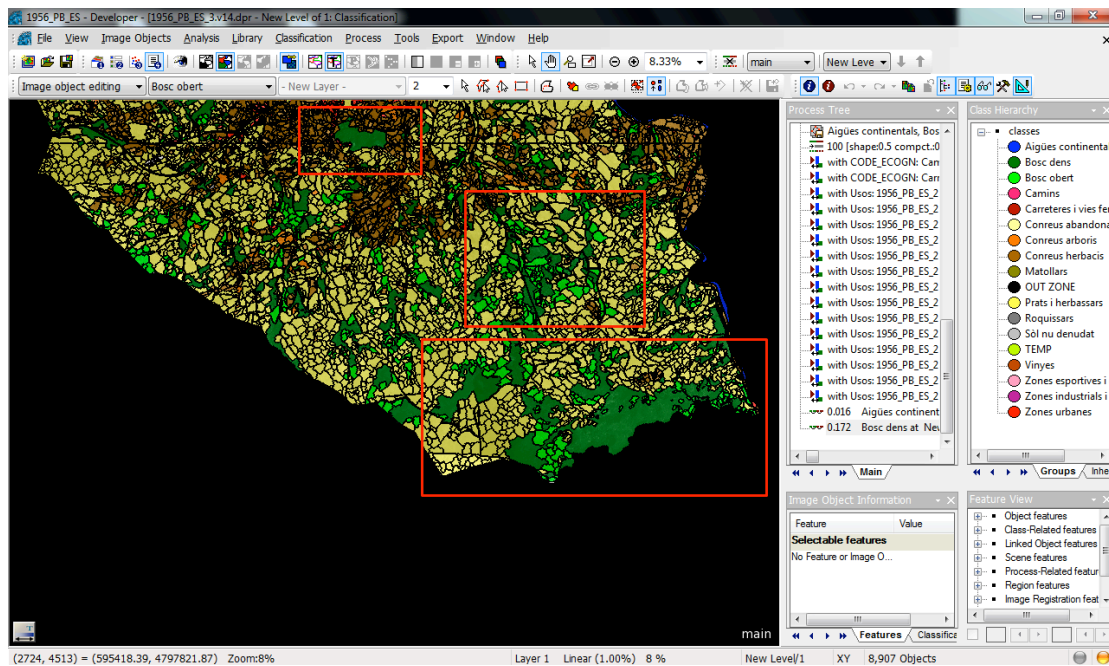
→ *Classificació manual dels segments:*

Aquesta classificació es fa a partir de les eines presents a la barra d'eines d'edició manual (*Manual Editing Toolbar*). La digitalització és un mecanisme pel qual, clicant a sobre d'un segment (el que volem classificar), i assignant-li una classe determinada li estem donant a aquest segment un valor classificatori, com per exemple, Bosc dens. La classificació és pot dur a terme amb els segments presents o sense ells, sent aquesta última opció la més adient, ja que no ens veiem condicionats per la mida del segment alhora d'assignar una classe.

En el cas de les vies de comunicació hem fet servir un altre algoritme, *l'Assing class*. Aquest algoritme ens permet introduir el valor ja atorgat amb anterioritat (en el *Arcgis*) als segments introduïts mitjançant els *shp* de carreteres, vies ferroviàries i camins.

→ *Unió de tots els segments d'una mateixa classe.*

Una vegada classificat tots els segments és hora d'unir-los. Per fer-ho fem servir un altre algoritme, el *Merge*. Aquesta funció ens permet treballar en l'àmbit de segment, és a dir, té la capacitat de treballar a nivell d'Objectes d'Imatge, encara que les possibilitats que té són molt més amplies. Hem executat el nostre algoritme *Merge* per cada una de les classes individualment. En finalitzar aquesta tasca hem adquirit una imatge on els mateixos nivells de classificació s'han unit per formar un sol segment. Així doncs, per posar un exemple, tots els segments classificats com a Bosc dens s'hauran unit per formar un sol segment tal com podem observar a la imatge.



Imatge 17. Font d'elaboració pròpia amb l'eCognition per mostrar la funció *Merge*.

→ *Conversió en format shapefile de la digitalització finalitzada i digitalització de la següent subselecció.*

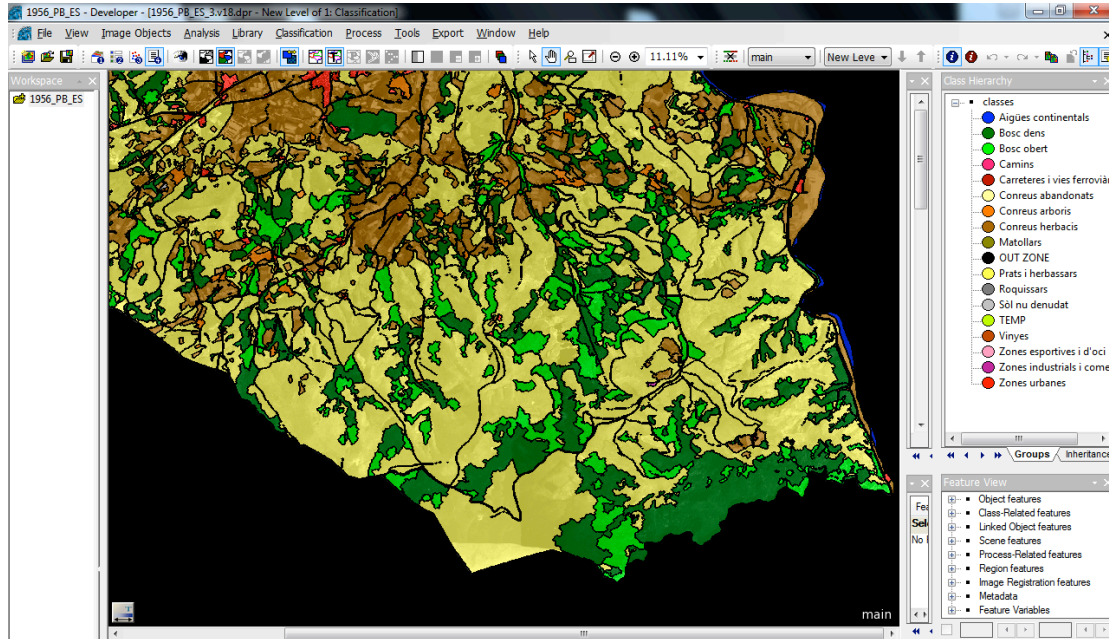
Un cop hem finalitzat la digitalització, el següent pas per crear una base de dades és exportar els *Image Object* del *eCognition* per poder passar-ho a un *shapefile*. Aquest mecanisme el podem dur a terme mitjançant un altre algoritme, el *Export Vector Layer*. Hem definit els següents paràmetres:

- **Class filter:** hem d'escollir totes les classes de la nostra llegenda per a què l'*eCognition* ens pugui crear la taula d'atributs amb les classes seleccionades.
- **Export mode:** Use explícit path
- **Export path:** aquí escollirem el directori on guardarem el *shp* que hem creat. Aquí hem escrit també el nom del *shp*.
- **Attribute table:** és aquest paràmetre el més important de tots perquè és aquí on creem la taula d'atributs del *shp* amb la informació dels usos del sòl que hem atribuït a cada *Image Object*. En el nostre cas, tan sols hi ha una classe jeràrquica. Aquí podem escollir el nom que volem per a la taula d'atributs. El que és molt recomanable per facilitar la tasca quan passem el *shp* al *Arcgis* és que totes les taules de tots els projectes que hem creat tinguin el mateix nom, perquè així,

ahora de fer un *Merge* per unir tots els projectes al *Arcgis* no tenir cap problema en la unió. El nom a escollir per la taula d'atributs és *Usos*.

- **Shape type:** hem escollit l'opció de *Polygons* perquè és el que creem amb aquest algoritme.

Un cop posats tots el paràmetres correctament hem de clicar *Execute* i el *shp* ja estarà creat. Aquí és on acaba el procés per al primer projecte i el nostre resultat amb l'eCognition és aquest:



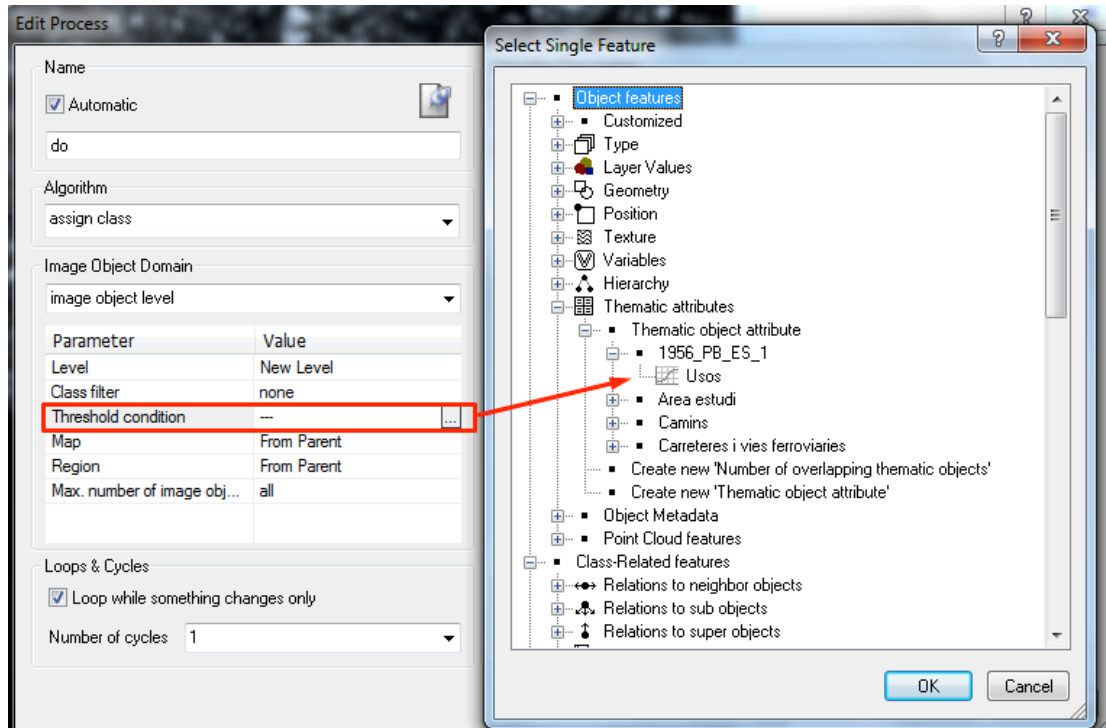
Imatge 18. Font d'elaboració pròpia amb l'eCognition per mostrar el resultat final d'una part del projecte amb l'algoritme *Merge*

En aquest punt és on entra de nou el *Arcgis*. El *shp* que hem creat l'obrirem amb aquest programa, aleshores hem d'observar que en cap cas ens quedi cap petita àrea o píxel amb la categoria de *unclassified*. Si fos així, hauríem de localitzar l'àrea o píxel amb l'eCognition, donar-li la classe que li pertany, fer un nou *Merge* per aquesta classe i de nou executar la imatge per crear un nou *shp* corregit. Aquest procés és molt senzill des del moment que localitzem l'àrea o píxel a classificar perquè durant tot el procés de segmentació i fotointerpretació hem fet funcions diferents per a cada procés, és a dir, hem clicat un nou *Append New* per a cada *Merge* que volíem fer de cada classe i així, a l'hora de corregir la imatge no hem d'introduir de nou tots els paràmetres sinó que simplement hem de modificar la imatge i clicar *Execute*. Per últim crearem una llegenda a cada ús del sòl que serà la mateixa per a cada imatge.

A continuació hem de realitzar els mateixos passos que abans, però amb unes petites modificacions que ens agilitzaran la tasca per fer el següent projecte. Paràmetres que hem afegit:

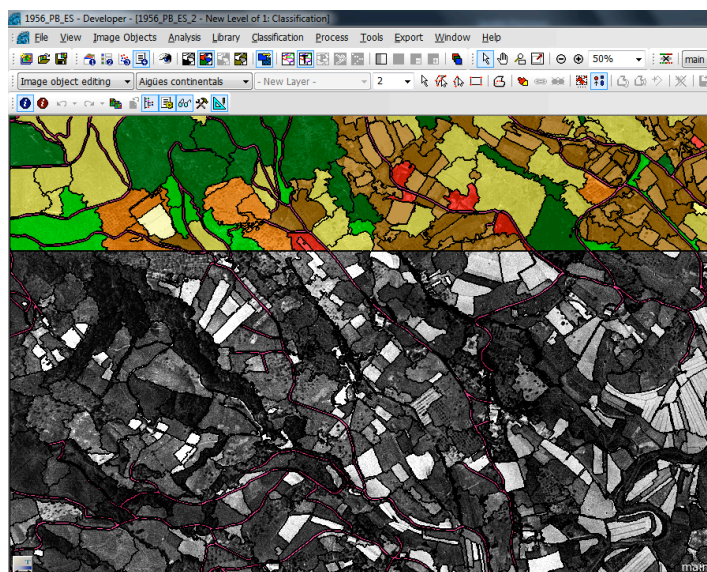
Al crear un nou projecte hem de seleccionar de nou una petita àrea de treball respecte a l'àrea total que hem d'analitzar. Per a poder aconseguir això hem de tornar a carregar la imatge de tota l'àrea d'estudi. Els *shps* que hem utilitzat han sigut els mateixos que per al primer projecte, és a dir, camins, àrea d'estudi, carreteres i vies ferroviàries, però en aquest cas també seleccionarem el *shp* que hem creat al projecte anterior. La introducció d'aquest *shp* ens facilita la tasca a l'hora d'escollir el segment que volem analitzar en el projecte actual i a més hem d'escollir una subàrea del primer projecte perquè així garantim que no es quedi cap segment sense digitalitzar, tal com mostra la imatge.

També hem de garantir que aquests segments que estan en la subàrea tinguin la mateixa classe que al primer projecte. Abans de realitzar la funció oportuna hem de fer un pas previ. Hem d'incorporar el fitxer en format *shapefile* amb els resultats de la digitalització de la zona adjacent (primer projecte) com a capa temàtica (*Thematic Layer*). Una vegada tenim carregada aquesta capa, hem de fer servir una funció algorítmica anomenada *Assign Class* i la qual assigna la classe escollida del shp anterior, per exemple Bosc dens, i l'atorga a la subàrea.



Imatge 19. Font d'elaboració pròpia amb eCognition per mostrar l'assignació de classe dels usos del shp anterior.

El resultat d'aquesta funció es mostra en aquesta imatge.



Imatge 20. Imatge x: Font d'elaboració pròpia amb eCognition per mostrar el resultat final fruit de l'assignació de classe del shp anterior.

El pas següent es fer la funció algorítmica de *Multiresolution segmentation*, tenint en compte que hem d'escollir en el paràmetre de *Image Layer Weithing* la capa temàtica del *shapefile* format en el primer projecte. És important també que en tots els projectes que realitzem durant aquest procés, el *Scale parametre* sigui sempre el mateix, com també la *Composition of homogeneity criterion* per a què la digitalització sigui correcta.

A continuació explicarem l'assignació de classe per a la subàrea:

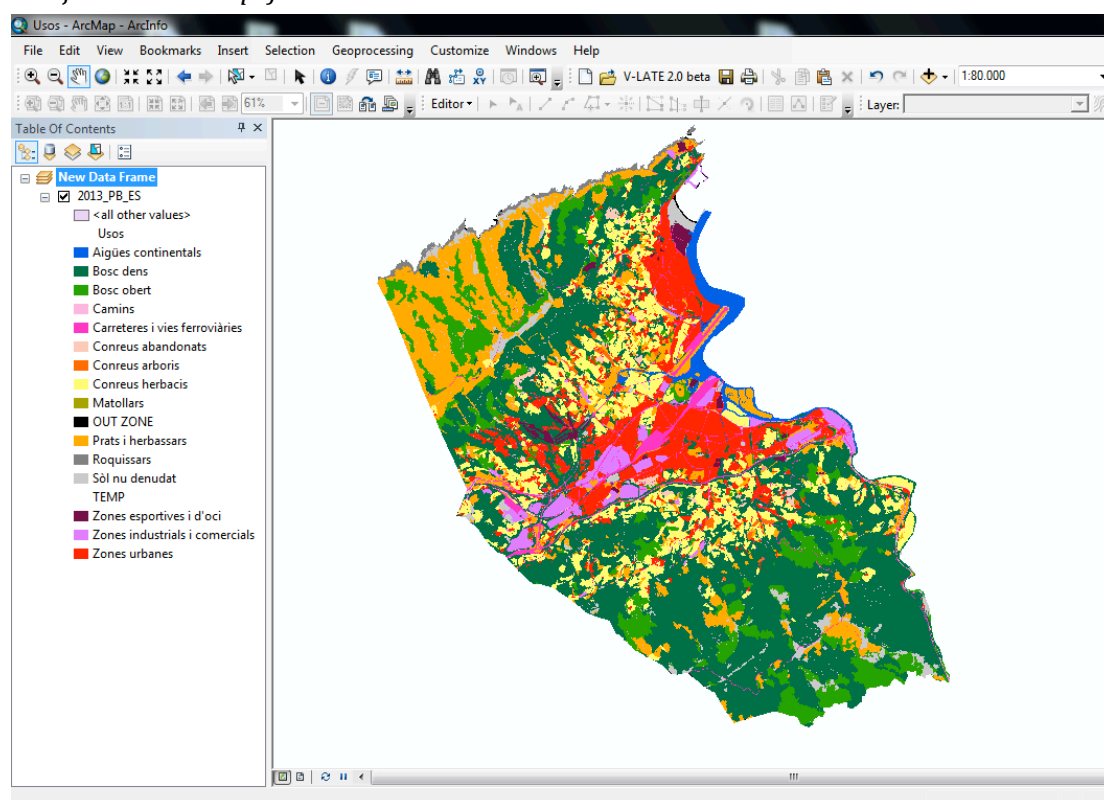
- Utilitzarem l'algoritme de *Assign Class*.
- Utilitzarem la condició de classificar per nom, és a dir, atribuirem als segments de la subàrea la categoria classificatòria del *shp* anterior i filtrarem per aquell mateix *Class_name* amb el *Use name*.
- Aquest pas el realitzarem per a totes les classes presents.

Un cop finalitzat aquest procés hem de continuar amb la fotointerpretació de la imatge segmentada i fer aquests mateixos processos fins a finalitzar la totalitat de l'àrea.

Quan ja tenim tots els *shapefiles* creats i corregits és hora d'unir-los i crear un sol *shapefile* amb tota la informació dels usos i cobertes del sòl. La metodologia és la següent:

- Fem un *Merge* de tots el *shapefiles* per unir-los.
- Procedim a fer un *Dissolve* sobre el *Merge* que hem realitzat per a unir tots els usos del sòl que siguin de la mateixa classe.
- Utilitzem l'eina *Clip*, amb la base de l'àrea d'estudi per eliminar tot allò que quedi fora de la nostra àrea d'estudi.
- Li donem a cada ús el color que li pertoca de la llegenda de forma automàtica.

Ara ja tenim el *shapefile* dels usos i cobertes del sòl.



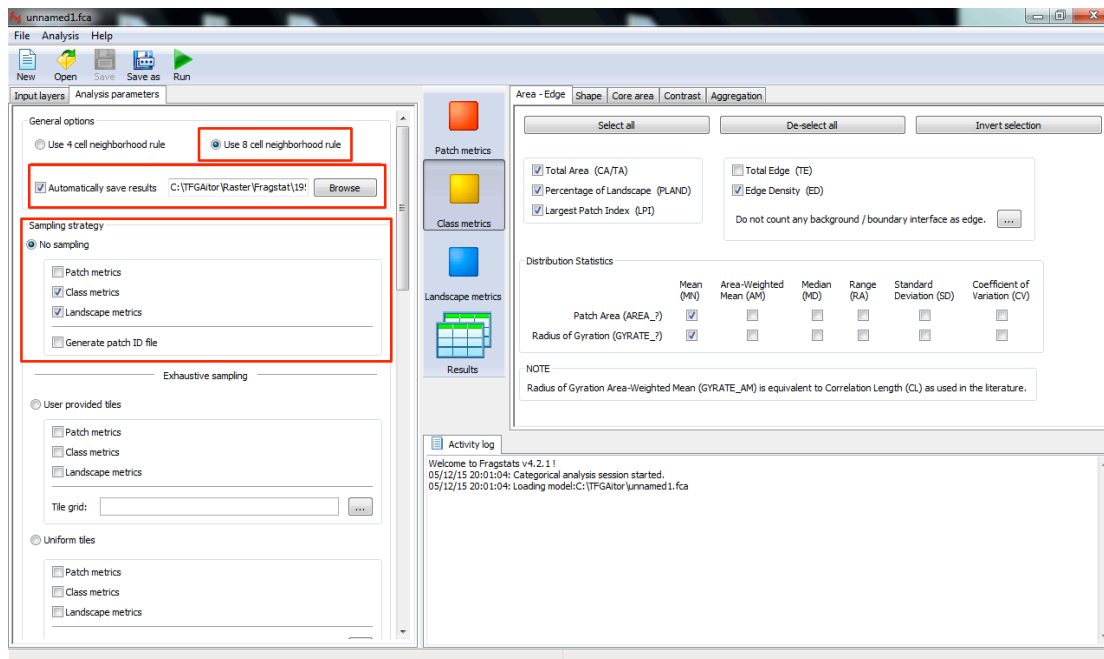
Imatge 21. Font d'elaboració pròpia amb Arcgis per mostrar el resultat final del projecte.

FRAGSTAT.

Aquest és un software dissenyat per calcular una àmplia varietat de índexs sobre el paisatge que des de l'any 1995 és de domini públic. Els seus dissenyadors ho expliquen dient que “és un software d'anàlisi de patrons espacials per a quantificar l'estructura del paisatge” (David Cocero et al 2010) Els càlculs de l'índex del paisatge es poden calcular amb tres nivells:

- A nivell de tessella, on s'apliquen els càlculs a cadascun dels fragments.
- A nivell de classe, on els càlculs són aplicats al conjunt de fragments de la mateixa classe, és a dir, aquells que tenen el mateix valor o representen el mateix ús del sòl.
- A nivell de paisatge, on s'apliquen els càlculs al conjunt de tot el paisatge, és a dir, a tots els fragments i classes alhora.

Per calcular els diferents índexs del paisatge hem d'introduir el *shapefile* en format *raster* en la pestanya de *Input layers*. En la pestanya de *Analysis parametres* donar-li un directori de sortida per a què ens guardi els resultats, i clicar *Automatically save results*, per a què aquest procés sigui automàtic, clicar en la casella *Use 8 cell neighborhood rule* en *General options* i per últim clicar, en *Sampling strategy*, *No sampling*, les opcions de *Class mètrics* i *Landscape mètrics*.



Imatge 22. Font elaboració de font pròpia amb FRAGSTAT per mostrar els diferents paràmetres d'anàlisi i els índex.

A continuació explicarem els diferents índexs del paisatge escollits en cada paràmetre.

→ Índexs calculats a nivell de classe.

- **Number of patches (NP):** nombre total de tesselles d'una classe determinada.
- **Total class area (CA):** suma de les àrees dels fragments d'una classe determinada.
- **Percentatge of Landscape (PLAND):** tant per cent que ocupa una classe determinada sobre el total del paisatge.

- **Patch Density (PD):** nombre de tesselles d'una classe determinada per cada 100ha.
- **Largest Patch Index (LPI):** tant per cent que ocupa sobre el paisatge la tessella més gran de cada classe.
- **Edge Density (ED):** metres per hectàrea de la longitud total de vores de cada tipus de classe.
- **Landscape Shape Index (LSI):** grau que ocupen els segments d'una determinada classe sobre la totalitat del paisatge.
- **Mean Patch Size (AREA_MN):** àrea mitjana dels segments per cada classe.
- **Perimeter-Area Fractal Dimension (PAFRAC):** indica la complexitat de les formes.
- **Euclidean Nearest Neighbor Distance_Mean (ENN_MN):** mitjana de la suma de les distàncies existents des de la vora d'un fragment més proper de la mateixa classe.
- **Patch Cohesion Index (COHESION):** mesura la connectivitat física de les tesselles d'una classe determinada.

→ *Índex calculats a nivell de paisatge.*

- **Number of Patches (NP):** nombre total de tesselles d'una classe determinada.
- **Patch Density (PD):** nombre de tesselles d'una classe determinada per cada 100ha.
- **Edge Density (ED):** metres per hectàrea de la longitud total de vores de cada tipus de classe.
- **Contagion (CONTAG):** indica el percentatge d'agregació o desagregació de les tesselles de cada classe en un paisatge determinat. (Configuració del paisatge).
- **Patch Richness Density (PDR):** nombre de classes per a cada 100ha (Composició del paisatge).
- **Shannon's Diversity Index (SHDI):** indica la diversitat de la composició i estructura del paisatge (Configuració del paisatge; heterogeneïtat)
- **Shannon's Evenness Index (SHEI):** uniformitat o dominància d'una classe sobre el total del paisatge.
- **Largest Patch Index (LPI):** tant per cent que ocupa en el paisatge la tessella més gran.
- **Euclidean Nearest Neighbor Distance_Mean (ENN_MN):** mitjana de la suma de les distàncies existents des de la vora d'un fragment més proper de la mateixa classe.

RESULTATS

Composició.

En aquesta taula de resultats podem observar com per a cada any analitzat i cada ús i coberta del sòl tenim representat tant les hectàrees, com el tant per cent que representen sobre la totalitat del territori.

Com queda visible a la imatge de l'any de 1956 (i a la gràfica present en aquesta imatge), l'ús predominant són els prats i herbassars amb 2853 ha, o el que és el mateix, un 40% del territori està assolit per aquest ús del sòl. Seguidament tenim els conreus herbacis amb 1532 ha, un 21% de la superfície total. Per últim, cal destacar la superfície del bosc dens amb 1443 ha i un 20% del territori analitzat. Tan sols amb aquests tres usos del sòl dominants tenim una superfície de 5.830 ha aproximadament, és a dir, un 81% del total del territori. Pel que fa l'any 2013 cal destacar que hi ha més usos del sòl dominants. Aquest fet és un clar indicador de què el territori està més fragmentat que no en l'any 1956. En l'actualitat predomina en gran mesura el bosc dens, el qual pràcticament ha duplicat les seves hectàrees fins a les 2809, sent l'ús del sòl més dominant al territori. Sense deixar de banda els usos forestals, no podem desestimar l'augment del bosc obert que passa d'un 7% a un 11% en l'actualitat, és a dir, un augment de 262ha. Encara que la pujada no sigui significativa, és important, ja que passa a ser un dels usos del sòl amb major proporcionalitat. Cal destacar una baixada considerable en les hectàrees dels prats i herbassars que passen d'ocupar un 40% en 1956 al 13% en l'actualitat (baixada de 1886ha). Seguidament, i no menys important, hi ha una baixada d'un 10% en els conreus herbacis i un augment considerable de la zona urbana, que passa d'estar en un modest 3% al 1956 a un molt important 11% en 2013. Per tant, l'any 2013 l'ocupació dels principals usos del sòl (bosc dens, bosc obert, prats i herbassars, conreus herbacis i zones urbanes) ocupen un total de 6173ha aproximadament, el que representa un 85% del total del territori. Amb aquestes dades i la visualització dels mapes i taules podem observar que la composició del territori durant aquests anys s'ha desenvolupat clarament a una fragmentació del territori, ja que al 1956 hi havia tan sols tres usos i cobertes del sòl dominants que ocupaven un 81% del territori envers de l'actualitat, on hi ha cinc usos i cobertes del sòl dominants que ocupen gairebé el mateix territori, un 85%.

Usos i cobertes del sòl	Any 1956		Any 2013	
	CA(Ha)	PLAND(%)	CA(Ha)	PLAND(%)
Aigües continentals	161,76	2,26	137,06	1,91
Bosc dens	1442,91	20,17	2808,73	39,21
Bosc obert	493,79	6,90	755,58	10,55
Camins	146,95	2,05	75,43	1,05
Carreteres i vies ferroviàries	84,76	1,18	212,53	2,97
Conreus abandonats	3,42	0,05	38,68	0,54
Conreus arboris	65,50	0,92	26,74	0,37
Conreus herbacis	1532,91	21,43	849,04	11,85
Prats i herbassars	2853,97	39,89	968,34	13,52
Roquissar	98,30	1,37	59,98	0,84
Sòl denudat	19,62	0,27	196,32	2,74
Zones esportives i d'oci	6,60	0,09	58,07	0,81
Zones industrials i comercials	19,43	0,27	183,13	2,56
Zones urbanes	224,51	3,14	793,05	11,07
TOTAL	7154,40	100,00	7162,67	100,00

Taula 1. Resultats del total d'hectàrees i el % en la composició dels anys 1956 i 2013

Configuració.

→ *A nivell de paisatge:*

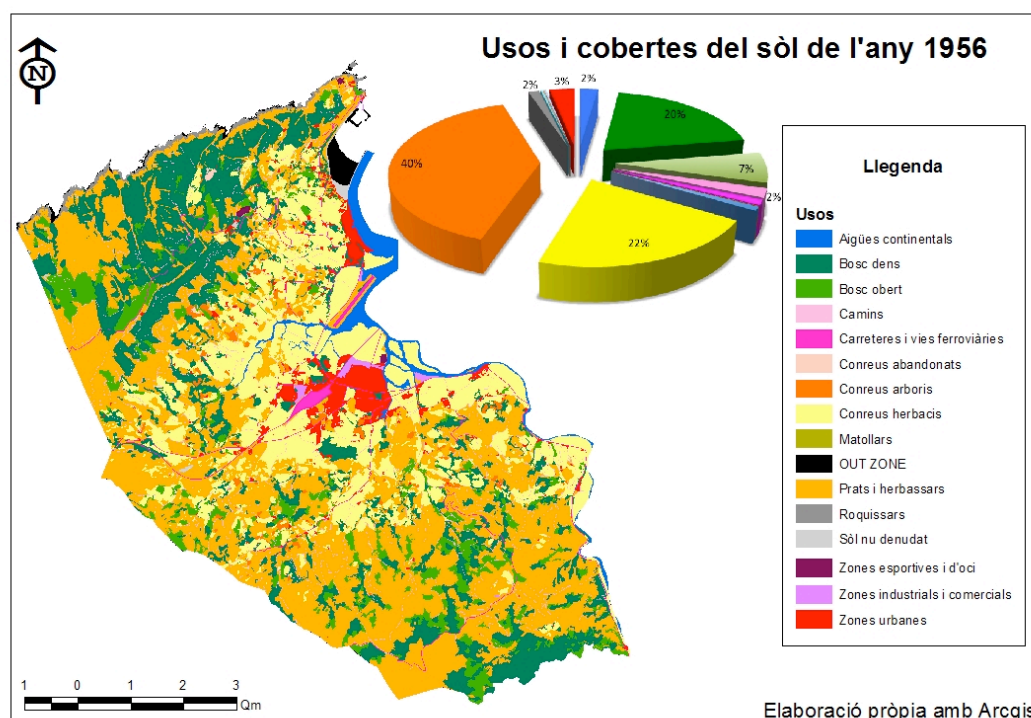
Segons el nombre de tesselles (NP) al territori podem afirmar que el territori està més fragmentat, ja que l'augment dels fragments és molt més elevat en l'actualitat. Aquesta fragmentació també està determinada perquè la densitat de les de tesselles (PD) és més elevada en l'actualitat i continua amb aquest augment segons l'índex que ens indica el tant per cent que ocupa la tessella més gran al territori (LPI). Segons la mitjana de la distància entre tesselles podem observar com l'any 56 aquesta distància és major, per tant, podem intuir que al 56 les tesselles són més grans i estan més separades.

L'ED és gairebé igual. Això és perquè a l'any 56 hi havia menys fragments però les tesselles eren més grans i en l'actualitat hi ha més fragments i més petits.

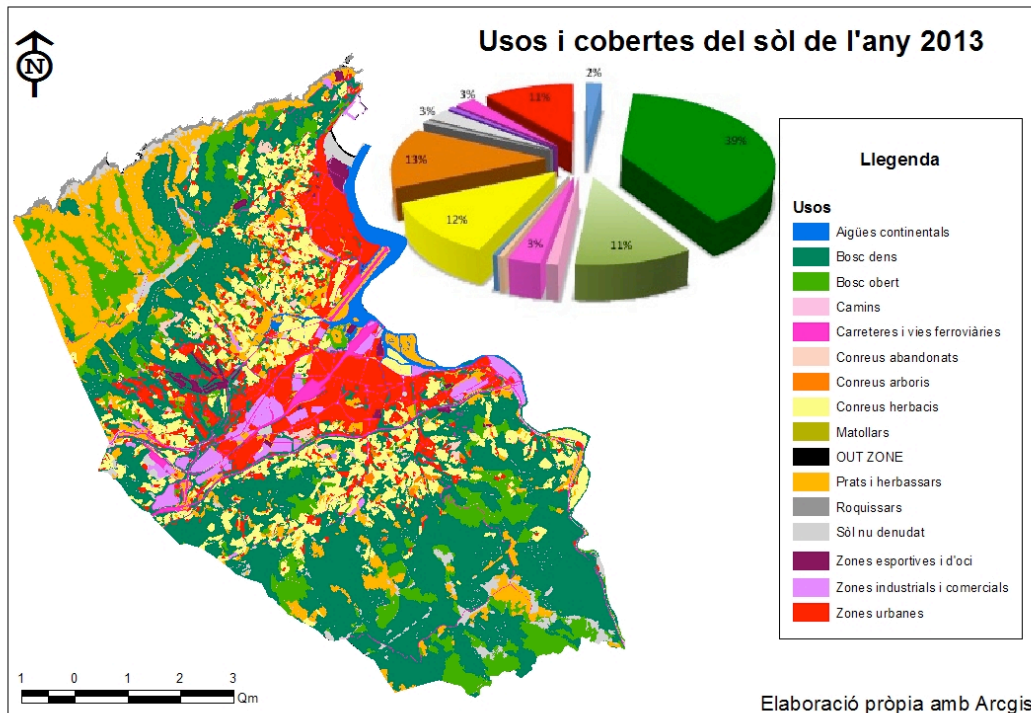
Per últim cal destacar la importància de l'índex de SHEI, el qual ens indica que en els dos anys d'estudi el territori té una tendència cap a l'heterogeneïtat. En l'actualitat més que a l'any 56, ja que és més pròxim a 1.

	NP	PD	LPI	ED	ENN_MN	CONTAG	PRD	SHEI
Any 1956	3811	53,2679	6,9884	282,0906	44,2062	62,5268	0,2097	0,622
Any 2013	13870	193,643	9,5804	284,2064	20,2255	57,7611	0,2094	0,7099

Taula 2. Resultats dels índexs a nivell de paisatge dels anys 1956 i 2013



Imatge 23. Font d'elaboració pròpia amb Arcgis.



Imatge 24. Font d'elaboració pròpia amb Arcgis

→ **A nivell de classe:**

Pel que fa als índexs que determinen les característiques dels boscos, cal destacar que la superfície dels boscos densos en 1956 és molt inferior a l'actual com ja s'ha comentat anteriorment. A més, el bosc dens està més dispers al territori com s'observa a la gràfica de ENN_MN a la pàgina 27 on els valors de l'any 56 són superiors en onze punts a l'actualitat. Tot i això, al 56 existeix una tessel·la més gran al territori a diferència del 2013 tal com observem a la gràfica del LPI, encara que el nombre de tessel·les i la superfície és major en l'actualitat.

El bosc obert té una superfície major d'hectàrees totals en 2013 encara que el nombre de fragments és inferior que a l'any 56, sent aquests fragments més petits, encara que més nombrosos. La distància entre fragments és gairebé igual.

Els conreus herbacis en l'actualitat han disminuït en nombre de tessel·les (PD), però han mantingut la mitjana de l'àrea i han augmentat la distància entre tessel·les. Això significa que, encara que hi hagi una disminució en l'àrea total d'aquest ús, les tessel·les existents s'estan disgregant pel territori. A més, i tal com indica la gràfica de LPI, les tessel·les cada vegada són més petites, per tant estem davant d'un procés de possible fragmentació del territori.

Pel que fa a la superfície de prats i herbassars, tal com hem observat a la composició del paisatge, disminueix considerablement a l'any 2013. La seva dispersió augmenta, tal com exposa el gràfic de ENN_MN, i hi ha un increment important de fragments de menor mida, com podem analitzar a la imatge 28. Malgrat haver-se reduït molt la superfície total, l'LPI no ha disminuït gaire.

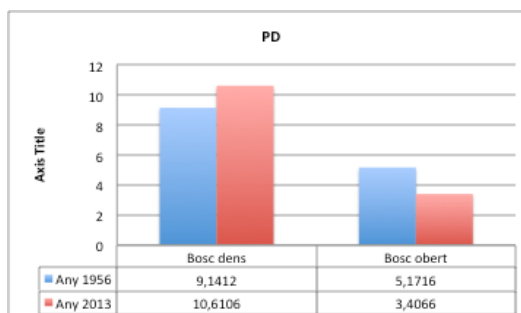
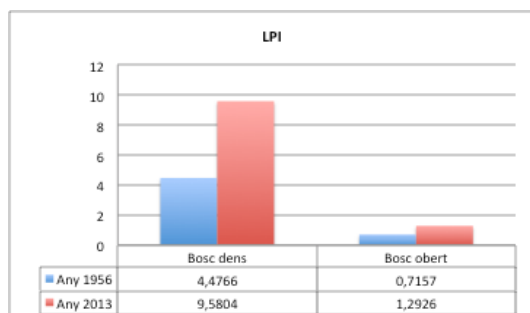
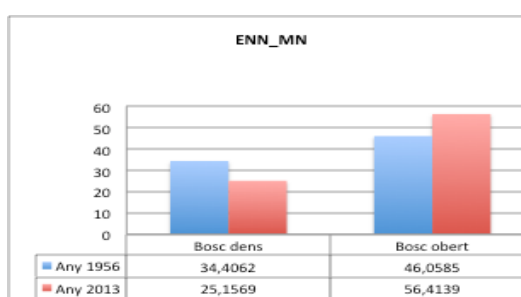
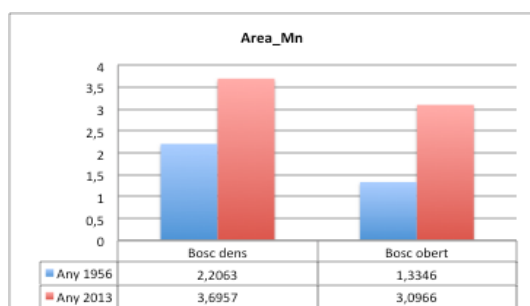
A les zones urbanes cal destacar en primer lloc les zones esportives i d'oci. En aquest ús observem que hi ha un augment considerable de l'àrea mitjana.

Pel que fa a les zones industrials i comercials observem a la gràfica de ENN_MN que la distància entre les diferents tessel·les al 2013 augmenta bastant en comparació al 56

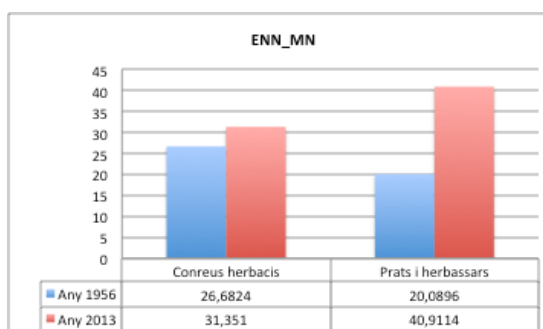
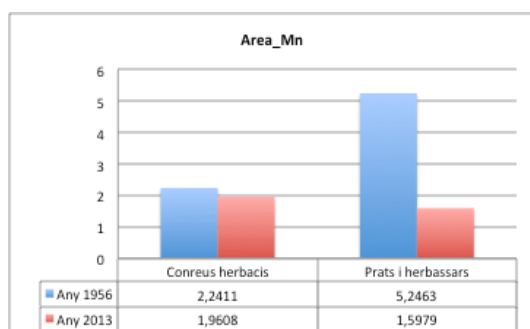
però cal tenir en compte que la superfície total d'aquest ús també augmenta molt, de 19 a 183ha. Aquestes tessel·les no augmenten molt amb la mitjana de l'àrea, ja que encara que la superfície sigui major, en l'actualitat hi ha més tessel·les i són més grans a diferència del 56 que hi ha menys i són més petites. Per tant, la mitjana de l'àrea és pràcticament igual.

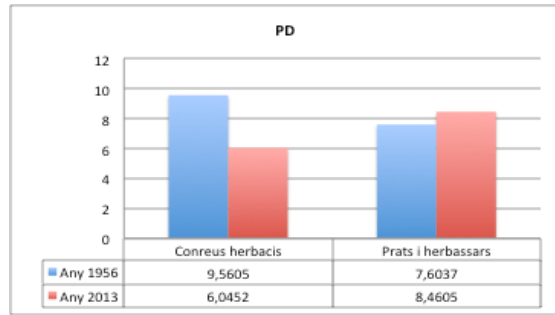
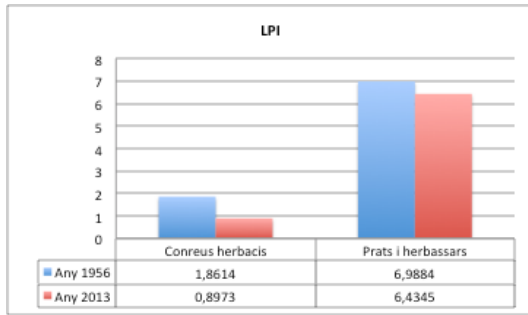
Per últim les zones residencials han tingut una expansió considerable en el territori, passant com ja hem comentat, d'un 3% a un 11% de la totalitat de l'àrea d'estudi. No obstant això, aquest ús està força concentrat, exactament en dues zones determinades del territori. Per tant, és lògic que la ENN_MN sigui tan inferior com mostra la gràfica, que la mitjana de l'àrea i la PD siguin tan superiors respecte l'any 1956.

Bosc

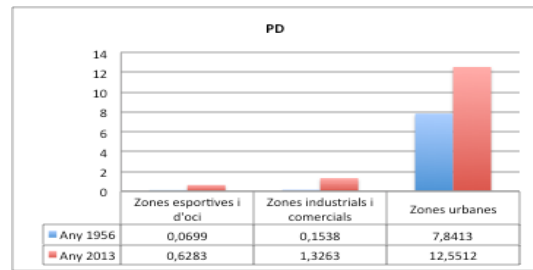
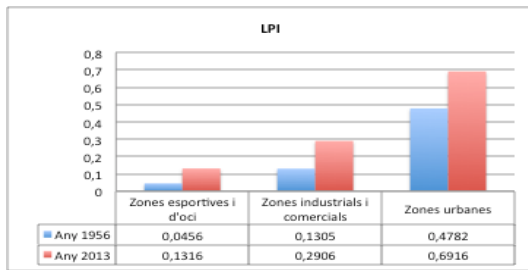
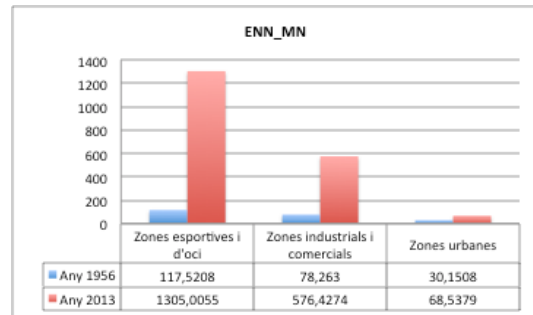
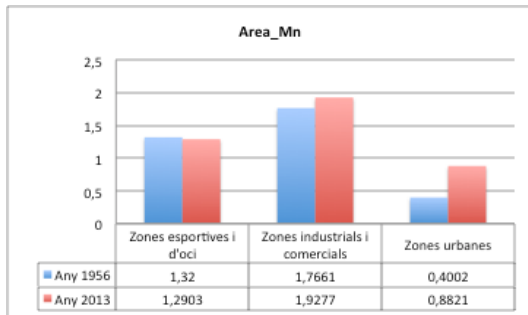


Conreus herbacis, prats i herbassars





Zones urbanes



DISCUSSIÓ I CONCLUSIONS

El procés de digitalització amb el software *eCognition* té un avantatge que és que afavoreix la introducció de fitxers en format *raster*. A més, es pot dur a terme una segmentació mantenint la delimitació per als fitxers introduïts. Un altre punt és que si aquest fitxer *raster* té designat un tipus d'ús o coberta del sòl, podem assignar els corresponents usos de forma automàtica mitjançant un *assign class* i ens estalviem una classificació manual.

Una altre opció clarament positiva és que l'*eCognition* ens aporta la possibilitat de realitzar manualment una classificació dels usos i cobertes del sòl mitjançant l'elaboració prèvia d'una llegenda on s'introdueixen totes les classes a fotointerpretar. Per tant, la possibilitat d'utilitzar la classificació manual com l'automàtica mitjançant l'*assign class* ens proporciona una gran agilitat a l'hora de realitzar la digitalització i la fotointerpretació.

Pel que fa a la qualitat de la segmentació cal destacar que l'*eCognition* segmenta tant les imatges pancromàtiques com les imatges monocromàtiques. A totes les imatges els paràmetres de segmentació han sigut els mateixos i per tant, el criteri d'avaluació per determinar la qualitat de la segmentació es basa en la mitjana de la mida dels segments abans de fusionar-los. Així doncs s'ha observat que una major resolució de la imatge afecta a la qualitat de la segmentació. A més resolució d'imatge, millor qualitat en la segmentació i per tant obtenim un major nombre de fragments segmentats per la imatge de l'any 2013 amb els mateixos valors de *scale parametre* que la imatge de l'any 1956.

Per altra banda, cal remarcar que la segmentació amb l'*eCognition* hauria de ser per a zones el més homogènies possibles i poc antropitzats perquè els resultats fossin de millor qualitat. Això es perquè cada categoria d'ús del sòl té unes característiques diferents. Mentre que les zones més forestals tenen formes més arrodonides, els conreus i zones més urbanes estan formats per una geometria més rectangular. Això produeix una descompensació alhora de donar els criteris de forma, perquè com ja s'ha comentat en la part metodològica en la composició de l'homogeneïtat, a l'apartat de forma, es pot donar més importància a la suavitat (que proporciona formes més arrodonides pròpies de zones menys antropitzades) o a la compacitat (que proporciona formes més rectangulars pròpies de zones urbanes).

Pel que fa als resultat sobre els índexs del paisatge, cal comentar que la progressió amb els anys dels prats i herbassars ha sigut realment important. Aquest ús del sòl ha disminuït fins a un 27% menys en l'actualitat, en detriment del bosc dens el qual ha augmentat un 20% més. Tot fa pensar que, amb una evolució lògica dels espais naturals i amb el pas de 57 anys, ha donat el suficient temps per determinar que la gran majoria, per no dir la totalitat dels prats i herbassars, han passat a bosc dens. A més d'ocupar més superfície, el bosc dens està més ben connectat que en el passat perquè la mitjana de les distàncies entre tessel·les és menor, encara que en el present hi ha més nombre de tessel·les. Si ho comparem amb la connexió entre les tessel·les dels prats i herbassars de l'any 56, observem que aquesta connexió dels boscos densos és lògica perquè els prats i herbassars també la tenien. És a dir, al 56 la mitjana de la distància mínima (ENN_MN) dels prats i herbassar era de 20 metres, el bosc dens a l'any 2013 és de 25 metres, valors molt pròxims que poden ajudar a pensar encara més, que gran part dels prats i herbassars han passat a bosc dens. Cal esmentar que durant el procés de fotointerpretació amb l'*eCognition* vam observar que la gran majoria de bosc obert estava a la perifèria del bosc dens, per tant, podem explicar que gràcies a l'augment del bosc dens també ho ha fet el bosc obert. Això s'explica molt bé amb l'índex del Edge Density a la pàgina 25 en l'apartat de configuració a nivell de paisatge. El resultat per aquest índex al bosc obert que ens dona per als dos anys és el mateix, 40 metres per hectàrea.

Pel que fan els conreus herbacis, cal comentar que el seu descens també és considerable. La baixada d'un 22% a un 12% és conseqüència, en gran mesura, de la gran pujada en l'ocupació de les zones urbanes, comercials i industrials (d'un 3% a un 11%), ja que gran part de les zones ocupades per aquest tipus de conreus estan sent utilitzades per usos residencials, comercials i industrials. Això es pot explicar també com havent-hi un gran nombre d'hectàrees ocupades per conreus herbacis i amb el lògic procés d'èxode de la societat cap a zones urbanes, no s'han abandonat els conreus. És a dir, no hi ha abandonaments dels conreus perquè la gran majoria d'aquest ús del sòl ha estat substituït per zones urbanes, industrials i comercials. Però, perquè s'ha produït aquest èxode del camp a les zones més urbanes? Doncs bé, les causes són realment patents a tota Europa i ha sigut la conseqüència de la globalització. Després de la Segona Guerra Mundial es va accelerar enormement la industrialització amb un augment del desenvolupament de les tecnologies que proporciona a la societat, entre altres molts avantatges, la manera d'arribar molt més ràpid a les necessitats quotidianes. Un clar exemple del augment de les zones urbanes és l'increment en les tecnologies del motor. Els mitjans de transport van dotar a les ciutats de millors mecanismes de repartiment i intercanvi de mercaderies, la qual cosa va produir un acceleració en la connexió entre societat, ciutadans i pobles, que va fer créixer les ciutats ràpidament. Com diu *Marc Antrop 2004*, "la majoria, fent referència a l'augment en la velocitat de les millores tecnològiques, es van associar amb l'augment de la població i el creixement de la urbanització. L'equilibri entre la ciutat i el camp estava trencat i l'augment de la mobilitat va permetre una difusió més ràpida de les innovacions a través de les llargues distàncies". Aquí, en la comarca de Bidasoa, cal destacar la presència de la frontera amb França, la qual cosa produeix una força de canvi notòria a diferència amb altres zones de la regió que no són frontereres, en altres paraules, la presència de la frontera en el territori estudiat té conseqüències sobre l'evolució del paisatge. Les causes són, que al tenir tan a prop la frontera fa que s'obri un flux amb més intercanvi amb la zona veïna, la qual cosa produeix un augment en l'economia de la regió i per tant, un increment en les zones urbanes i també en les zones industrials i comercials perquè l'intercanvi de mercaderies és major, ja que les diferències de mercat afavoreixen al desenvolupament comercial a Espanya. Una de les altres causes és l'augment en la millora de les infraestructures vials (tren i carreteres) i la inexistència física de fronteres que fan més lent el pas de les mercaderies. Pel que fa les carreteres, podem observar a la Taula 1 que hi ha un descens de les hectàrees de camins al llarg del temps. No obstant això, les infraestructures de les carreteres han augmentat més de tres vegades el valor del 56, tenint en l'any 2013 més de 200ha. Com es pot observar a la imatge el creixement de les infraestructures és notori amb l'augment de l'aeroport, les vies ferroviàries, el creixement de carreteres nacionals, el pas de camins a carreteres convencionals e inclús la existència d'una autopista que travessa tota la comarca.

De l'estudi en podem extreure una hipòtesi. Aquesta es basa en les imatges extretes de la fotointerpretació i es localitza a la zona nord-oest de la imatge. Com podem observar en la imatge del 56, el desenvolupament de la zona és clarament cap a bosc primari. Hi ha una zona de prats i herbassars amb una regió de bosc obert i rodejat de bosc dens. A la imatge del 2013, on deuríem de veure un bosc dens, igual que a la zona sud, observem de nou una zona de prats i herbassars i per tant podem concloure que pot ser, en aquesta zona, i tenint en compte el desenvolupament de les zones adjacents, hi ha la possibilitat de l'existència d'un incendi als anys 70 aproximadament.

Les conclusions del treball són:

- The possibility of introducing files in raster format gives us a clear advantage in the digitization of the image.
- The possibility to use simultaneously both automatic scanning, by introducing a raster layer, and scanning manual provides us with a great advantage thanks to their agility in performing the task of digitization, in comparison with other software such as the Arcgis.
- It has been proved that the result of the segmentation is much more favored with color images, as the image quality is superior, the size of the segments is smaller and therefore we have more fragments.
- The segmentation made by l'eCognition should be taken in the most possible homogeneous areas, because these software works with different parameters. One of them determines how round or rectangular the segments are. Therefore, if we are taking into account very heterogeneous areas, the fragmentation is not the most appropriate method, although, undoubtedly, this does not determine the functionality of the results. Thus, the fragmentation process would be better if we only develop it in the large-scale forest areas, where the level of detail is not very demanding.
- To implement a suitable methodology, it is very appropriate to carry out the photo interpretation prospectively, that is to say, to start in 1956 and finish in 2013. This happens because the digitization of the later years will help us, as a useful basis, for interpreting the present.
- It is better to use different scales in the segmentation criteria based on image resolution. Thus, the scale should be higher, and reverse, for better resolution images, in order to make possible the most appropriate approach. This is achieved by doing different pots with the size scale in order to define, for each image, a scale that will allow us to have a similar number of segments in both images.
- Most of meadows and grasslands have become dense forests, as it is proved in the maps and the data of the configuration indices of the landscape: Area_Mn, ENN_MN, LPI and PD, and comparing these data with meadows and grassland of 1956.
- The dense forest has a better connectivity regarding to the tiles nowadays.
- Part of arable crops becomes urban areas and, as a consequence, there is not almost growing abandoned in 2013.
- In this period of time, the built-up areas have increased significantly as a result of globalization, which has increased its power of action thanks to the proximity of the border.

BIBLIOGRAFIA

Antrop, M. (2003) "Why landscapes of the past are important for the future" *Science Direct*. 1-14 pp www.sciencedirect.com

Cassatella, C & Peano, A (2011) "Landscape indicators" *Springer science*. 141-165 pp ISBN 978-94-007-0365-0

Cocero Matesanz, D., Azcárate Luxan, M.V., García Lázaro, F.J., Muguruza Cañas, C. y Santos Preciado, J.M. (2010): Análisis de la evolución de la estructura espacial del uso del suelo residencial en el área metropolitana madrileña. En: Ojeda, J., Pita, M.F. y Vallejo, I. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos*. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla. Sevilla. Pp. 777-787. ISBN: 978-84-472-1294-1

Fisher et al. (2005). "Mapping socio-economic scenarios of land cover change: A GIS method to enable ecosystem service modeling" *Journal of Environmental Management*. 563-574 pp.

Pastor, R (2014) "Evolución del paisaje transfronterizo en el contexto de apertura de fronteras: el caso de estudio de 11 municipios del Eurodistrito del Espacio Catalán Transfronterizo". *XIV Colóquio Ibérico de Geografía*. 1-6 pp

Pastor, R. (2015) "Els paisatges fronterers dels territoris de pas dels Pirineus: els casos de l'Espai Català Transfronterer i l'Eurociutat Basca". *Part Metodologica*. Tesis doctoral.

Pintó, J. (2010) "Les unitats del paisatge" Laboratori d'Anàlisi i Gestió del Paisatge (LAGP). Departament de Geografia i Institut de Medi Ambient. Universitat de Girona. 83-106 pp

Rufí, V. (2012) "Veinticinco años de cooperación territorial transfronteriza entre España y Francia en el marco de la Unión Europea; un análisis desde la geopolítica de planes, proyectos, agentes y resultados territoriales" Departament de geografia de la Universitat de Girona.

Varga i Linde, D & Vila, J. (2006) "Ecología del paisaje y sistemas de información geográfica ante el cambio socioambiental en las áreas de montaña mediterránea. Una aproximación metodológica al caso de los valles d'Hortmoier y Sant Aniol(Alta Garrotxa. Girona)" *Institut de Medi Ambient Universitat de Girona*. 62-71 pp

Varga i Linde, D. (2007). "Paisatge i abandonament agrari a la muntanya mediterrània: una aproximació al cas de les valls d'Hortmoier i Sant Aniol (Alta Garrotxa) des de l'ecologia del paisatge. *Tesis doctoral, Institut del Medi Ambient*. 101-183 pp

Vila, J. Varga i Linde, D. Llausàs, A y Ribas, A (2006). "Conceptos y métodos fundamentales en ecología del paisaje (landscape ecology). Una interpretación desde la geografía. *Universitat de Girona. Unitat de Geografia i Institut de Medi Ambient*. 151-166 pp