

**PROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES
PARA GENERACIÓN DE PRODUCTOS EN
ENTORNO AUTOMATIZADO**

Trabajo Especial de Licenciatura en Cs. de la Computación

Autor: Mirko Panozzo Zéner

Directores: Marcelo Scavuzzo
Javier Proyector

18 de diciembre de 2009



Facultad de Matemática, Astronomía y Física

Universidad Nacional de Córdoba

Argentina

Abstract

La gran cantidad de imágenes satelitales con la que se dispone hoy en día requiere de un procesamiento eficiente para obtener el mayor rédito posible de los datos que éstas brindan. La ingeniería del software permite desarrollar sistemas robustos y fiables que implementen una automatización de dicho procesamiento. En este trabajo se estudiaron los Estándares de Ingeniería del Software de la Agencia Espacial Europea con el fin de aplicarlos en el desarrollo de un sistema automatizado de detección de deforestaciones. Se llevaron a cabo las distintas fases definidas por los estándares mencionados, generando la documentación requerida para cada una de ellas. Se implementó una unidad para la detección de cambios sobre NDVIs de imágenes *Landsat 5 - TM*, la cual permite obtener máscaras de áreas deforestadas de una misma zona, entre dos fechas diferentes. Los resultados de la aplicación de estos estándares muestran que son extremadamente útiles para llevar adelante proyectos de software de este tipo.

Palabras claves: teledetección, ingeniería del software, ESA, CONAE, requerimientos, arquitectura de software, ciclo de vida, análisis multi-temporal, IDL.

D.2.9 Management

Agradecimientos

A todos los que de una u otra forma contribuyeron a que haya podido llegar a este día tan importante en mi vida, quiero hacerles llegar el más profundo agradecimiento:

A mis padres, Alejandro y Muñeca, por haber estado desde el comienzo apoyándome desde la distancia, porque creyeron en mí desde el día que me trajeron a Córdoba y porque me sostuvieron económica, anímica y espiritualmente durante todos estos años. Agradecerles el haberme enseñado a transitar la vida como ellos y con la fe puesta en Dios caminar siempre hacia adelante sin importar los tropiezos. Aunque quiero expresar mi agradecimiento en palabras, éstas no me alcanzan para demostrarles lo que siento por ustedes, los amo de corazón y tal vez nunca se los dije.

A mi novia, Flor, porque su amor y su compañía me dieron las fuerzas para llegar hasta acá. Porque fue la que más cerca tuve en los buenos y malos momentos y porque siempre me respondió con una sonrisa y aliento. Te amo mi amor.

A mi hermano, Joni, mi primer amigo y compañero inseparable. Con el que transitó codo a codo cada momento de la vida. Siempre el uno para el otro para cuando hiciera falta. Porque solos en Córdoba nos dimos fuerzas para no extrañar tanto y porque me hizo más fácil vivir lejos de la familia.

A mis amigos, todos los que fui cosechando a lo largo de mi vida en Córdoba. A “La Banda del Tío“, esos amigos de fierro que tuve la suerte de conocer en la facultad y que hicieron que disfrutara tanto de las horas de facultad y de estudio, como de las salidas juntos. A los amigos y amigas más recientes, todos con los que tengo el agrado de compartir día a día el trabajo en el Gulich, especialmente a Ximena y Camilo por la gran mano que me dieron con el ENVI; y a los integrantes del “Call”, quienes hacen que cada día sea un placer trabajar a su lado. A los que con la música me hicieron vivir el Litoral en Córdoba, a mis amigos de Huella Litoral, que me permitieron durante este último año tener una escapatoria hacia el hobby que más amo, el chamamé.

A mis directores, Marcelo y Javier, mi más sincero agradecimiento por haberme guiado en este trabajo final y ayudarme a llegar hasta acá.

A la facultad, sus docentes y sus no docentes, porque hicieron que me sienta orgulloso de pertenecer a FaMAF. Por haberme enseñado más que solo los contenidos de las materias y por hacerme madurar en muchos aspectos de mi vida.

Tabla de Contenidos

1. Introducción	1
2. Introducción a la teledetección espacial	4
2.1. Definición de Teledetección	4
2.2. Componentes de un sistema de Teledetección	4
2.3. Ventajas de la observación remota	5
2.3.1. Cobertura global y exhaustiva de la superficie terrestre	5
2.3.2. Perspectiva panorámica	5
2.3.3. Observación multiescala	5
2.3.4. Información sobre regiones no visibles del espectro	5
2.3.5. Cobertura repetitiva	6
2.3.6. Transmisión inmediata	6
2.4. Principios Físicos	6
2.4.1. El espectro electromagnético	7
2.4.2. El espectro Óptico	7
2.4.3. El espectro del infrarrojo térmico	9
2.4.4. El espectro de las Micro-ondas	10
2.5. Sensores	10
2.5.1. Tipos de sensores	10
2.5.2. Resolución de un sistema sensor	10
2.6. Técnicas de análisis multitemporal de imágenes	11
2.6.1. Requisitos previos para el análisis multitemporal	12
3. Plan Espacial Nacional	14
3.1. Ciclos de Información	14

TABLA DE CONTENIDOS

4. Estándares de Ingeniería del Software de las Agencias Espaciales	16
4.1. Propósito de los estándares	16
4.2. Ciclo de vida del software	16
4.2.1. Fase UR: definición de Requerimientos de Usuario	17
4.2.2. Fase SR: definición de Requerimientos de Software	18
4.2.3. Fase AD: Diseño Arquitectónico	19
4.2.4. Fase DD: Diseño Detallado y producción del código	20
4.2.5. Fase TR: Transferencia	21
4.2.6. Fase OM: Operaciones y Mantenimiento	21
4.3. Enfoques del Ciclo de Vida	22
4.3.1. El enfoque “catarata”	22
4.3.2. El enfoque de entrega incremental	22
4.3.3. El enfoque de desarrollo evolutivo	23
5. Aplicando los Estándares de Ingeniería del Software de las Agencias Espaciales a pequeños proyectos	25
5.1. Pequeños proyectos de software	25
5.1.1. Combinar las fases SR y AD	26
5.1.2. Simplificar la documentación	26
5.1.3. Reducir los requerimientos de fiabilidad	26
5.1.4. Usar la especificación de los tests del sistema para los tests de aceptación	27
6. Aplicación de los estándares a un proyecto piloto	28
6.1. Fase UR: Definición de los requerimientos	28
6.2. Fase SS: Requerimientos de Software y Diseño Arquitectónico	30
6.2.1. El modelo lógico	30
6.2.2. Requerimientos de Software	31
6.2.3. Diseño Arquitectónico	31
6.3. Fase DD: Diseño Detallado e Implementación	31
6.3.1. Diseño de la Unidad “ <i>Detección de cambios</i> ”	32
6.3.2. El Manual de Usuario del Software	32
6.4. Plan y Procedimientos de Verificación y Validación	33
6.5. Resultados	33
7. Conclusiones	37
7.1. Trabajo a futuro	38
A. Documento de Requerimientos de Usuario	39
B. Documento de Especificación del Software	46
C. Documento de Diseño Detallado	63

TABLA DE CONTENIDOS

D. Manual de Usuario del Software	74
E. Plan de Verificación y Validación del Software	84

Índice de figuras

2.1. Firmas espectrales	8
4.1. Ciclo de vida del software	17
4.2. Enfoque “catarata”	22
4.3. Enfoque de entrega incremental	23
4.4. Enfoque de desarrollo evolutivo	23
6.1. Modelo Lógico	30
6.2. Arquitectura del Sistema	32
6.3. Recortes de Imágenes Landsat 5 - TM	34
6.4. NDVI de las imágenes recortadas.	35
6.5. Resultados de la ejecución	35
6.6. Imágenes Landsat 5 - TM (Path 230 - Row 076) y resultados de detección de cambios	36

Índice de Tablas

6.1. Requerimientos de Usuario	29
6.2. Resultados ejecución sobre recortes de 400x400 píxeles	34
6.3. Resultados ejecución sobre imagen original	36

CAPÍTULO 1

Introducción

La teledetección es la técnica que permite obtener información sobre un objeto, superficie o fenómeno a través del análisis de datos adquiridos por un instrumento remoto [Chu02a]. Se basa en que cada objeto emite o refleja ondas electromagnéticas en función de su naturaleza y de las radiaciones que recibe. Los datos son recogidos a través de sensores ubicados en satélites artificiales, los cuales captan esta energía, obteniéndose así una imagen.

Las imágenes satelitales son una fuente de información cada vez más importante en el estudio de la tierra. Su utilización nos permite realizar el seguimiento de eventos que ocurren en nuestro planeta, eventos que se llevan a cabo a lo largo de los años tales como desertificación, deforestación, crecimiento de manchas urbanas; como así también eventos que ocurren en un corto período de tiempo como incendios forestales, desbordes de ríos, etc.

Como hemos mencionado, la utilización de imágenes satelitales es de vital importancia para el estudio de la tierra. La gran cantidad de datos obtenidos por los satélites y transmitidos a las estaciones terrenas hacen necesario un procesamiento automatizado de los mismos para conseguir un mejor aprovechamiento de tales datos. Esto fue lo que motivó este trabajo: la idea de llevar adelante un prototipo que fuera diseñado con el fin de automatizar el procesamiento de imágenes satelitales.

La ingeniería del software es el campo de las ciencias de la computación que se dedica a la construcción de sistemas de software [GJM07]. Generalmente, estos sistemas existen en múltiples versiones y están operativos por varios años. Su principal objetivo es la construcción de software de calidad, la cual está dada por atributos como:

- correctitud
- fiabilidad
- robusteza
- performance
- usabilidad

- verificabilidad
- facilidad para el mantenimiento
- adaptación a cambios
- reusabilidad
- portabilidad

Para lograr sistemas de software que cumplan con estos atributos es necesario pasar por una serie de etapas complejas bien definidas que determinan su *ciclo de vida*. Cada una de estas etapas o fases tiene definido su comienzo y final de una manera precisa, con entregables hacia la siguiente etapa. Las etapas de un modelo de ciclo de vida comprenden:

- análisis y especificación de los requerimientos
- diseño y especificación del sistema
- codificación y testeo de los módulos
- integración y testeo del sistema
- entrega del producto de software y mantenimiento del mismo

Las Agencias Espaciales, las cuales están encargadas del desarrollo de satélites, sensores y nuevas tecnologías espaciales, definen distintos estándares a seguir en sus diferentes desarrollos. Entre los estándares definidos encontramos los aplicados a los proyectos de software, en los cuales centraremos nuestro estudio.

En este trabajo se propone estudiar los estándares de ingeniería del Software definidos y utilizados por la Agencia Espacial Europea. Esto permitirá desarrollar un sistema automatizado para la generación de productos a partir de imágenes satelitales, utilizando estándares internacionales sobre los que están basados los desarrollos de la CONAE.

Estructura del trabajo

A lo largo de este informe se comentarán las distintas etapas y complicaciones que se debieron enfrentar durante el desarrollo del proyecto, como así también se expondrán las soluciones halladas para dichos inconvenientes.

Primero se realizará una introducción a la teledetección espacial y se explicará el Plan Espacial de la CONAE. Luego, habiendo ya brindado una introducción a este trabajo, se brindará un análisis detallado de los Estándares de Ingeniería del Software de la Agencia Espacial Europea, dando a conocer los detalles de cada una de las etapas que están involucradas en el desarrollo de un proyecto de software. Finalmente se llevará a cabo la aplicación de las normas en un proyecto piloto y se obtendrán conclusiones sobre las mismas.

Más precisamente, los temas desarrollados en los próximos capítulos incluirán:

Capítulo 2

Se ven los conceptos básicos de la teledetección espacial y los componentes de un sistema de teledetección. También se describen las ventajas que brinda la observación remota de la superficie terrestre y se describen los distintos tipos de sensores utilizados. Finalmente se realiza un estudio sobre las técnicas de análisis multitemporal de imágenes.

Capítulo 3

Se expone un resumen del plan espacial de la Comisión Nacional de Actividades Espaciales. Se describe brevemente cada Ciclo de Información que comprende el plan mencionado.

Capítulo 4

En este capítulo se estudian las normas utilizadas en los proyectos de software de las agencias espaciales. Se realiza un estudio de los Estándares de Ingeniería del Software de la ESA (European Space Agency), normas en las cuales se basa la CONAE. Se estudia cuál es el propósito de los estándares, cuál es el ciclo de vida del software y los distintos enfoques de este ciclo.

Capítulo 5

Se realiza un estudio sobre los *Estándares para pequeños proyectos de software de la Agencia Espacial Europea*. Estos estándares se basan en los estudiados en el Capítulo 4, realizando una simplificación de los mismos para su aplicación en proyectos de menor envergadura. Se describen los factores que determinan cuándo debe considerarse un proyecto como “pequeño”. Finalmente se estudian y describen cuales son las diferencias y simplificaciones, respecto de los estándares generales, que se deben tener en cuenta al momento de llevar adelante un proyecto de software de este tipo.

Capítulo 6

Se aplican las *Normas de Ingeniería del Software de la ESA para pequeños proyectos* a un proyecto piloto apuntado al estudio multitemporal de imágenes Landsat para la detección de deforestaciones. Se explican las razones del por qué se decidió trabajar en el seguimiento de deforestaciones. Se hace una breve descripción de cada fase del ciclo de vida del software. Se describen los requerimientos de usuario, modelo lógico y arquitectura del sistema. Por último se muestran los resultados de la ejecución de la aplicación sobre distintas imágenes de entrada.

Capítulo 7

Se presentan las conclusiones sobre este trabajo y sobre la aplicación de los Estándares de la ESA al proyecto de detección de deforestaciones sobre imágenes Landsat. Finalmente se hace un breve análisis del posible trabajo a futuro.

Introducción a la teledetección espacial

Una de las ideas principales sobre la cual se sustenta este trabajo es la *teledetección espacial*. En este capítulo se centrará la atención en las nociones generales de la misma para dar un contexto sobre el cual trabajaremos en los capítulos posteriores.

2.1. Definición de Teledetección

La Teledetección es entendida como una técnica que tiene por objeto la captura, tratamiento y análisis de imágenes digitales tomadas desde satélites artificiales [Chu02a].

2.2. Componentes de un sistema de Teledetección

Como lo dice su propia definición, el análisis de la información recibida se incluye también dentro del estudio de la teledetección, aunque esté más allá de los procesos de adquisición propiamente dichos. No obstante, constituye un capítulo fundamental para los intereses de este trabajo, ya que éste se dirige más a los procesos que explotan la información resultante que a los sensores que la obtienen.

Un sistema de teledetección espacial incluye los siguientes elementos:

1. Fuente de energía, que supone el origen de la radiación electro-magnética que detecta el sensor. Puede tratarse de un foco externo a éste (teledetección pasiva), o de un haz energético emitido por el sensor (teledetección activa). La fuente de energía más importante, obviamente, es el sol.
2. Cubierta terrestre, formada por distintas masas de vegetación, suelos, agua o construcciones humanas, que reciben la señal energética procedente de (1), y la reflejan o emiten de acuerdo a sus características físicas.
3. Sistema sensor, compuesto por el sensor, propiamente dicho, y la plataforma que lo alberga. Tiene como misión captar la energía procedente de las cubiertas terrestres, codificarla y grabarla o enviarla directamente al sistema de recepción.

4. Sistema de recepción-comercialización, en donde se recibe la información transmitida por la plataforma, se graba en un formato apropiado, y, tras las oportunas correcciones, se distribuye a los interesados.
5. Intérprete, que convierte esos datos en información temática de interés, ya sea visual o digitalmente, de cara a facilitar la evaluación del problema en estudio.
6. Usuario final, encargado de analizar el documento fruto de la interpretación, así como dictaminar sobre las consecuencias que de él se deriven.

2.3. Ventajas de la observación remota

La teledetección satelital cuenta con numerosas aplicaciones, gracias a las ventajas que ofrece frente a otros medios de observación más convencionales, como la fotografía aérea o los trabajos de campo, aunque más que sustituirlos los complementa adecuadamente. Se pueden destacar las siguientes ventajas de la observación espacial:

2.3.1. Cobertura global y exhaustiva de la superficie terrestre

La teledetección espacial es una de las pocas fuentes de información realmente globales, ya que los sistemas orbitales permiten tomar información de la totalidad de la tierra, en condiciones comparables (mismo sensor, similar altura). Esta dimensión global resulta de enorme trascendencia para entender los grandes procesos que afectan al medio ambiente.

La teledetección espacial ofrece una fuente homogénea y exhaustiva de datos para todo el planeta, lo que permite su fácil inclusión en estudios globales.

2.3.2. Perspectiva panorámica

La altura orbital del satélite le permite detectar grandes espacios, proporcionando una visión amplia de los hechos geográficos. Una fotografía aérea a su altura máxima con una escala de 1:30.000 capta en una sola imagen una superficie aproximada de 49 km². Una imagen del sensor Landsat-TM permite contemplar 34.000 km² en una sola adquisición, llegando hasta varios millones de kilómetros cuadrados los abarcados por una sola imagen del satélite meteorológico NOAA.

2.3.3. Observación multiescala

Los sistemas de teledetección desde satélite ofrecen un amplio rango de cobertura espacial y nivel de detalle, desde los sensores de ámbito local (con precisiones en torno a 1 m² y coberturas en el rango de pocos cientos de km²), hasta los de ámbito global (con resoluciones de 1 a 5 km², pero que abarcan varios millones de km²)

2.3.4. Información sobre regiones no visibles del espectro

Los sensores óptico-electrónicos facilitan imágenes sobre tipos de energía que no son accesibles al ojo humano o a la fotografía convencional, como es el caso del infrarrojo medio y térmico o las micro-ondas. Estas bandas del espectro proporcionan una valiosa información para estudios medio ambientales. Por ejemplo el infrarrojo térmico nos proporciona información sobre la distribución de temperaturas sobre la

superficie, mientras que el infrarrojo medio resulta de gran interés para la detección de focos de altas temperaturas, como es el caso de los incendios forestales, los cuales pueden delimitarse con bastante precisión.

2.3.5. Cobertura repetitiva

Las características orbitales de los satélites permiten adquirir imágenes repetitivas de toda la Tierra, en condiciones comparables de observación, lo que resulta idóneo para abordar estudios multitemporales.

2.3.6. Transmisión inmediata

Los sistemas de teledetección graban las imágenes en formato digital, lo que permite transmitir las imágenes a las estaciones terrestres en tiempo real. Esta disponibilidad inmediata resulta más que importante en casos de situaciones de emergencia, por lo que se considera una de las características más destacadas de la teledetección en la gestión de catástrofes.

La teledetección espacial también presenta diversas limitaciones, como son las derivadas de la resolución espacial, espectral o temporal actualmente disponibles, que pueden no ser suficientes para resolver un cierto problema. Además, la cobertura de nubes puede reducir notablemente en algunas zonas la frecuencia temporal proporcionada por estos sistemas espaciales, restringiéndose la observación de esas áreas a la proporcionada por los sistemas de radar. En definitiva, esta observación es complementaria de otras técnicas convencionales, como la fotografía aérea, y que no invalida el trabajo de campo.

2.4. Principios Físicos

La superficie de nuestro planeta, de modo global, se considera dividida en tres grandes tipos de cubiertas: superficies con agua, superficies con vegetación y superficies con suelos. Cada una de esas cubiertas encierra múltiples situaciones individuales distintas. Si pensamos en la diferenciación entre tipos de suelos, de especies vegetales, o en las características que pueden presentar las masas de agua, así como en las circunstancias ambientales a las que pueden verse asociadas las cubiertas terrestres, nos daremos cuenta de la enorme variabilidad de las mismas.

Se ha definido la teledetección espacial como aquella técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales, esto supone que entre la Tierra y el sensor existe una interacción energética, ya sea por reflexión de la energía solar o de un haz energético artificial, ya por emisión propia.

Existen tres formas de adquirir información a partir de un sensor remoto: por reflexión, por emisión y por emisión-reflexión.

La primera de ellas es la más importante, pues se deriva directamente de la luz solar, principal fuente de energía de nuestro Planeta. El sol ilumina la superficie terrestre, que refleja esa energía en función del tipo de cubierta presente sobre ella. Ese flujo reflejado se recoge por el sensor, que lo transmite posteriormente a las estaciones receptoras. Entre superficie y sensor se interpone la atmósfera, que dispersa y absorbe parte de la señal original.

La segunda se basa en la energía emitida por las propias cubiertas, dado que cualquier objeto por encima del cero absoluto emite energía en forma de calor. Podemos

fijar entre 8 y 14 μm la banda espectral en donde se manifiesta con mayor claridad la emitancia espectral de la superficie terrestre, de acuerdo a su temperatura (unos 300 K). Esta parte del espectro es denominado infrarrojo térmico. De esta forma, para esta banda la radiancia espectral que recibe el sensor no es resultado de la reflexión de la energía solar sobre la superficie, sino de la radiación emitida por ésta.

La última forma mencionada nos habla de que el sensor es capaz de generar su propio flujo energético para recoger posteriormente su reflexión sobre la superficie terrestre. La banda del espectro que se inicia en las longitudes de onda milimétricas se denomina región de las micro-ondas. La observación remota en esta banda se realiza habitualmente con sensores activos y tiene la ventaja de que en esta región del espectro la atmósfera es prácticamente transparente. Esta propiedad hace idóneo el trabajo en esta región del espectro, especialmente para recoger información de aquellas zonas del planeta donde la cubierta de nubes es muy frecuente. La observación en esta banda es complementaria y más compleja que en las dos mencionadas anteriormente, por lo que el rango de aplicaciones es inferior al registrado en ellas.

En cualquiera de estos casos, el flujo energético entre la cubierta terrestre y el sensor constituye una forma de radiación electromagnética.

2.4.1. El espectro electromagnético

Podemos definir cualquier tipo de energía radiante en función de su longitud de onda o frecuencia. Aunque la sucesión de valores de longitud de onda es continua, suelen establecerse una serie de bandas en donde la radiación electromagnética manifiesta un comportamiento similar.

Desde el punto de vista de la teledetección, conviene destacar una serie de bandas espectrales, que son las más frecuentemente empleadas con la tecnología actual:

Espectro visible (0.4 a 0.7 μm) Se denomina así por tratarse de la única radiación electromagnética que pueden percibir nuestros ojos.

Infrarrojo cercano (IRC, 0.7-1.3 μm) Resulta de especial importancia para la discriminación de masas vegetales y concentraciones de humedad.

Infrarrojo medio (1.3 a 8 μm) En esta región se entremezclan los procesos de reflexión de luz solar y de emisión de la superficie terrestre. La primera banda se sitúa entre 1.3 y 2.5 μm , y se denomina infrarrojo de onda corta (*Short Wave Infrared, SWIR*), que resulta idónea para estimar el contenido de humedad en la vegetación o los suelos. La segunda, comprendida principalmente en torno a 3.7 μm , se conoce propiamente como infrarrojo medio (IRM), siendo determinante para la detección de focos de alta temperatura (incendios o volcanes activos).

Infrarrojo lejano o térmico (IRT, 8 a 14 μm), que incluye la porción emisiva del espectro terrestre, en donde se detecta el calor proveniente de la mayor parte de las cubiertas.

Micro-ondas (M, por encima de 1 mm), con gran interés por ser un tipo de energía bastante transparente a las cubiertas nubosas.

2.4.2. El espectro Óptico

Denominamos dominio óptico del espectro a aquel grupo de longitudes de onda directamente dependientes de la energía solar, comprendidas entre el visible y el SWIR

2.4 PRINCIPIOS FÍSICOS

(0.4 a 2.5 μm).

La radiación que la tierra recibe puede descomponerse en tres términos:

$$\phi_i = \phi_r + \phi_a + \phi_t \quad (2.1)$$

Esto es, el flujo incidente sobre una superficie es reflejado (ϕ_r), transmitido (ϕ_t) o absorbido (ϕ_a). Podemos expresar esta fórmula en unidades relativas, dividiendo cada término por ϕ_i :

$$\frac{\phi_i}{\phi_i} = \frac{\phi_r}{\phi_i} + \frac{\phi_a}{\phi_i} + \frac{\phi_t}{\phi_i} \quad (2.2)$$

o, lo que es lo mismo:

$$1 = \rho + \alpha + \tau \quad (2.3)$$

En definitiva, la suma de la reflectividad, absorptividad y transmisividad ha de ser igual a uno. La relación entre las tres magnitudes no es constante, sino que varía con la longitud de onda (λ); por tanto, en términos más rigurosos, debería expresarse como:

$$1 = \rho_\lambda + \alpha_\lambda + \tau_\lambda \quad (2.4)$$

La proporción del flujo incidente que es reflejado, absorbido y transmitido depende de las características de la superficie que se observa y de la longitud de onda a la que sea observado. Para poder caracterizar una determinada cubierta nos resulta muy interesante conocer su comportamiento reflectivo en diversas longitudes de onda, ya que esto facilitará discriminarlo frente a cubiertas espectralmente similares.

En el caso del espectro visible, ese comportamiento disimilar de los objetos a distintas longitudes de onda se manifiesta en lo que llamamos color.

A partir de medidas de laboratorio puede obtenerse unas curvas de reflectividad espectral para las principales cubiertas terrestres, que suelen denominarse *firmas espectrales*.

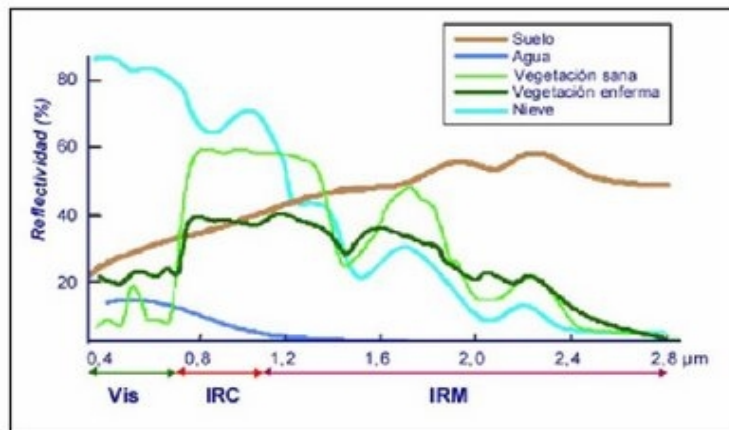


Figura 2.1: Firmas espectrales

Es importante considerar que el flujo de energía recibido por el sensor, no sólo depende de la reflectividad de la cubierta, sino también de otros factores. Considerar

todos los factores externos subraya la complejidad que la observación remota lleva consigo. Algunos de estos factores son:

- Ángulo de iluminación solar, muy dependiente de la fecha del año y del momento de paso del satélite.
- Modificaciones que el relieve introduce en el ángulo de iluminación: orientación de las laderas o pendiente.
- Influencia de la atmósfera, especialmente en lo que se refiere a la absorción por nubes y la dispersión selectiva en distintas longitudes de onda.
- Variaciones medio ambientales en la cubierta: asociación con otras superficies, homogeneidad que presenta, estado fenológico, etc.
- Sustrato edafológico o litológico, especialmente influyente cuando la cubierta observada presenta una densidad media.

A ello habría que añadir que la radiación incidente en una determinada superficie no sólo es la directa solar, sino también la proveniente de superficies vecinas o de la propia atmósfera, ya que las reflexiones se producen en múltiples direcciones.

2.4.3. El espectro del infrarrojo térmico

De acuerdo con las leyes de Planck y Wien, podemos fijar entre 8 y 14 μm la banda espectral en donde se manifiesta con mayor claridad la emitancia espectral de la superficie terrestre, de acuerdo a su temperatura (unos 300 K). A esta parte del espectro se le denomina infrarrojo térmico, puesto que nos permite detectar el calor que procede de las distintas cubiertas. En definitiva, para esta banda la radiancia espectral que recibe el sensor no es el resultado de la reflexión de la energía solar sobre la superficie terrestre, sino de la radiación emitida por ésta.

La emitancia espectral de un objeto está directamente relacionada con su temperatura absoluta. A la vez, ésta se relaciona con su capacidad para absorber la radiación solar incidente. De la fórmula (2.2) se deduce que ésta puede ser reflejada, absorbida o transmitida. Como la transmisividad es prácticamente nula en el infrarrojo térmico, la expresión puede simplificarse indicando que, a estas longitudes de onda, la energía incidente, o bien se refleja o bien se absorbe. Además, si tenemos en cuenta que cuando una superficie está en equilibrio térmico con los alrededores, la absorptividad espectral es igual a la emisividad. O lo que es lo mismo, a mayor absorción, mayor emisión, por lo que podemos expresar la fórmula (2.2) indicando:

$$1 = \rho_{\lambda(T)} + \epsilon_{\lambda(T)} \quad (2.5)$$

lo que significa que las superficies con alta reflectividad (como la nieve) son poco emisivas, mientras las poco reflectivas son altamente emisivas (como ocurre con el agua).

La emisividad de un tipo de cubierta es una medida relativa, que pone en relación su emitancia con la de un cuerpo negro a su misma temperatura. Una alta emitancia (cercana a 1) indica que un objeto absorbe y radia una gran proporción de la energía incidente.

2.4.4. El espectro de las Micro-ondas

Se trata de las longitudes de onda mayores utilizadas en teledetección. La observación en esta banda es complementaria y mas compleja que la realizada en las bandas ópticas y térmicas, por lo que el rango de aplicaciones es inferior al registrado en éstas. La virtud fundamental de esta región del espectro es ser prácticamente transparente a la influencia atmosférica. Esta propiedad hace idóneo el trabajo en esta región del espectro, especialmente para recoger información de aquellas zonas del planeta donde la cubierta de nubes es muy frecuente.

La observación remota en esta banda se realiza habitualmente con sensores activos (denominados en esta banda, radar), que no se limitan a registrar la radiación emitida por las cubiertas, sino que emiten la suya propia, recogiendo posteriormente su retro-dispersión.

Cuando se emite un haz de micro-ondas desde un radar a la superficie terrestre, la mayor parte de ese haz es dispersado al contacto con ella. Según la naturaleza del sustrato, el haz principalmente se dispersa al exterior (caso del suelo), se dispersa dentro del propio objeto (caso de la vegetación), o se refleja especularmente (caso del agua). En función de estos tres comportamientos el radar registrará una señal de retorno muy distinta.

2.5. Sensores

2.5.1. Tipos de sensores

Podemos considerar dos tipos de sensores (1) pasivos, cuando se limitan a recibir la energía proveniente de un foco exterior a ellos, y (2) activos, cuando son capaces de emitir su propio haz de energía.

Una clasificación entre los sensores pasivos considera su procedimiento para grabar la energía recibida. De acuerdo a ello, puede hablarse de sensores fotográficos, óptico-electrónicos y de antena.

En cuanto a los activos, el equipo más conocido es el radar que trabaja en la región de las micro-ondas. Por su parte, el lidar opera con luz polarizada (láser) en el espectro óptico.

2.5.2. Resolución de un sistema sensor

Podemos definir la resolución de un sistema sensor como su habilidad para discriminar información de detalle.

El concepto de resolución implica diversas manifestaciones, las más habituales son la espacial, espectral, radiométrica y temporal.

Resolución espacial

Este término designa al objeto más pequeño que puede ser distinguido sobre una imagen. Hay que considerar que la resolución espacial de un sensor depende de varios factores, como son la altura orbital, velocidad de exploración y número de detectores.

La resolución espacial de los sensores de observación terrestre en funcionamiento recoge un rango bastante amplio. Los satélites que cuentan con mayor resolución ofrecen un detalle espacial próximo a 1x1m, mientras los de recursos naturales, diseñados para adquirir información sobre áreas muy heterogéneas suelen contar con resoluciones

comprendidas entre los 6x6m hasta los 120x120m. Otro grupo de sensores, orientado hacia aplicaciones más globales, facilitan píxeles de un tamaño comprendido entre 200 y 1100 m de lado. Los que están en el extremo son los satélites meteorológicos de órbita geoestacionaria, que al ofrecer una visión global de la superficie terrestre, proporcionan escaso detalle espacial, con píxeles de hasta 5 km de lado.

Resolución espectral

Indica el número y anchura de las bandas espectrales que puede discriminar el sensor. En la sección anterior se puso en evidencia el interés de contar con información multi-espectral; esto es, registrar simultáneamente el comportamiento de los objetos en distintas bandas del espectro. En este sentido, un sensor será tanto más idóneo cuanto mayor número de bandas proporcione, ya que facilita la caracterización espectral de las distintas cubiertas. A la vez, conviene que esas bandas sean suficientemente estrechas, con objeto de recoger la señal sobre regiones coherentes de espectro. Bandas muy amplias suponen registrar un valor promedio, que puede encubrir la diferenciación espectral entre cubiertas de interés.

La elección del número, anchura y localización de las bandas que incluye el sensor está estrechamente relacionada con los objetivos de su diseño.

Resolución radiométrica

Hace mención a la sensibilidad del sensor, esto es, a su capacidad para detectar variaciones en la radiancia espectral que recibe. Para los sensores óptico-electrónicos la imagen se presenta en formato digital, por lo que la resolución radiométrica suele identificarse con el rango de valores que codifica el sensor, esto es, el número de bits que precisa cada elemento de la imagen para ser almacenado.

Resolución temporal

Este concepto corresponde a la frecuencia de cobertura que proporciona el sensor. En otras palabras, se refiere a la periodicidad con la que éste adquiere imágenes de la misma porción de la superficie terrestre. Conviene tener en cuenta que la resolución temporal defectiva dependerá también de las condiciones atmosféricas.

2.6. Técnicas de análisis multitemporal de imágenes

Una de las aportaciones más destacadas de la teledetección espacial al estudio del medio ambiente es su capacidad para seguir los procesos dinámicos. Al tratarse de información adquirida por un sensor situado en una órbita estable y repetitiva, las imágenes de satélites constituyen una fuente valiosísima para estudiar los cambios que se producen en la superficie terrestre, ya sean debidos al ciclo estacional de las cubiertas, y a catástrofes naturales o a alteraciones de origen humano. Para que puedan abordarse estudios multitemporales con teledetección es preciso que el sistema sensor proporcione una cobertura periódica, en las mismas bandas espectrales, y con condiciones de observación similares.

Algunos procesos requieren una observación prácticamente continua, como puede ser la cartografía de nubes, mientras para otros bastará un inventario anual, por ejemplo cultivos.

La dimensión temporal puede considerarse en teledetección con un doble objetivo: multiestacional y multianual. En el primer caso sirve para refinar la discriminación de algunas categorías, que no pueden ser separables espectralmente, pero sí atendiendo a su variedad fenológica. En el segundo caso, se procura que las imágenes sean de la misma época del año, con objeto de aislar más fácilmente lo que las imágenes manifiestan de cambios en el terreno.

2.6.1. Requisitos previos para el análisis multitemporal

La comparación multitemporal entre imágenes se realiza, en la mayor parte de los casos, comparando píxel a píxel los ND (Nivel Digital) de las distintas fechas. Por lo tanto, es necesario eliminar previamente cualquier cambio en los ND de la escena que no sea debido a cambios reales en la cubierta. En definitiva, la comparación temporal requiere una previa corrección geométrica y radiométrica de las imágenes.

Ajuste geométrico

Es preciso que las imágenes se ajusten con gran nivel de detalle, ya que de otro modo estaríamos detectando como transformaciones lo que sería sólo fruto de una falta de ajuste entre las imágenes.

La mayor parte de las imágenes basan el ajuste geométrico en la localización de una serie de puntos de control imagen-mapa. Para el análisis multitemporal, los puntos se toman entre imágenes, eligiendo una como referencia. Para dos imágenes pueden emplearse formas características de la vegetación, del trazado parcelario o la hidrografía, visibles entre imágenes pero que habitualmente no son localizables en el mapa, además de caminos o rutas.

Homogeneización radiométrica

Otro problema importante en la detección de cambios es el producido por las variaciones que introducen las condiciones de observación, situaciones atmosféricas o la calibración del sensor. Estos efectos modifican la firma espectral de un píxel, aunque se mantenga constante la cubierta. Por lo tanto, es preciso homogeneizar los ND de las imágenes que intervienen en el análisis.

Para equiparar los ND entre las imágenes basta una corrección relativa entre fechas. El método se basa en situar una serie de píxeles de radiancia constante entre fecha, preferiblemente que recojan áreas de baja reflectividad (sombras, aguas claras y profundas) y alta reflectividad (suelos descubiertos, rutas). A partir de los ND de esos píxeles pueden estimarse unos coeficientes de sesgo y ganancia, para cada banda, que permitan corresponder los ND entre fechas distintas.

$$ND_{c,k} = s_k ND_k + g_k \quad (2.6)$$

esto es el ND corregido en la banda k se estimaría a partir de unos coeficientes de sesgo y ganancia para esa banda, que se obtienen a partir de:

$$s_k = (ND_{cl,r,k} - ND_{os,r,k}) / (ND_{cl,c,k} - ND_{os,c,k}) \quad (2.7)$$

y

$$g_k = (ND_{os,r,k} ND_{cl,c,k} - ND_{os,c,k} ND_{cl,r,k}) / (ND_{cl,c,k} - ND_{os,r,k}) \quad (2.8)$$

2.6 TÉCNICAS DE ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE IMÁGENES

donde $ND_{os,r,k}$ y $ND_{cl,r,k}$ indican el ND medio de los píxeles más oscuros y más claros, respectivamente, de la imagen de referencia, y $ND_{os,c,k}$ y $ND_{cl,c,k}$ lo mismo en la imagen a corregir.

3.1. Ciclos de Información

La CONAE tiene como misión que cumplir fijada explícitamente por la legislación de creación: proponer y ejecutar el Plan Espacial Nacional para la utilización y aprovechamiento de la ciencia y la tecnología espacial con fines pacíficos [CON94].

El Plan Espacial Nacional se centra en la generación de Ciclos de Información Espacial Completos que dan coherencia y vinculan entre sí todas las actividades de CONAE clarificando los objetivos parciales que deben alcanzarse en cada uno de los Cursos de Acción en los que se ha ordenado la actividad espacial y definiendo el destino social y las áreas de aplicación de los desarrollos en tecnología espacial.

El universo de áreas de aplicación se ha segmentado en seis Ciclos de Información espacial.

Ciclo I: Comprende toda la información relevante de origen espacial para las actividades agropecuarias, pesqueras y forestales, incluyendo en particular el relevamiento y monitoreo de los recursos ictícolas para su seguimiento y protección [HGM02b].

Ciclo II: Comprende toda la información relevante de origen espacial aplicable al clima, la hidrología y la oceanografía, incluyendo el seguimiento de fenómenos climáticos e hidrológicos en todo el territorio nacional, los estudios oceanográficos del Atlántico Austral y del Mar Antártico. Abarca, en escalas geográficas más amplias, pronósticos estacionales de fenómenos globales tales como El Niño [HGM02a].

Ciclo III: Comprende la gestión de emergencias, tanto naturales como antropogénicas, tales como incendios, inundaciones, erupciones volcánicas y terremotos, tornados, ciclones y huracanes, deslizamientos de tierra, derrames de hidrocarburos [HGM02c].

Ciclo IV: Comprende la vigilancia del medio ambiente y los recursos naturales, orientado a las aplicaciones en estudios climáticos y del cambio global atmosférico

3.1 CICLOS DE INFORMACIÓN

en general, así como toda la información relacionada con la contaminación del suelo, del aire, del mar y los ríos [HM02b].

Ciclo V: Abarca la teledetección y procesamiento de información relevante para cartografía y estudios geológicos y aplicaciones a exploraciones mineras incluyendo la prospección petrolera y gasífera. También incluye la planificación territorial, urbana y regional [HM02a].

Ciclo VI: Comprende la gestión de salud en los temas vinculados a la Epidemiología Panorámica, que consiste en la utilización de información proveniente de sensores remotos para construir, complementada con datos de campo, modelos predictivos de riesgo de enfermedades humanas [HM03].

CAPÍTULO 4

Estándares de Ingeniería del Software de las Agencias Espaciales

En este capítulo se estudiarán las normas utilizadas en los proyectos de software de las agencias espaciales. El mismo se centrará en los estándares definidos por la ESA (Agencia Espacial Europea) con la intención de aplicarlos en capítulos posteriores en el desarrollo de un proyecto piloto. Se escogieron estos estándares porque son utilizados como base por la CONAE para definir los propios.

4.1. Propósito de los estándares

Los Estándares de Ingeniería del Software de la ESA, ESA PSS-05-0, definen las prácticas de software que deben ser aplicadas en todos los proyectos de tal Agencia [ESA91].

El software es definido en estos estándares como los programas, procedimientos, reglas y toda la documentación pertinente asociada a la operación de sistemas computarizados. Estos estándares afectan a todos los aspectos de software de un sistema, incluyendo sus interfaces con sistemas de hardware y con otros componentes del sistema. El software puede ser un subsistema de un sistema más complejo o puede ser un sistema independiente.

4.2. Ciclo de vida del software

El ciclo de vida del software comienza cuando un producto de software es concebido y finaliza cuando éste no está más disponible para su uso, i.e. contiene todas las actividades de desarrollo, operaciones y mantenimiento.

Las actividades del desarrollo de software deberán ser sistemáticamente planeadas y llevadas a cabo. Un modelo de ciclo de vida estructura las actividades del proyecto en “fases” y define que actividades ocurren en cada fase.

Las fases que incluye el ciclo de vida del software son:

4.2 CICLO DE VIDA DEL SOFTWARE

- Fase UR (User Requirement) - Definición de los requerimientos de usuario
- Fase SR (Software Requirement) - Definición de los requerimientos de software
- Fase AD (Architectural Design) - Definición del diseño arquitectónico
- Fase DD (Detailed Design) - Diseño detallado y producción del código
- Fase TR (Transfer) - Transferencia del software a operaciones
- Fase OM (Operations and Maintenance) - Operaciones y mantenimiento

Cada una de las primeras cuatro fases termina con una revisión, denotada por /R (ej: UR/R Revisión de los Requerimientos de Usuario). Estas fases deben ocurrir cualesquiera sean el tamaño, la aplicación, el hardware, el sistema operativo o lenguaje de programación utilizado.

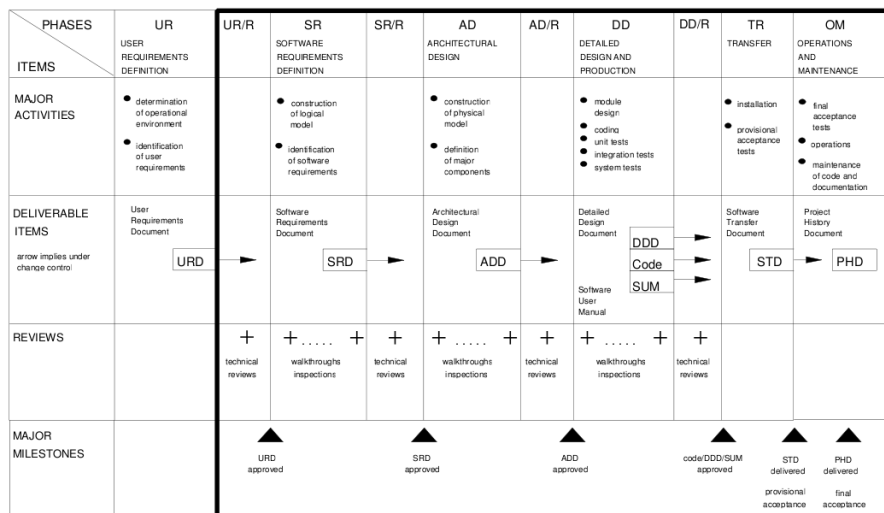


Figura 4.1: Ciclo de vida del software

En la figura 4.1 la línea gruesa negra marca los límites del ciclo de vida del software. Éste comienza con la entrega del Documento de Requerimientos de Usuario (URD) para su revisión. La UR/R es la primer actividad en el ciclo de vida. Después de la aprobación del URD se deben llevar a cabo tres fases de “desarrollo” antes de que el software sea transferido a los usuarios para las operaciones. Los entregables de cada fase deben ser revisados y aprobados antes de proceder a la próxima.

4.2.1. Fase UR: definición de Requerimientos de Usuario

La fase UR es la “fase de definición del problema” de un proyecto de software. En esta fase debe ser definido el alcance del sistema y deben ser capturados los requerimientos del usuario, los cuáles deben ser identificados y documentados en el Documento de Requerimientos de Usuario (URD) [URD95].

La fase UR debe cumplir con los siguientes ítems:

- La definición de los requerimientos deberá ser responsabilidad del usuario

- Cada requerimiento debe incluir un identificador
- Requerimientos esenciales serán marcados como tales
- En caso de entrega incremental, cada requerimiento deberá incluir una prioridad así el desarrollador puede decidir el orden de producción
- Cada requerimiento de usuario debe ser verificable
- El URD siempre será producido antes de comenzar el proyecto de software
- El URD deberá proveer una descripción general de lo que el usuario espera que el software haga
- El URD describirá las operaciones que el usuario quiere llevar a cabo con el sistema de software
- El URD describirá las interfaces externas al sistema de software o deberá referenciarlas en el ICD (Documento de Control de Interfaces) que existe o ha de ser escrito

4.2.2. Fase SR: definición de Requerimientos de Software

La fase SR es la fase de “análisis” del proyecto de software. Una parte vital de la actividad de análisis es la construcción de un “modelo” describiendo “qué” hace el software, y no “cómo” lo hace [SRD95]. El principal entregable de esta fase es el Documento de Requerimientos de Software (SRD). El SRD siempre debe ser producido para todo proyecto de software.

La fase SR debe cumplir con los siguientes ítems:

- La terminología de implementación debe ser omitida del SRD
- El desarrollador construirá un modelo, independiente de la implementación, de lo que el usuario necesita
- Un método de análisis de requerimientos de usuario será adoptado y aplicado consistentemente
- Cada requerimiento incluirá un identificador
- Requerimientos de software esenciales serán marcados como tales
- En caso de entrega incremental, cada requerimiento deberá incluir una prioridad así el desarrollador puede decidir el orden de producción
- Incluir referencias que indiquen a qué requerimientos de usuario corresponde cada requerimiento de software
- Cada requerimiento de software debe ser verificable
- Las salidas de la fase SR serán formalmente revisadas durante la SR/R
- Una salida de la fase SR será el Documento de Requerimientos de Software (SRD)
- El SRD debe cubrir todos los requerimientos establecidos en el URD

- Se debe incluir en el SRD una tabla mostrando como los requerimientos de usuario se corresponden con los requerimientos de software
- El SRD debe ser consistente
- Las descripciones de las funciones dirán qué hace el software, evitando mencionar cómo lo hace

4.2.3. Fase AD: Diseño Arquitectónico

El propósito de la fase AD es definir la estructura del software [ADD95]. El punto de partida es el modelo construido en la fase SR. Este modelo es transformado en un diseño arquitectónico asignando funciones a componentes de software y definiendo el flujo de control y de datos entre ellas.

Dificultades técnicas o partes críticas del diseño tienen que ser identificadas. Diseños alternativos pueden ser propuestos, uno de los cuales debe ser elegido.

El ítem entregable que constituye la salida formal de esta fase es el Documento de Diseño Arquitectónico (ADD). El ADD será siempre producido para cualquier proyecto de software. El ADD debe ser revisado formalmente durante la Revisión de Diseño Arquitectónico (AD/R).

La fase AD debe cumplir los siguientes puntos:

- Las actividades de la fase AD deben ser llevadas a cabo de acuerdo a los planes definidos en la fase SR
- El desarrollador deberá construir un “modelo físico”, el cual describe el diseño del software utilizando terminología de implementación
- Solo el diseño seleccionado será reflejado en el ADD
- Para cada componente se detallará la siguiente información
 1. datos de entrada
 2. funciones a llevar a cabo
 3. datos de salida
- Las estructuras de datos que interactúan con componentes deben ser definidas en el ADD
- Las definiciones de las estructuras de datos incluirán:
 1. descripción de cada elemento (ej: nombre, tipo, dimensión)
 2. relación entre los elementos (i.e. la estructura)
 3. rango de valores posibles de cada elemento
 4. valores iniciales de cada elemento
- Será definido el control de flujo entre los componentes
- Los recursos necesarios en el entorno de desarrollo y en el entorno operacional (ej: CPU, memoria, etc.) serán estimados en la fase AD y definidos en el ADD
- El ADD definirá los componentes de software más importantes y las interfaces entre ellos

- El ADD definirá o referenciará todas las interfaces externas
- El ADD será completo, cubriendo todos los requerimientos de software descritos en el SRD
- Se deberá incluir una tabla referenciando los requerimientos de software a las partes del diseño arquitectónico
- El ADD será consistente

4.2.4. Fase DD: Diseño Detallado y producción del código

El propósito de la fase DD es detallar el diseño del software, codificarlo y testarlo [DDD95].

El Documento de Diseño Detallado (DDD) y el Manual de Usuario del Software (SUM) son producidos concurrentemente con el código y el testeo de la unidad. Inicialmente, el DDD y el SUM contienen las secciones correspondiente a los niveles más altos del sistema. Mientras que el diseño progresa a niveles más bajos, las subsecciones correspondientes son agregadas. Al final de la fase, los documentos son completados y, con el código, constituyen los entregables de esta fase.

Durante esta fase son llevadas a cabo las actividades de testeo de unidades, de integración y del sistema de acuerdo a los planes de verificación establecidos en las fases SR y AD.

Al final del proceso de revisión (DD/R) el software puede ser declarado listo para los testeos de aceptación.

La fase DD debe cumplir con los siguientes puntos:

- Las actividades de la fase DD serán llevadas a cabo de acuerdo a los planes definidos en la fase AD
- El diseño detallado y la producción de software estarán basados en los siguientes tres principios:
 1. descomposición top-down
 2. programación estructurada
 3. realización concurrente de la producción y documentación
- Antes de que un módulo sea aceptado, cada *statement* del módulo debe ser ejecutado correctamente al menos una vez
- El test de integración deberá chequear que todo los datos intercambiados a través de las interfaces concuerdan con las especificaciones de las estructuras de datos del ADD
- El test de integración deberá confirmar que los controles de flujo definidos en el ADD han sido implementados
- El test del sistema deberá chequear conformidad con los objetivos del sistema, según lo establecido en el SRD
- En el DDD se incluirá una tabla de referencias entre los requerimientos de software y el diseño detallado de los componentes

4.2.5. Fase TR: Transferencia

El propósito de esta fase es establecer que el software cumple con los requerimientos establecidos en el URD [STD95]. Esto es llevado a cabo instalando el software y realizando los test de aceptación.

Cuándo el software ha demostrado que provee las capacidades requeridas, puede ser provisoriamente aceptado y comienzan las operaciones.

Durante esta fase debe ser producido el Documento de Transferencia del Software (STD) para documentar la transferencia del software al equipo de operaciones.

La fase TR debe cumplir con los siguientes puntos:

- En los tests de aceptación debe participar personal representativo de los usuarios y personal de operaciones.
- Las actividades de la fase TR serán llevadas a cabo de acuerdo a los planes definidos en la fase DD. Los planes de la fase TR son establecidos en la fase UR y son actualizados apropiadamente.
- Los tests de aceptación serán indicados en el SVVP (Software Verification & Validation Plan)
- El software provisoriamente aceptado estará constituido por las salidas de las fases previas y las modificaciones que fueran encontradas necesarias en la fase TR.
- El STD será entregado por los desarrolladores a la organización de mantenimiento en el momento de aceptación provisoria.
- El STD contendrá un resumen de los reportes de los tests de aceptación y toda la documentación sobre los cambios realizados durante la fase TR.

4.2.6. Fase OM: Operaciones y Mantenimiento

Una vez que el software ha entrado en operación, debería ser monitoreado cuidadosamente para confirmar que cumple con todos los requerimientos establecidos en el URD [OM95]. Algunos requerimientos pueden tomar algún tiempo en validarse. Cuándo el software ha pasado todos los tests de aceptación puede ser aceptado finalmente.

El Documento del Historial del Proyecto (PHD) resume la información significativa acumulada en el curso del proyecto. Este documento debe ser publicado después de la aceptación final.

Después de la aceptación final, el software puede ser modificado para corregir errores no detectados durante las fases anteriores, o porque se suman nuevos requerimientos. Esto es llamado “mantenimiento”.

Durante el período de operaciones, se debe poner particular atención en mantener la documentación actualizada. Información respecto de fallos y errores debe ser guardada.

En la fase OM se debe cumplir con los siguientes puntos:

- Todos los tests de aceptación serán completados satisfactoriamente antes que el software sea finalmente aceptado.
- Una organización de mantenimiento deberá ser designada para cada producto de software en uso operacional.

- Debe mantenerse la consistencia entre el código y la documentación.
- Serán asignados recursos al mantenimiento de un producto hasta que éste sea retirado.

4.3. Enfoques del Ciclo de Vida

El modelo de ciclo de vida del software, mostrado en la figura 4.1, resume las fases y actividades que deben ocurrir en un proyecto de software. Para cada proyecto de software debe ser definido un enfoque del ciclo de vida.

Esta sección define tres enfoques propuestos por ESA. En los diagramas, las fases han sido reducidas a cuadros. Las flechas que conectan los cuadros indican las transiciones permitidas.

4.3.1. El enfoque “catarata”

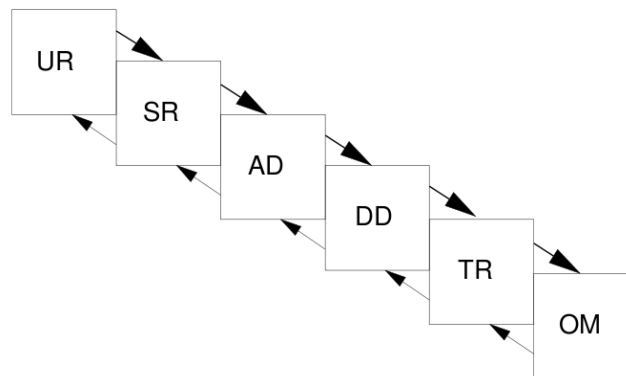


Figura 4.2: Enfoque “catarata”

Este enfoque, como lo muestra la figura 4.2 es la interpretación más sencilla del modelo mostrado en la figura 4.1. Las fases son ejecutadas secuencialmente, como lo muestran las flechas en negrita. Cada fase es ejecutada una vez, aunque la iteración entre fases está permitida para la corrección de errores. La entrega del sistema completo ocurre al final de la fase TR.

4.3.2. El enfoque de entrega incremental

Este enfoque, mostrado en la figura 4.3, está caracterizado por separar las fases DD, TR y OM en un número de unidades más manejables, una vez que la arquitectura completa ha sido definida. El software es entregado en múltiples versiones, cada una con funcionalidad y capacidad mejoradas. Este enfoque es beneficioso para grandes proyectos, donde una sola entrega podría no ser práctica. Cada entregable debe ser utilizable y debe proveer un subconjunto de capacidades requeridas.

Una desventaja de este enfoque es que se necesita hacer testing de regresión para confirmar que las capacidades previamente existentes del software no fueron afectadas en la nueva actualización. El incremento de la cantidad de testing necesario incrementa el costo del software.

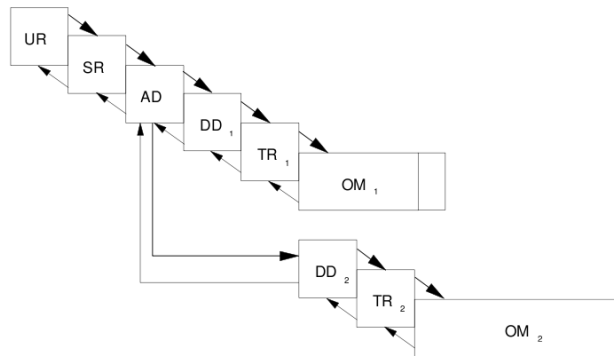


Figura 4.3: Enfoque de entrega incremental

4.3.3. El enfoque de desarrollo evolutivo

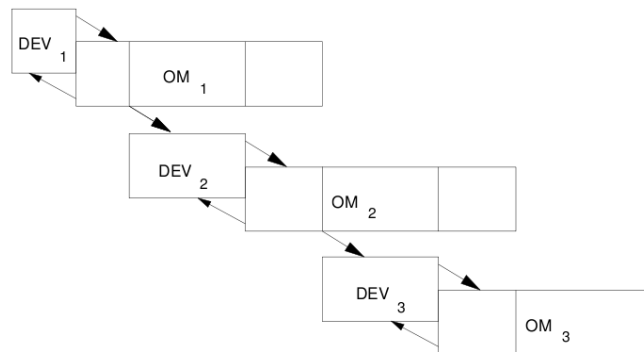


Figura 4.4: Enfoque de desarrollo evolutivo

El cuadro indicado con DEV es equivalente a las fases UR,SR,AD,DD y TR mostradas en la figura 4.1

El enfoque evolutivo, mostrado en la figura 4.4, está caracterizado por un desarrollo planeado de múltiples actualizaciones. Todas las fases del ciclo de vida son ejecutadas para producir una actualización. Cada actualización incorpora la experiencia de las anteriores. El enfoque evolutivo puede ser usado por ejemplo porque:

- la experiencia de algún usuario es requerida para refinar y completar los requerimientos
- algunas partes de la implementación pueden depender de la disponibilidad de tecnología futura
- se anticipa que habrán nuevos requerimientos de usuario pero todavía no son conocidos
- algunos requerimientos pueden ser mucho más complicados de cumplir que otros, y se decide no tenerlos en cuenta para no demorar una entrega utilizable

En un desarrollo evolutivo, el desarrollador deberá reconocer las prioridades del usuario y producir las partes que son importantes para éste y al mismo tiempo los que se puedan desarrollar con mínimos problemas técnicos y menores demoras.

La desventaja del enfoque evolutivo es que si los requerimientos están muy incompletos al comenzar, la estructura del software inicial puede no aguantar el peso de una evolución posterior. Pueden ser necesarias reescrituras, o aún peor, soluciones temporales pueden quedar embebidas en el software y distorsionar su evolución. En cada ciclo de desarrollo es importante conseguir una declaración de requerimientos completa (para reducir riesgos) y un diseño adaptable (para asegurar modificabilidad). En un desarrollo evolutivo, no necesariamente deben ser implementados todos los requerimientos de manera completa en cada ciclo de desarrollo. Más allá de esto, el diseño arquitectónico debe tener en cuenta todos los requerimientos conocidos.

Aplicando los Estándares de Ingeniería del Software de las Agencias Espaciales a pequeños proyectos

5.1. Pequeños proyectos de software

Como hemos mencionado en el capítulo 4 los estándares de ingeniería del software de la ESA definen las prácticas de software que deben ser aplicadas en todos los proyectos de la agencia espacial. Sin embargo, ESA recomienda la utilización de un enfoque simplificado de los estándares en proyectos de pequeña envergadura.

Los factores relacionados con el tamaño de un proyecto son:

- costo de desarrollo del proyecto
- número de personas requeridas para el desarrollo
- cantidad de software a ser producido

Un proyecto de software puede ser considerado pequeño si uno o más de los siguientes criterios aplican:

- son necesarios menos de dos años de desarrollo
- un equipo de no más de 5 desarrolladores es requerido
- la cantidad de líneas de código es menor a 10 mil, sin incluir los comentarios

Una o más de las siguientes estrategias son a menudo adecuadas para la producción de pequeños proyectos de software no crítico:

- combinar las fases de requerimientos de software y de diseño de la arquitectura
- simplificar la documentación
- reducir los requerimientos de fiabilidad
- usar la especificación de tests del sistema para tests de aceptación

5.1.1. Combinar las fases SR y AD

Los estándares requieren que la definición de requerimientos de software y el diseño de la arquitectura sean realizados en fases separadas. Estas fases terminan con una revisión formal del Documento de Requerimientos de Software y del Documento de Diseño Arquitectónico. Cada revisión normalmente incluye al usuario, y puede durar entre dos semanas y un mes. Para un proyecto de software pequeño, las revisiones del SRD y el ADD por separado pueden alargar los tiempos significativamente [SMA96]. Una manera eficiente de organizar el proyecto es entonces:

- combinar las fases SR y AD en una sola fase SR/AD
- combinar las revisiones SR/R y AD/R en una sola revisión formal al final de la fase SR/AD

5.1.2. Simplificar la documentación

Las normas PSS-05-0 de la ESA proveen templates de documentos que están basados en los estándares ANSI/IEEE, y están diseñados para cubrir la documentación requerida por todos los proyectos. Para el caso de los pequeños proyectos las normas establecen nuevos templates simplificados los cuales deben ser utilizados.

Los desarrolladores deben combinar los documentos SRD y ADD en un mismo Documento de Especificación del Software (SSD - Software Specification Document).

Los desarrolladores deben documentar el diseño detallado poniendo la mayoría del detalle del diseño en el código fuente y extendiendo el SSD para contener cualquier información del diseño detallado que no pueda estar contenido en el código (ej: información sobre la estructura del software).

La producción del Documento de Historial del Proyecto es opcional.

5.1.3. Reducir los requerimientos de fiabilidad

Los requerimientos de fiabilidad del software deben ser definidos teniendo en cuenta el costo de corregir defectos durante el desarrollo contra los costos de:

- corregir defectos durante las operaciones
- multas surgidas a partir de fallas durante las operaciones
- pérdida de reputación sufrida por producir un producto con fallas

La fiabilidad del software es “construida”:

- diseñando el software de forma confiable
- revisando documentos y código
- testeando el código

5.1.4. Usar la especificación de los tests del sistema para los tests de aceptación

Cuando el desarrollador es el responsable de producir la especificación de los test de aceptación, los test suelen repetir los casos de test y procedimientos seleccionados del sistema. Para documentar los tests de aceptación simplemente se indica en la especificación de test del sistema que casos de test y procedimientos deberían ser usados en los test de aceptación.

Aplicación de los estándares a un proyecto piloto

Haber estudiado y analizado los estándares de la **ESA** permite aplicarlos en el desarrollo de un proyecto desde su concepción hasta la transferencia del mismo al usuario, su operación y mantenimiento.

Se pretende verificar la importancia de la aplicación de estos estándares de ingeniería del software en el desarrollo de sistemas de automatización de procesamiento de imágenes satelitales. Por ello la elección de las normas de la Agencia Espacial Europea, ya que en ellas están basados los estándares utilizados por la CONAE para sus proyectos. Se aplican los *estándares para pequeños proyectos* dado que el proyecto escogido cumple con los requisitos que establece ESA para ser considerado “pequeño”.

Para aplicar estas normas se ha decidido trabajar sobre la detección de deforestaciones a través de Imágenes Landsat 5 - TM. Ésta es una aplicación importante para el estudio del cambio climático, catástrofes naturales, epidemiología panorámica, entre otros. Como se ha mencionado en el capítulo 3 los cambios en el medio ambiente son un factor importante que influyen la presencia, el desarrollo, la actividad y longevidad de vectores reservorios de distintas enfermedades y sus posibles relaciones con el hombre.

Justamente la deforestación de bosques y montes nativos es una de las principales causas de cambios en el medio ambiente y es por esto que realizar un seguimiento de la misma es de vital importancia para ambientalistas y para quienes se dedican a la epidemiología panorámica.

6.1. Fase UR: Definición de los requerimientos

Una vez definido el problema sobre el que se trabajará, se presenta el primer paso en el desarrollo del sistema: la definición de los requerimientos de usuario.

Dada la gran cantidad de imágenes con la que se disponen en la actualidad, la complejidad del análisis de las mismas y el tiempo que demanda su interpretación por parte de una persona, hace que sea imprescindible la automatización de este proceso mediante un sistema que realice cada paso en la cadena de procesamiento para la detección de cambios entre distintas imágenes.

6.1 FASE UR: DEFINICIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS

Lógicamente el principal requerimiento es obtener, de forma automática, una máscara que muestre los píxeles donde hubo cambios en la floresta entre dos imágenes Landsat 5 - TM del mismo Path y Row.

Además de obtener el producto final en forma automática, es de gran importancia la reusabilidad de cada componente del sistema, por ello se requiere que éste sea definido como un conjunto de procesadores independientes encargados de llevar adelante un procesamiento específico, el cual podrá ser necesario a futuro en un nuevo sistema.

En la siguiente tabla se explicitan los requerimientos de usuario, con su ID.

ID Requerimiento	Descripción
UR1	El sistema deberá generar una máscara de ceros y unos a partir de dos imágenes Landsat de mismo Path y Row marcando los cambios de forestación entre ellas.
UR2	El sistema deberá correr sobre el sistema operativo Windows
UR3	El sistema deberá ser una aplicación de consola, la cual deberá obtener los paths de las 2 imágenes a procesar y el directorio donde debe generarse la imagen de salida desde un archivo de configuración.
UR4	El sistema deberá ser construido como un conjunto de unidades de procesamiento específico.
UR5	La generación del producto final de deforestación deberá ser consecuencia de una ejecución secuencial de los procesadores definidos.
UR6	El sistema deberá realizar el ajuste geométrico entre las dos imágenes de entrada.
UR7	El ajuste geométrico deberá tener un error de a lo sumo 1 píxel.
UR8	El sistema deberá realizar la homogeneización radiométrica de las imágenes.
UR9	El sistema deberá realizar el NDVI [Chu02b] de las imágenes previamente corregidas geométrica y radiométricamente.
UR10	A partir de los NDVI de las imágenes, el sistema deberá aplicar el algoritmo de detección de cambios <i>Cocientes Multitemporales Normalizados</i> [Chu02c] para realizar la detección de deforestaciones entre ambas imágenes

Tabla 6.1: Requerimientos de Usuario

El documento de requerimientos de usuario (URD) exigido por la ESA se incluye como *Apéndice A* de este trabajo.

6.2. Fase SS: Requerimientos de Software y Diseño Arquitectónico

Una vez pasada la UR/R (Revisión de Requerimientos de Usuario) se procede a la interpretación de los requerimientos definidos en el Documento de Requerimientos de Usuario para avanzar hacia la definición de los requerimientos de software y del modelo lógico que cubran lo definido en tal etapa.

6.2.1. El modelo lógico

En la figura 6.1 se muestra el modelo lógico derivado de la interpretación de los requerimientos de usuario.

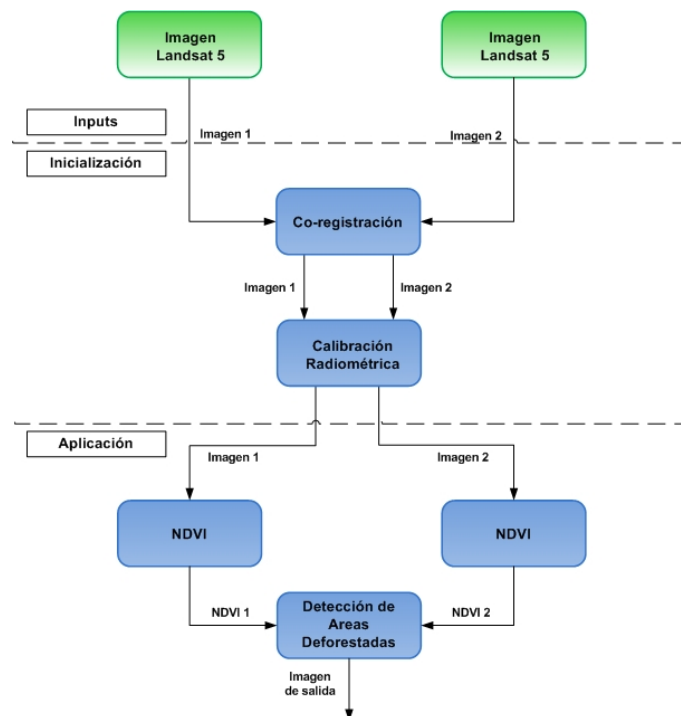


Figura 6.1: Modelo Lógico

Se utilizan dos imágenes **Landsat5 - TM** del mismo Path y Row como inputs del sistema. El primer procesamiento que se debe aplicar es la co-registración para obtener un adecuado ajuste geométrico, esto permitirá poder comparar los píxeles equivalentes entre ambas imágenes.

El paso siguiente al ajuste geométrico es la homogeneización radiométrica. La homogeneización logra eliminar los efectos que modifican la signatura espectral de un píxel tales como condiciones de observación, situaciones atmosféricas diferentes o la diferencia en la calibración del sensor. Para ello se toma una imagen como referencia y la otra como imagen a ajustar, se calculan los coeficientes de ajuste (sesgo y ganancia) a partir de la comparación de un conjunto de píxeles equivalentes de una y otra.

Hasta aquí llega lo que se ha denominado *Inicialización*, ya que es el pre-procesamiento necesario para poder realizar una buena comparación entre las imágenes.

Con las imágenes ya ajustadas geométrica y radiométricamente se realiza el NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) para obtener, como su nombre lo indica, un índice de vegetación de cada imagen. El NDVI sirve para dejar las imágenes ya listas para aplicar el algoritmo de comparación de forestación entre ellas.

Por último, se realiza la comparación de los NDVI para obtener los cambios en los valores de la vegetación entre uno y otro. Los cambios que indiquen disminución de la forestación serán manifestados en la imagen de salida.

6.2.2. Requerimientos de Software

Los requerimientos de software se encuentran definidos en el SSD (Software Specification Document) que constituye el *Apéndice B* de este trabajo.

6.2.3. Diseño Arquitectónico

Basado en el modelo lógico y los requerimientos de software, se desarrolla una arquitectura modular para el sistema. Esta arquitectura contempla tres subsistemas:

Subsistema de Preparación: se encarga de realizar los pre-procesamientos necesarios para preparar las imágenes para poder ser comparadas. Las unidades que lo componen se encargan de realizar los ajustes geométricos y radiométricos; y de obtener los índices de vegetación de las imágenes de entrada.

Subsistema de Control: Contiene a la unidad central del sistema, el punto de entrada del sistema. Además de recibir las peticiones por parte de los usuarios, se encarga de ejecutar las unidades de los otros subsistemas y de suministrarles los inputs necesarios para que éstas se ejecuten correctamente.

Subsistema de Producción: Contiene a la unidad que realiza el proceso de obtención del producto para el cual el sistema fue concebido.

La figura 6.2 muestra gráficamente cómo está separado el sistema en los subsistemas mencionados y las unidades que componen a cada uno de ellos. La definición completa de la arquitectura al igual que las interfaces entre las unidades se encuentran en el SSD, documento que constituye el *Apéndice B* de este trabajo.

6.3. Fase DD: Diseño Detallado e Implementación

Dada la complejidad de los algoritmos, la cantidad de gente necesaria para su estudio e investigación; y el tiempo que llevaría desarrollar el sistema completo, se decidió realizar solamente el diseño detallado y la implementación de la unidad de detección de cambios. Se deja propuesto como trabajo a futuro el desarrollo de las unidades de pre-procesamiento y control, que tal y como están pensadas para trabajar en este sistema serían de gran utilidad para la CONAE (Comisión Nacional de Actividades Espaciales).

Cabe aclarar que las actividades llevadas a cabo en esta fase se repiten en todas las unidades. Lo que se pretende en este trabajo es cubrir al menos una vez cada una de las fases de las normas y generar la documentación correspondiente.

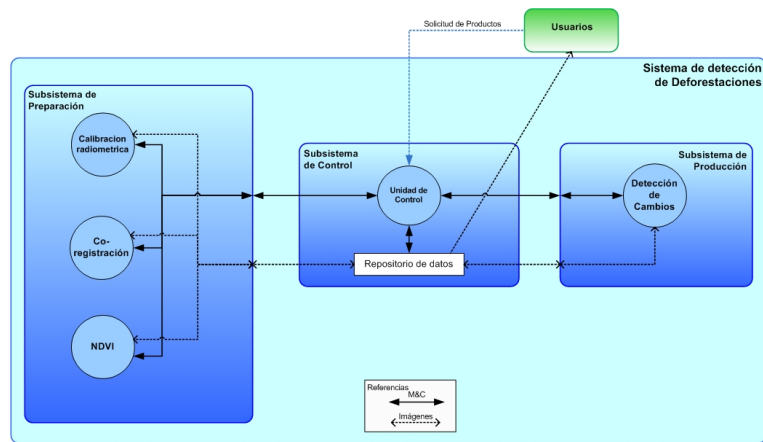


Figura 6.2: Arquitectura del Sistema

6.3.1. Diseño de la Unidad “Detección de cambios”

Para el diseño de esta unidad se utiliza el diseño orientado a objetos basado en la ocultación de la información. La idea principal en el diseño de la unidad es la modularización de la misma, separando las distintas funcionalidades entre componentes que se encarguen específicamente de las mismas. Por lo tanto está diseñada contemplando:

- un componente con dedicación exclusiva al parseo (análisis) del archivo de configuración llamado *ParserXML*.
- un componente *Main*, encargado del manejo de los demás componentes.
- un componente *Reader* dedicado a la lectura de las líneas de las imágenes.
- un componente *Writer* encargado de la escritura de los archivos de salida.
- un componente *Detector* dedicado a la aplicación del algoritmo de detección de cambios.

El diseño de la unidad a nivel de componentes y sus interfaces, al igual que los diagramas UML [Jam05] correspondientes se encuentran en el Documento de Diseño Detallado en el *Apéndice C* de este trabajo.

Para la implementación de la unidad se utilizó el lenguaje de programación IDL [Sol07], lenguaje especializado en el manejo de imágenes y que permite una fácil integración de sus aplicaciones a ENVI. Esta herramienta de procesamiento de imágenes es ampliamente utilizada para diversas aplicaciones en CONAE. Ésta es una causa que genera una motivación extra para realizar el desarrollo del software en el lenguaje escogido.

6.3.2. El Manual de Usuario del Software

En el *Apéndice D* se encuentra el Manual de Usuario del Software, en el que se detalla cómo debe utilizarse la aplicación *Detección de Cambios*. En él se describen:

- cómo utilizar la aplicación

- generación del archivo de configuración
- formato de imágenes de entrada
- formato de imágenes de salida
- posibles mensajes de errores y sus soluciones

Además se incluye un ejemplo de ejecución y se muestran los resultados de su correcta aplicación.

6.4. Plan y Procedimientos de Verificación y Validación

En el Apéndice E se describe el Plan de V&V del Software. En él se define el Plan de Test, se detalla el método de registración del plan de pruebas y se presenta la matriz de trazabilidad entre requerimientos funcionales y procedimientos de test. Por último describe cada uno de los procedimientos de test para la verificación y validación de las unidades de procesamiento, incluidos los de la unidad de *Detección de Cambios*.

6.5. Resultados

Dado que la unidad *Detección de Cambios* es parte de un sistema compuesto por varias unidades, entre las cuales se encuentran las que llevan a cabo el pre-procesamiento necesario para que ésta se ejecute correctamente, se debieron realizar las correcciones geométricas y radiométricas necesarias para su aplicación. En la ejecución del sistema completo la unidad de control se encargaría de que los inputs hayan sido pre-procesados anteriormente.

Para probar la unidad se obtuvieron imágenes de la página de INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) perteneciente al Ministerio de Ciencia y Tecnología de Brasil (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>). Las imágenes fueron adquiridas por el sensor *TM* del satélite *Landsat 5* el 20 de marzo de 1989 y el 16 de marzo de 2005, ambas pertenecen al Path 230 y al Row 076, correspondiente a la provincia de Salta.

La homogeneización radiométrica y el ajuste geométrico fueron realizados utilizando ENVI. Para la co-registración entre imágenes se utilizaron 40 puntos de control y el algoritmo utilizado para el remuestreo fue el de *vecino más cercano*.

Utilizando la misma herramienta se obtuvieron los NDVI de las dos imágenes a partir de las bandas 3 (Rojo) y 4 (Infrarrojo Cercano). Finalmente se realizaron recortes para obtener imágenes más pequeñas y probar la unidad en regiones donde fueran fácilmente identificables las zonas que han cambiado entre una adquisición y otra.

Para la primera ejecución se utilizaron recortes de 400x400 píxeles. Las figuras 6.3(a) y 6.3(c) muestran las imágenes originales corregidas radiométrica y geométrica. En ellas se observan los recuadros correspondiente a los dos recortes utilizados. La figura 6.3(b) muestra un recorte de la imagen obtenida en 1989 y la figura 6.3(d) muestra el mismo recorte realizado a la imagen obtenida en 2005. Los NDVI obtenidos a partir de estos recortes son mostrados en las figuras 6.4(a) y 6.4(b).

Finalmente se corrió la aplicación con estos NDVI como input. Las imágenes generadas como salida son mostradas a en la figura 6.5. La imagen 6.5(a) es generada a partir de la aplicación del algoritmo de Cocientes Multitemporales Normalizados, el cual manifiesta la significación del cambio entre ambas fechas, mostrando píxeles más claros donde aumentó el NDVI y más oscuros donde disminuyó. La imagen 6.5(b) es la

6.5 RESULTADOS

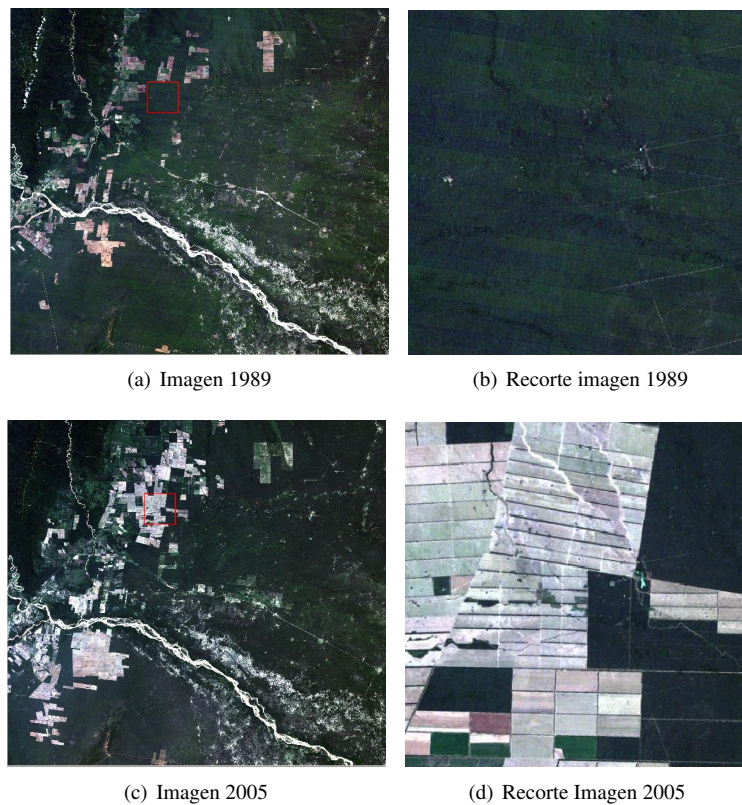


Figura 6.3: Recortes de Imágenes Landsat 5 - TM

máscara generada. Ésta resalta los píxeles donde el NDVI ha disminuido para aquellos píxeles donde inicialmente había un NDVI mayor a 0,4.

Como se puede ver en la imagen 6.5(b) , la aplicación muestra con gran precisión las zonas en las cuales ha disminuido la floresta.

Con el objetivo de aportar mayores datos sobre el área estudiada, se obtuvieron datos estadísticos relevantes a partir del análisis de la máscara generada. Estos datos fueron obtenidos con ENVI. La Tabla 6.2 muestra los resultados.

Cantidad total de píxeles	160.000
Píxeles sin cambios	73.980
Píxeles con cambios	86.020
Área total [ha]	14.400
Área deforestada [ha]	7.741
Porcentaje de área deforestada	53.76 %

Tabla 6.2: Resultados ejecución sobre recortes de 400x400 píxeles

6.5 RESULTADOS

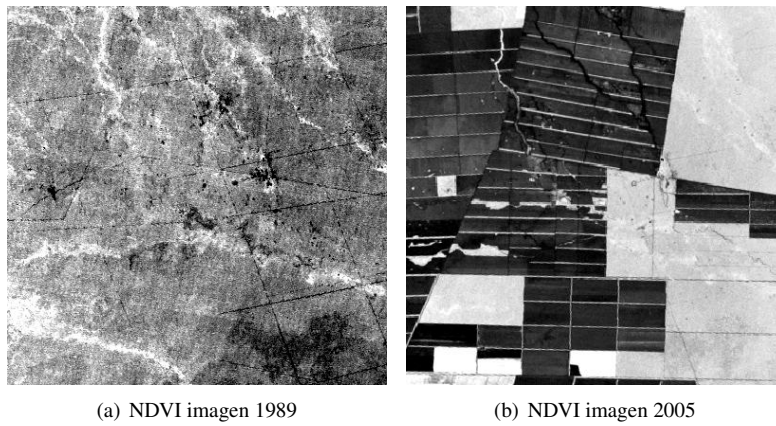


Figura 6.4: NDVI de las imágenes recortadas.

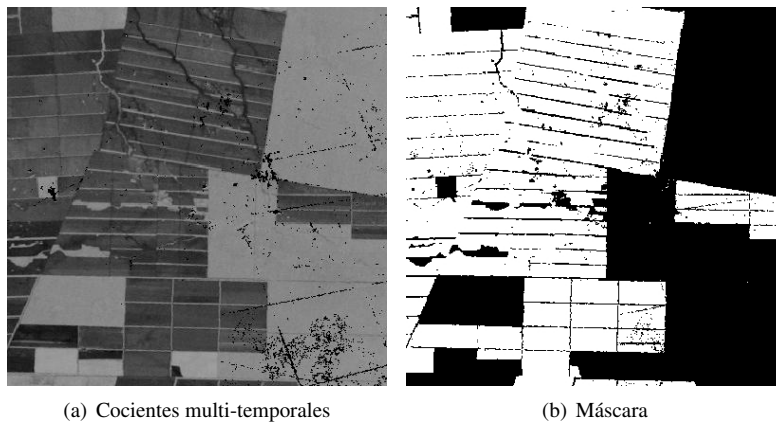


Figura 6.5: Resultados de la ejecución

Habiendo comprobado el éxito de la aplicación sobre estas pequeñas imágenes, se realizaron ejecuciones sobre otros sectores de diferentes tamaños, pertenecientes a las mismas imágenes originales. Por último se ingresaron como input las imágenes originales. Las figuras 6.6(a) y 6.6(b) muestran las dos imágenes originales, mientras que las figuras 6.6(c) y 6.6(d) muestran las dos imágenes generadas por la aplicación.

6.5 RESULTADOS

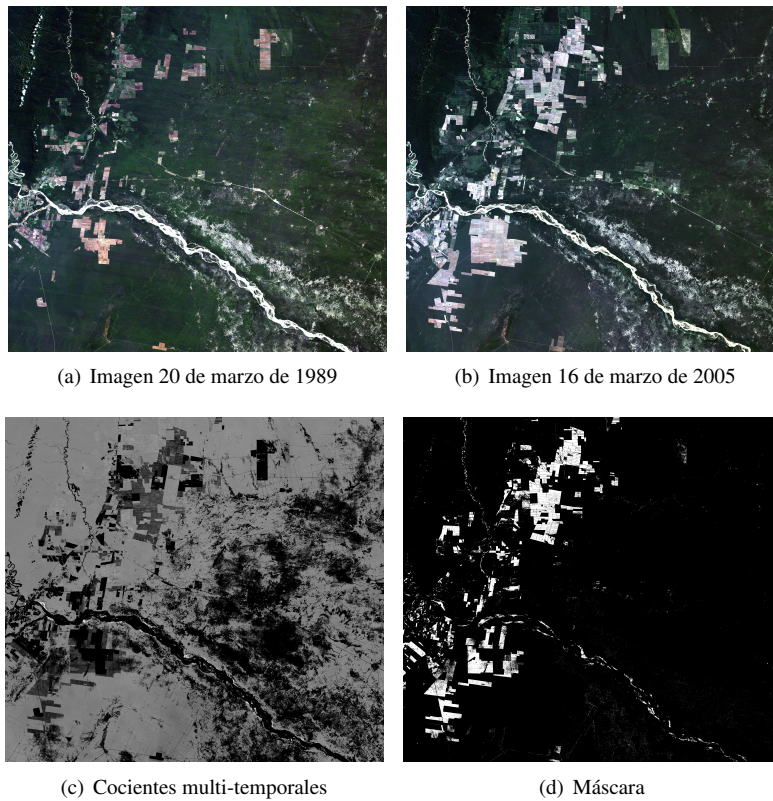


Figura 6.6: Imágenes Landsat 5 - TM (Path 230 - Row 076) y resultados de detección de cambios

Al igual que para los recortes pequeños, se obtuvieron datos estadísticos utilizando ENVI. La Tabla 6.3 muestra los resultados.

Cantidad total de píxeles	21.903.000
Píxeles sin cambios	20.778.308
Píxeles con cambios	1.124.692
Área total [ha]	1.971.270
Área deforestada [ha]	101.222
Porcentaje de área deforestada	5,1349 %

Tabla 6.3: Resultados ejecución sobre imagen original

CAPÍTULO 7

Conclusiones

Como se ha descrito en el capítulo 2, la teledetección espacial es de amplia utilidad para estudios de distintos eventos que ocurren en nuestro planeta.

La generación de productos para los usuarios a partir de las imágenes satelitales es una tarea compleja. Para ello se utilizan herramientas que permiten realizar de forma semi-automática la obtención de los productos deseados. Pero la gran cantidad de datos con los que se dispone actualmente hace que sean necesarias herramientas que automaticen el procesamiento de las mismas para poder obtener mayores y mejores resultados.

Para poder desarrollar herramientas que automaticen tales procesamientos se debe trabajar mucho, principalmente en su definición, determinando estrictamente *qué* deben y *qué no* deben hacer.

Para ello se estudiaron las Normas de Ingeniería del Software de la ESA, las cuales fueron descritas en los capítulos 4 y 5, con la intención de ser aplicadas para el desarrollo del proyecto elegido.

Una vez estudiados los estándares, se llevó adelante el proyecto de *Detección de Deforestaciones* a partir imágenes Landsat 5 - TM. Para el desarrollo del sistema se utilizaron las normas para *pequeños proyectos de software*, dado que el proyecto propuesto cumple con los requisitos definidos por la ESA para ser considerado como “pequeño”. Se ejecutó cada uno de los pasos establecidos por las normas para completar el ciclo de vida del software, generando los documentos solicitados por las mismas.

La aplicación de tales normas estudiadas fue satisfactoria, demostrando que el estudio detallado del problema, a partir de una definición rigurosa de los requerimientos de usuario y el diseño de una arquitectura modular permiten llevar adelante de manera clara y sencilla la etapa de diseño detallado e implementación.

Los tiempos utilizados para el estudio del problema y documentación de requerimientos, diseño y planes de test, rondó el 80 % del tiempo total. El testeado de la unidad implementada se llevó a cabo satisfactoriamente, probando que se cubre cada uno de los requerimientos de software establecidos.

La aplicación desarrollada cumplió con los objetivos establecidos en sus requerimientos, obteniéndose una máscara que determina las zonas de una imagen Landsat

donde se ha deforestado entre las dos fechas comparadas. Esta imagen puede ser aplicada por los usuarios como una máscara sobre la imagen original, utilizando programas de procesamiento de imágenes como ENVI, para resaltar las zonas donde hubo merma forestal.

7.1. Trabajo a futuro

La creación de sistemas de automatización de generación de productos finales a partir de imágenes satelitales es una tarea ardua y costosa. Proyectos de este tipo involucran a un gran número de personas y demandan mucho tiempo de investigación y desarrollo. Pero hay razones para creer que los beneficios generados por estos, superan ampliamente los costos de un procesamiento lento que no permite aprovechar al máximo la gran disponibilidad de imágenes y de los datos que éstas aportan.

APÉNDICE **A**

Documento de Requerimientos de Usuario

Documento de Requerimientos de Usuario (URD)

Generación de producto de deforestación

26/09/2009

Autor: Mirko Panozzo Zénere

Revisión: 1.0

I. Historial de Revisiones

Número de Revisión	Fecha de Revisión	Autor	Resumen de Cambios

II. Documentos Relacionados

Nombre del documento	Fecha	Autor

III. Tabla de contenidos

I.	HISTORIAL DE REVISIONES	2
II.	DOCUMENTOS RELACIONADOS	2
III.	TABLA DE CONTENIDOS.....	3
1	INTRODUCCIÓN	4
1.1	PROPÓSITO DE ESTE DOCUMENTO	4
1.2	ALCANCE DEL SOFTWARE	4
1.3	DEFINICIONES, ACRÓNIMOS Y ABREVIACIONES	4
1.4	REFERENCIAS.....	4
1.5	RESUMEN DEL DOCUMENTO.....	4
2	DESCRIPCIÓN GENERAL	4
2.1	PERSPECTIVA DEL PRODUCTO.....	4
2.2	APTITUDES GENERALES	5
2.3	RESTRICCIONES GENERALES.....	5
2.4	CARACTERÍSTICAS DE LOS USUARIOS	5
3	REQUERIMIENTOS ESPECÍFICOS	5
3.1	REQUERIMIENTOS DE CAPACIDADES.....	6
3.2	REQUERIMIENTOS DE RESTRICCIÓN	6

1 Introducción

1.1 Propósito de este documento

Este documento describe formalmente los requerimientos de usuario del *sistema* de detección de deforestaciones, el cual determinará zonas deforestadas a partir de un análisis multi-temporal de imágenes Landsat.

1.2 Alcance del software

El sistema de **Detección de Deforestaciones** utilizará imágenes Landsat 5 y Landsat 7 para realizar un estudio multi-temporal de las mismas y así generar mapas de deforestación, a través del tiempo, de las zonas estudiadas.

El software realizará la comparación entre dos imágenes de la misma zona pero de distintas fechas (varios años) para obtener las diferencias de la forestación entre una y otra.

Poder realizar un estudio de este tipo permite realizar un seguimiento de la merma forestal en nuestro país y determinar, por nombrar algunos ejemplos, el por qué de: inundaciones, cambios climáticos o incremento de vectores transmisores de enfermedades tales como la leishmaniasis.

1.3 Definiciones, acrónimos y abreviaciones

Acrónimo	Descripción
ESA	European Space Agency
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index (Índice diferencial de vegetación normalizado)

1.4 Referencias

No Aplica.

1.5 Resumen del documento

En el capítulo 2 se verá una descripción general del producto y la idea principal sobre la que se basa el sistema. Se contemplarán las aptitudes y restricciones del producto, como así también la perspectiva del mismo.

En el capítulo 3 se detallarán los requerimientos del sistema.

2 Descripción General

El requerimiento principal de este sistema de software es diseñar, implementar y testear un modelo de detección de deforestaciones a partir del estudio multi-temporal de imágenes Landsat.

2.1 Perspectiva del producto

El producto deberá ser definido como un conjunto de procesadores que encadenados en una ejecución secuencial generarán la imagen con los cambios de forestación detectados en la cual

Documento de Requerimientos de Usuario (URD)

se destacarán los mismos. Estos procesadores deberán ser definidos de manera tal que puedan ser reutilizados en la generación de futuros productos que pudieren ser requeridos.

2.2 *Aptitudes generales*

Idealmente el software constará de distintos módulos que permitirán llevar a cabo, por separado, las diferentes acciones necesarias para realizar la detección de cambios de una imagen con respecto a la otra. Esto permitirá reutilizar los módulos durante la generación de futuros productos que requieran acciones similares, pero principalmente permitirá realizar la generación de dos o más productos de deforestación en forma simultánea.

2.3 *Restricciones generales*

El software deberá ser desarrollado de acuerdo a los estándares ESA PSS-05 para pequeños proyectos.

2.4 *Características de los usuarios*

Uno de los principales beneficios del sistema será que los productos se generarán de forma automática, por lo que el usuario solo deberá seleccionar que imágenes desea comparar y deberá correr el software. Por lo tanto no se requerirá usuarios con conocimientos en procesamiento de imágenes satelitales.

3 **Requerimientos específicos**

Esta sección describe todos los requerimientos de usuario del sistema de detección de deforestaciones. Cada requerimiento es priorizado de la siguiente manera:

- M (Mandatory Requirement) Requerimiento obligatorio. Las características deben estar incluidas en el sistema final.
- D (Desirable Requirement) Requerimiento deseable. Las características deberían estar incluidas en el sistema final a menos que su costo sea realmente alto.
- O (Optional Requirement) Requerimiento opcional. Las características podrían ser incluidas en el sistema final dependiendo de la voluntad del Project Manager.
- E (Possible Requirement Enhancement) Mejoramientos posibles. Características descritas en este documento con la finalidad de que no se pierdan tales ideas. La decisión de cuándo incluirlas en el sistema dependerá del avance de los requerimientos obligatorios.

Documento de Requerimientos de Usuario (URD)

3.1 *Requerimientos de Capacidades*

UR ID	Descripción	Prioridad
UR1	El sistema deberá generar una máscara de ceros y unos a partir de dos imágenes Landsat de mismo Path y Row marcando los cambios de forestación entre ellas.	M
UR2	El sistema deberá correr sobre el sistema operativo Windows.	M
UR3	El sistema deberá ser una aplicación de consola, la cual deberá obtener los paths de las 2 imágenes a procesar y el directorio donde debe generarse la imagen de salida desde un archivo de configuración.	M
UR4	El sistema deberá ser construido como un conjunto de unidades de procesamiento específico.	D
UR5	La generación del producto final de deforestación debería ser consecuencia de una ejecución secuencial de los procesadores definidos.	D
UR6	El sistema deberá realizar el ajuste geométrico entre las dos imágenes de entrada.	M
UR7	El ajuste geométrico deberá tener un error de a lo sumo 1 píxel.	D
UR8	El sistema deberá realizar la homogeneización radiométrica de las imágenes.	M
UR9	El sistema deberá realizar el NDVI de ambas imágenes previamente corregidas geométrica y radiométricamente.	M
UR10	A partir de las imágenes NDVI el sistema deberá aplicar el algoritmo "Cocientes Multi-temporales Normalizados" para realizar la detección de forestación/deforestación	M

3.2 *Requerimientos de Restricción*

UR ID	Descripción	Prioridad
UR11	El desarrollo completo del sistema deberá seguir las normas ESA PSS-05 para pequeños proyectos.	M

APÉNDICE B

Documento de Especificación del Software

Documento de Especificación de Software (SSD)

Generación de producto de deforestación

28/09/2009

Autor: Mirko Panozzo Zénere

Revisión: 1.0

I. Historial de Revisiones

Número de Revisión	Fecha de Revisión	Autor	Resumen de Cambios

II. Documentos Relacionados

ID del documento	Nombre del documento	Fecha	Autor
AD.1	Documento de Requerimientos de Usuario – Generación de producto de deforestación	26-09-09	Mirko Panozzo Zénere

III. Tabla de contenidos

I.	HISTORIAL DE REVISIONES	2
II.	DOCUMENTOS RELACIONADOS	2
III.	TABLA DE CONTENIDOS.....	3
1	INTRODUCCIÓN	5
1.1	PROPÓSITO DE ESTE DOCUMENTO	5
1.2	ALCANCE DEL SOFTWARE	5
1.3	DEFINICIONES, ACRÓNIMOS Y ABREVIACIONES	5
1.4	REFERENCIAS.....	5
1.5	RESUMEN DEL DOCUMENTO.....	5
2	DESCRIPCIÓN DEL MODELO LÓGICO	6
3	REQUERIMIENTOS ESPECÍFICOS	7
3.1	REQUERIMIENTOS FUNCIONALES	7
3.1.1	Corregistro de las imágenes (SR.1).....	7
3.1.2	Homogeneización Radiométrica de las imágenes (SR.2)	7
3.1.3	Generación de índice de vegetación (SR.3).....	7
3.1.4	Detección de áreas deforestadas (SR.4).....	7
3.2	REQUERIMIENTOS DE INTERFACES (SR.5).....	8
3.3	REQUERIMIENTOS OPERACIONALES (SR.6)	8
3.3.1	Aplicación de consola y archivo de configuración.....	8
3.3.2	Recepción de imágenes Landsat	8
3.3.3	Conjunto de procesadores independientes.....	8
3.4	REQUERIMIENTOS DE PORTABILIDAD (SR.7)	8
4	DISEÑO ARQUITECTÓNICO	9
4.1	INTRODUCCIÓN.....	9
5	DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES.....	10
5.1	COMPONENTE #1: CALIBRACIÓN RADIOMÉTRICA	10
5.1.1	Tipo	10
5.1.2	Propósito.....	10
5.1.3	Función.....	10
5.1.4	Subordinados	10
5.1.5	Dependencias.....	10
5.1.6	Interfaces	10
5.1.7	Recursos.....	11
5.2	COMPONENTE #2: CO-REGISTRACIÓN	11
5.2.1	Tipo	11
5.2.2	Propósito.....	11
5.2.3	Función.....	11
5.2.4	Subordinados	11
5.2.5	Dependencias.....	11
5.2.6	Interfaces	11
5.2.7	Recursos.....	12

Documento de Especificación de Software (SSD)

5.3	COMPONENTE #3: NDVI.....	12
5.3.1	Tipo.....	12
5.3.2	Propósito.....	12
5.3.3	Función.....	12
5.3.4	Subordinados.....	12
5.3.5	Dependencias.....	12
5.3.6	Interfaces.....	12
5.3.7	Recursos.....	13
5.4	COMPONENTE #4: UNIDAD DE CONTROL.....	13
5.4.1	Tipo.....	13
5.4.2	Propósito.....	13
5.4.3	Función.....	13
5.4.4	Subordinados.....	13
5.4.5	Dependencias.....	13
5.4.6	Interfaces.....	14
5.4.7	Recursos.....	14
5.5	COMPONENTE #5: DETECCIÓN DE CAMBIOS.....	14
5.5.1	Tipo.....	14
5.5.2	Propósito.....	14
5.5.3	Función.....	14
5.5.4	Subordinados.....	14
5.5.5	Dependencias.....	15
5.5.6	Interfaces.....	15
5.5.7	Recursos.....	15
6	MATRIZ DE TRAZABILIDAD: REQUERIMIENTOS DE USUARIO VERSUS REQUERIMIENTOS DE SOFTWARE.....	15
7	MATRIZ DE TRAZABILIDAD: REQUERIMIENTOS DE SOFTWARE VERSUS COMPONENTES.....	16

1 Introducción

1.1 Propósito de este documento

Este documento describe los requerimientos de software y el diseño arquitectónico a ser usado para la detección de los cambios de forestación entre imágenes Landsat.

Especifica las operaciones a ser realizadas en términos funcionales e incluye una definición a nivel de clases y funciones. Este documento pretende proveer información sobre el diseño general para la siguiente fase de codificación y desarrollo, i.e. diseño detallado e implementación.

1.2 Alcance del software

El sistema de detección de deforestación permitirá detectar los cambios en una zona determinada por las dos imágenes Landsat 5 de mismo path y row que dicho sistema recibirá como entrada. A partir de estas imágenes, el sistema generará automáticamente una tercera imagen destacando los cambios forestales registrados entre ambas.

1.3 Definiciones, acrónimos y abreviaciones

Acrónimo	Descripción
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index (Índice diferencial de vegetación normalizado)
URD	User Requirements Document

1.4 Referencias

No aplica.

1.5 Resumen del documento

En el capítulo dos se describe el modelo lógico del sistema. Este modelo es creado a partir de la interpretación de los requerimientos de usuarios establecidos por el URD (AD.1).

En el capítulo tres se detallan los requerimientos de software para el sistema, se incluyen los requerimientos funcionales, operacionales, de interfaces y de portabilidad.

El capítulo cuatro describe la arquitectura diseñada para el sistema completo. En él se describe cada uno de los subsistemas y se muestra el gráfico que representa al sistema como un conjunto de estos subsistemas las unidades que los componen.

El capítulo cinco brinda una descripción detallada de cada uno de los componentes del sistema, describiendo cual es la función de cada unidad y cuáles son sus interfaces con el resto de los componentes.

Los capítulos seis y siete contienen las matrices de trazabilidad de Requerimientos de Usuario versus Requerimientos de software y de Requerimientos de Software versus Componentes de Software, respectivamente.

2 Descripción del Modelo Lógico

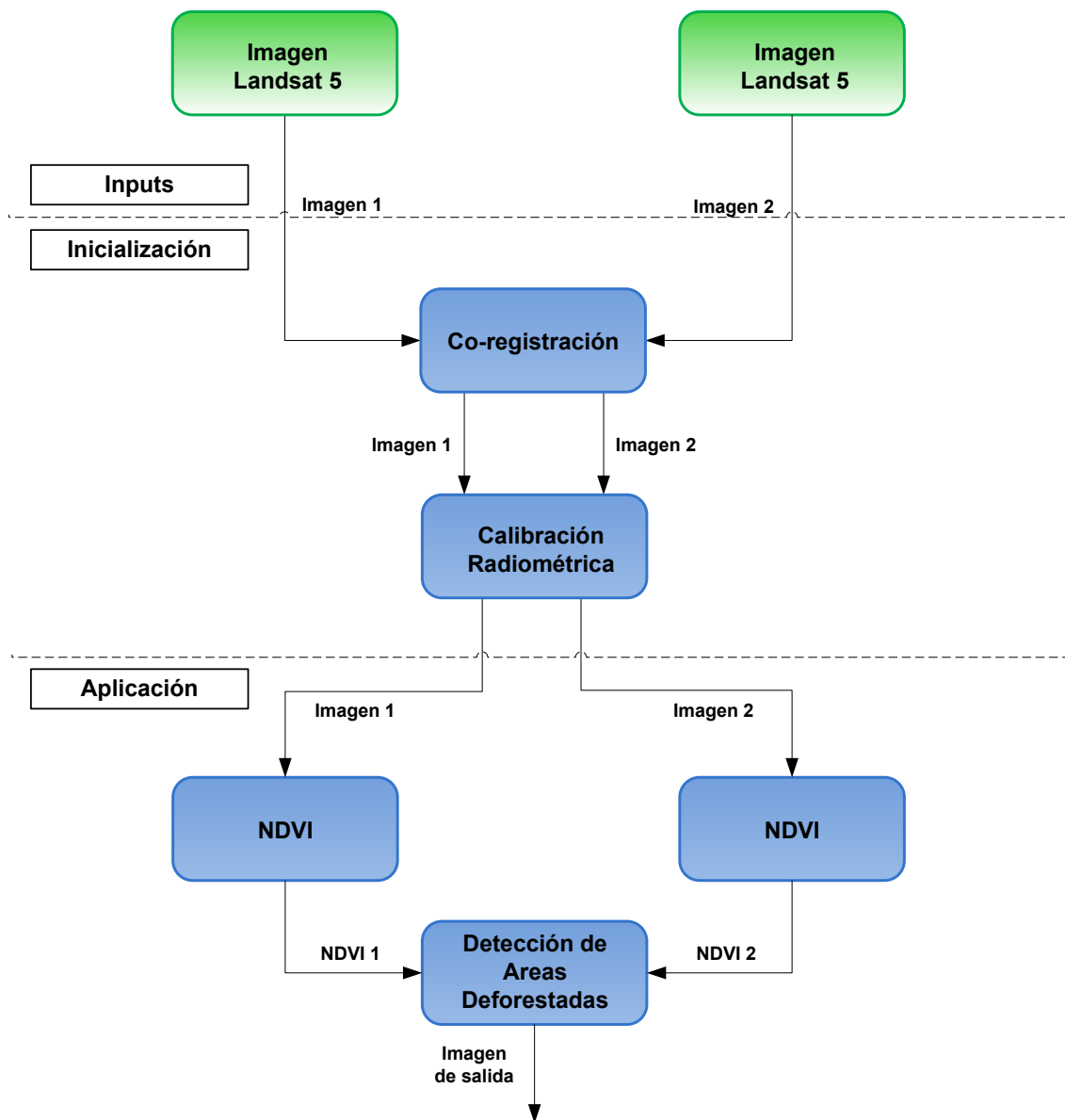


Figura 1 – Modelo lógico

En la figura 1 observamos el modelo lógico del sistema de detección de deforestaciones. El modelo indica que recibiremos dos imágenes Landsat 5, éstas pertenecerán al mismo Path y al mismo Row y deberán ser de distintos años.

A las imágenes de entrada se les aplicará una homogeneización radiométrica para evitar la detección de cambios que no se correspondan con cambios en la cubierta sino por problemas del sensor.

El corrección de las imágenes permitirá comparar los píxeles que se corresponden y así poder determinar los cambios entre las mismas.

Documento de Especificación de Software (SSD)

La aplicación del NDVI permitirá obtener imágenes de una sola banda mostrando la variación de la vegetación en cada una de ellas.

Por último la detección de áreas deforestadas realiza una comparación entre los NDVI's de las imágenes píxel a píxel para obtener los cambios entre las imágenes.

Las imágenes deberían, idealmente, ser de la misma época del año para que los resultados sean obtenidos sean realmente debido a los cambios en la foresta y no estemos detectando variaciones debidas al comportamiento de la vegetación durante las diferentes estaciones del año (cambios dados por ejemplo por los regímenes de lluvia).

3 Requerimientos específicos

3.1 Requerimientos funcionales

3.1.1 Corregistro de las imágenes (SR.1)

SR ID	Descripción del Requerimiento
SR.1.1	El sistema deberá realizar la detección automática de píxeles equivalentes entre ambas imágenes. [UR6]
SR.1.2	El sistema deberá aplicar un algoritmo de corregistro de imágenes a partir de los píxeles equivalentes obtenidos. [UR6]
SR.1.3	El error de la correstración deberá ser a lo sumo de un píxel. [UR7]

3.1.2 Homogeneización Radiométrica de las imágenes (SR.2)

SR ID	Descripción del Requerimiento
SR.2.1	El sistema deberá realizar la homogeneización radiométrica de las imágenes. [UR7]

3.1.3 Generación de índice de vegetación (SR.3)

SR ID	Descripción del Requerimiento
SR.3.1	El sistema deberá obtener el NDVI de cada imagen. [UR8]
SR.3.2	El sistema deberá guardar la banda generada a partir del NDVI aplicado a cada imagen para su posterior procesamiento. [UR8]

3.1.4 Detección de áreas deforestadas (SR.4)

SR ID	Descripción del Requerimiento
SR.4.1	El sistema deberá aplicar el algoritmo de detección de cambios "cocientes multi-temporales normalizados" sobre los archivos generados por la aplicación de los NDVI. [UR9]
SR.4.2	El sistema deberá generar una máscara de unos y ceros marcando en qué píxeles hubo deforestación y en cuáles no, respectivamente. [UR9]

Documento de Especificación de Software (SSD)

3.2 *Requerimientos de interfaces (SR.5)*

SR ID	Descripción del Requerimiento
SR.5.1	El sistema deberá utilizar el directorio temporal de ejecución para guardar las salidas de cada procesador.
SR.5.2	El sistema deberá utilizar el directorio temporal de ejecución para obtener los inputs de cada procesador intermedio.

3.3 *Requerimientos operacionales (SR.6)*

3.3.1 *Aplicación de consola y archivo de configuración*

SR ID	Descripción del Requerimiento
SR.6.1	El sistema deberá correr como una aplicación de consola. [UR2]
SR.6.2	El sistema obtendrá sus parámetros a partir de un archivo de configuración en formato XML con los paths absolutos de los directorios de las imágenes a procesar y el path y nombre del archivo del archivo a generar.

Estructura del archivo de configuración de entrada (config.xml):

```
<config>
  <image1>valor</image1>
  <image2> valor </image2>
  <output> valor </output>
</config >
```

3.3.2 *Recepción de imágenes Landsat 5*

SR ID	Descripción del Requerimiento
SR.6.3	El sistema recibirá como entrada dos imágenes Landsat 5 del mismo Path y Row. [UR1]
SR.6.4	El sistema deberá chequear que ambas imágenes pertenezcan a los mismos Path y Row, en caso de no ser así deberá cerrarse notificando el error. [UR1]

3.3.3 *Conjunto de procesadores independientes*

SR ID	Descripción del Requerimiento
SR.6.5	El sistema deberá ser definido como un conjunto de procesadores independientes, los cuales tendrán una finalidad única y específica definida por el modelo lógico. [UR4]
SR.6.6	La generación del producto final deberá obtenerse a partir de una ejecución secuencial de los procesadores, obteniendo cada uno de ellos como entrada el producto de salida generado por el procesador previo. [UR5]

3.4 *Requerimientos de portabilidad (SR.7)*

SR ID	Descripción del Requerimiento
SR.7.1	El sistema deberá correr sobre el sistema operativo Windows. [UR2]

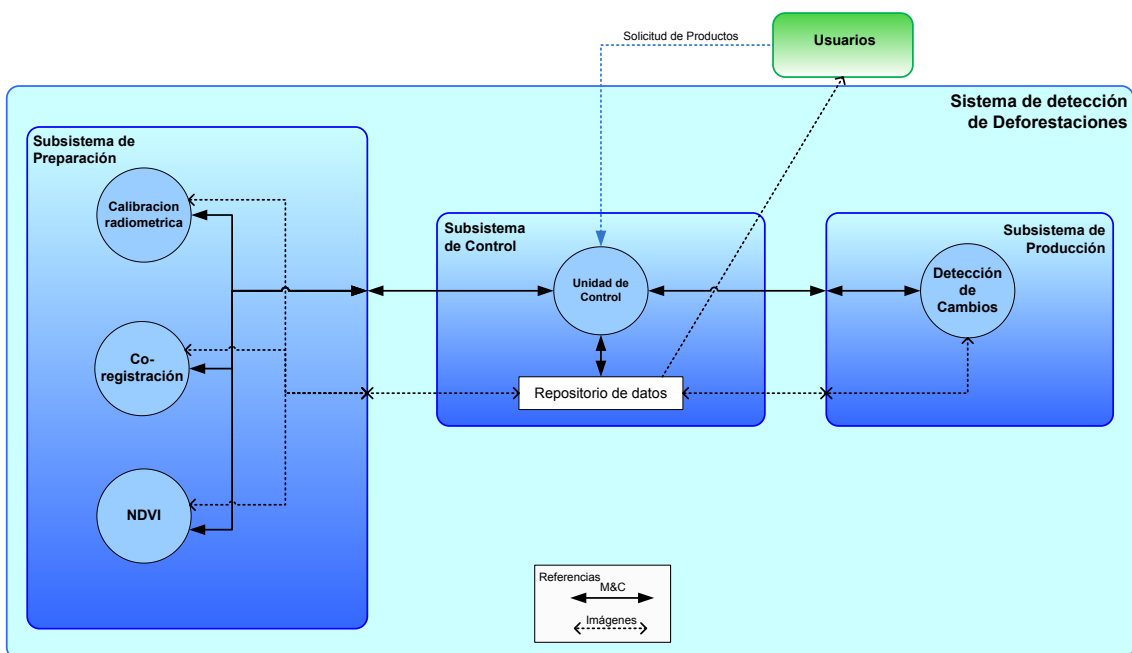
4 Diseño arquitectónico

4.1 Introducción

El diseño del sistema está pensado teniendo en cuenta la posibilidad de cambios de algoritmos para la generación del mismo producto, como así también para brindar la posibilidad de reutilización de los componentes en futuros sistemas que pudieran requerir procesamientos similares

El sistema se encuentra dividido en tres subsistemas con funciones bien definidas:

- El Subsistema de Control (Controler Subsystem) es el “cerebro” del sistema. Contiene a la unidad de Control, la cual es la encargada de determinar la secuencia de ejecución de los distintos componentes de los demás subsistemas. Al mismo tiempo contiene al repositorio de datos donde serán guardados los archivos temporales generados durante el procesamiento y el producto final.
- El Subsistema de Pre-Procesamiento (Data Preparation Subsystem), tal como lo indica su nombre, agrupa los componentes encargados de preparar las imágenes para poder ser comparadas. En él se realizan las correcciones radiométricas y geométricas necesarias para poder realizar una detección de cambios lo más exacta posible. Además de las correcciones ya mencionadas, en este subsistema también se realiza el NDVI de las imágenes, lo que permitirá aplicar la detección de cambios sobre una sola banda.
- El Subsistema de Producción (Production Subsystem) es el encargado de la generación del producto final a partir de los NDVI generados por el Subsistema de Preparación.



5 Descripción de componentes

5.1 Componente #1: Calibración Radiométrica

5.1.1 Tipo

Programa independiente. Utilizado por la *Unidad de Control* durante la generación del producto de detección de deforestaciones.

5.1.2 Propósito

El propósito de este componente es satisfacer el requerimiento SR.4 (Homogeneización Radiométrica).

5.1.3 Función

Este programa es requerido para realizar la homogeneización radiométrica entre dos imágenes Landsat 5. El objetivo de esto es obtener el mismo valor de ND ante igual valor de reflectividad de un objeto para evitar detectar cambios que no fueran tales, y solo se deban a la incorrecta calibración del sensor.

El método de corrección se basa en situar píxeles de radiancia constante entre fechas, esto es, áreas de baja reflectividad (sombras, aguas claras y profundas) y de alta reflectividad (suelos descubiertos, rutas, pistas de aterrizajes). A partir de estos píxeles se estiman coeficientes de sesgo y de ganancia, para cada banda, que permitirán corresponder los ND entre fechas distintas.

Precondición: Las 2 imágenes recibidas corresponderán al mismo Path y Row, y de épocas del año similares.

Pos condición: Las 2 imágenes estarán radiométricamente homogeneizadas.

5.1.4 Subordinados

Ninguno.

5.1.5 Dependencias

No aplica.

5.1.6 Interfaces

El programa recibirá como input un archivo XML de configuración con los paths absolutos del directorio de cada una de las dos imágenes. El primero será tomado como imagen de referencia y el segundo como imagen a corregir.

Como interfaz de salida, el programa generará la imagen con la corrección radiométrica aplicada. Ésta sobrescribirá la imagen de entrada en el directorio correspondiente.

La estructura del archivo de configuración es la siguiente:

<radiometricCalibration>

<image1>"/path/absoluto/imagenUno"</image1>

<image2>"/path/absoluto/imagenDos"</image2>
</radiometricCalibration>

5.1.7 Recursos

Ninguno

5.2 Componente #2: Co-registración

5.2.1 Tipo

Programa independiente. Utilizado por la *Unidad de Control* durante la generación del producto de detección de deforestaciones.

5.2.2 Propósito

El propósito de este componente es satisfacer el requerimiento SR.3 (Co-registro de imágenes).

5.2.3 Función

Este programa es requerido para realizar la co-registración entre las dos imágenes Landsat 5. El objetivo es que cada píxel de una imagen se corresponda exactamente con el equivalente en la otra.

Es preciso que el ajuste geométrico entre las imágenes se realice de manera precisa, ya que de otro modo se podrían detectar cambios que serían fruto de una falta de correspondencia entre los píxeles de las imágenes.

Para realizar el ajuste, se toma una imagen como base y se obtienen puntos de referencia. Para esto se utilizan píxeles de alta reflectividad como los dados por las rutas y sus cruces. Una vez seleccionado el grupo de píxeles de ajuste, se buscan los mismos en la imagen a ajustar. Luego de obtener los píxeles en la segunda imagen se aplica el algoritmo de re-muestreo de **Vecino más cercano**.

Precondición: Las 2 imágenes Landsat 5 recibidas pertenecerán al mismo Path y Row. Éstas estarán calibradas radiométricamente y pertenecerán a la misma época del año.

Pos-condición: Las imágenes estarán co-registradas con un error de 1 píxel.

5.2.4 Subordinados

Ninguno.

5.2.5 Dependencias

No aplica.

5.2.6 Interfaces

El programa recibirá como input un archivo XML de configuración con los paths absolutos del directorio de cada una de las dos imágenes. El primero será tomado como imagen de referencia y el segundo como imagen a corregir.

Documento de Especificación de Software (SSD)

Como interfaz de salida, el programa generará la imagen con ajuste geométrico aplicado. Ésta sobrescribirá la imagen de entrada en el directorio correspondiente.

La estructura del archivo de configuración es la siguiente:

```
<co-registration>
  <image1>"/path/absoluto/imagenUno"</image1>
  <image2>"/path/absoluto/imagenDos"</image2>
</ co-registration >
```

5.2.7 Recursos

Ninguno

5.3 Componente #3: NDVI

5.3.1 Tipo

Programa independiente. Utilizado por la *Unidad de Control* durante la generación del producto de detección de deforestaciones.

5.3.2 Propósito

El propósito de este componente es satisfacer el requerimiento SR.5 (Generación de índices de vegetación).

5.3.3 Función

Este programa es requerido para realizar la generación de los índices de vegetación de las imágenes Landsat 5. El objetivo es obtener una nueva banda por cada imagen conteniendo el NDVI.

Precondición: La imagen Landsat 5 deberá contener entre sus bandas disponibles las bandas 3 y 4 (Rojo e Infrarrojo cercano, respectivamente).

Pos-condición: Se generará una imagen en una sola banda conteniendo el NDVI correspondiente.

5.3.4 Subordinados

Ninguno.

5.3.5 Dependencias

No aplica.

5.3.6 Interfaces

El programa recibirá como input un archivo XML de configuración con el path absoluto del directorio de la imagen a la cual se le debe aplicar el NDVI. Además recibirá el nombre que se le debe dar a la nueva imagen generada.

Como interfaz de salida, el programa generará la imagen con el NDVI. Ésta será guardada en el directorio indicado por el archivo de configuración.

Documento de Especificación de Software (SSD)

La estructura del archivo de configuración es la siguiente:

```
<ndvi>
  <image>"/path/absoluto/imagenLandsat"</image>
  <output>"/path/absoluto/ndviSalida"</output>
</ndvi>
```

5.3.7 Recursos

Ninguno

5.4 Componente #4: Unidad de Control

5.4.1 Tipo

Programa Controlador del sistema. Ejecutado por el cliente para la generación del producto de detección de forestaciones.

5.4.2 Propósito

El propósito de este componente es satisfacer el requerimiento SR.1 (Obtención y chequeo de las imágenes de entrada), SR.2 (Ejecución secuencial de procesadores), SR.5 (Guardar archivos intermedios en directorio temporal) y SR.6 (recibir archivo de configuración XML).

5.4.3 Función

Esta unidad se encarga obtener las imágenes de entrada y ejecutar los distintos procesadores de los sistemas de Pre-procesamiento y Producción para la correcta generación del producto final.

Se encarga de dar los inputs necesarios a cada procesador e indicarle dónde debe guardar las salidas de los mismos.

Precondición: Se recibirán dos imágenes Landsat 5.

Pos-condición: Si las imágenes se corresponden al mismo path y row, se ejecutará la secuencia de procesadores para la generación del producto final. Caso contrario se informará al usuario que es imposible obtener el producto.

5.4.4 Subordinados

Los subordinados de esta unidad son todos los demás procesadores que integran el sistema:

- Calibración radiométrica
- Co-registración
- NDVI
- Detección de cambios

5.4.5 Dependencias

No aplica.

Documento de Especificación de Software (SSD)

5.4.6 Interfaces

El programa recibirá como input un archivo XML de configuración con los paths absolutos de los directorios donde se encuentra cada una de las imágenes. Este archivo también incluirá el path del directorio donde debe guardarse el archivo de salida.

La interfaz con los procesadores será la definida por cada uno de ellos.

La estructura del archivo de configuración es la siguiente:

```
<config>
  <image1>valor</image1>
  <image2> valor </image2>
  <output> valor </output>
</config >
```

5.4.7 Recursos

Ninguno

5.5 Componente #5: Detección de Cambios

5.5.1 Tipo

Programa independiente. Utilizado por la *Unidad de Control* durante la generación del producto de detección de deforestaciones.

5.5.2 Propósito

El propósito de este componente es satisfacer el requerimiento SR.5 (Detección de áreas deforestadas).

5.5.3 Función

Este programa es requerido para realizar la detección de cambios entre los dos NDVI recibidos. El objetivo obtener una máscara de ceros y unos que resalte los cambios entre una imagen y otra.

Se aplicará el algoritmo de **cocientes multitemporales normalizados** que permitirá, no solo destacar las zonas donde la forestación ha cambiado entre una fecha y otra, sino también determinar la significación de tal cambio.

Para que éste algoritmo tenga un resultado válido, es de fundamental importancia el hecho de que las imágenes se correspondan a una misma época del año.

Precondición: Las imágenes NDVI deberán pertenecer al mismo Path y Row. Deberán corresponder a la misma época del año.

Pos-condición: La imagen de salida destacará los píxeles donde se decremento la vegetación.

5.5.4 Subordinados

Ninguno.

Documento de Especificación de Software (SSD)

5.5.5 Dependencias

No aplica.

5.5.6 Interfaces

El programa obtendrá a partir del archivo XML de configuración **changeDetection.xml** ubicado en el mismo directorio con los paths absolutos (incluyendo nombre de archivo) de cada uno de los dos NDVI. Este archivo también incluirá el directorio donde debe guardarse la imagen generada.

Como interfaz de salida, el programa generará la imagen con la detección de cambios realizada. Ésta se guardará en el directorio especificado por el archivo de configuración.

La estructura del archivo de configuración es la siguiente:

```
<changeDetection>
  <image1>"/path/absoluto/imagenUno"</image1>
  <image2>"/path/absoluto/imagenDos"</image2>
  <output>"/path/absoluto/imagenGenerada/"</output>
</changeDetection>
```

5.5.7 Recursos

Ninguno

6 Matriz de trazabilidad: Requerimientos de Usuario versus Requerimientos de Software

La Tabla 6.1 muestra una referencia cruzada entre los requerimientos de usuario y los requerimientos de software.

ID Requerimiento de Usuario	ID Requerimiento de Software
UR1	SR.6.3 – SR.6.4 SR.6.5 – SR.6.6
UR2	SR.7.1
UR3	SR.6.1 – SR.6.2
UR4	SR.6.5 SR.5.1 – SR.5.2
UR5	SR.2.2
UR6	SR.1.1 – SR.1.2
UR7	SR.1.3
UR8	SR.2.1
UR9	SR.3.1 – SR.3.2
UR10	SR.4.1 – SR.4.2

Tabla 6.1 Requerimientos de Usuario vs Requerimientos de Software

7 Matriz de trazabilidad: Requerimientos de Software versus componentes

La Tabla 7.1 muestra una referencia cruzada entre los requerimientos funcionales y los componentes propuestos para satisfacerlos.

ID Requerimiento de Software	ID Componente
SR.1.1	Co-registración
SR.1.2	Co-registración
SR.1.3	Co-registración
SR.2.1	Calibración Radiométrica
SR.3.1	NDVI
SR.3.2	NDVI
SR.4.1	Detección de cambios
SR.4.2	Detección de cambios

Tabla 7.1 Requerimientos de Software vs Componentes

APÉNDICE C

Documento de Diseño Detallado

Documento de Diseño Detallado (DDD)

Generación de producto de deforestación
Unidad de detección de cambios

27/10/2009

Autor: Mirko Panozzo Zénere

Revisión: 1.0

I. Historial de Revisiones

Número de Revisión	Fecha de Revisión	Autor	Resumen de Cambios

II. Documentos Relacionados

Nombre del documento	Fecha	Autor
Documento de Especificación de Software – Generación de producto de deforestación.	28-09-09	Mirko Panozzo Zénere
ESA PSS-05-05 Issue 1 Revision 1 - Guide to the software detailed design and production phase	March, 1995	ESA Board for Software Standardisation and Control

Tabla de contenidos

I.	HISTORIAL DE REVISIONES	2
II.	DOCUMENTOS RELACIONADOS	2
1	INTRODUCCIÓN	5
1.1	<i>PROPÓSITO DE ESTE DOCUMENTO</i>	<i>5</i>
1.2	<i>ALCANCE DEL SOFTWARE</i>	<i>5</i>
1.3	<i>DEFINICIONES, ACRÓNIMOS Y ABREVIACIONES</i>	<i>5</i>
1.4	<i>REFERENCIAS.....</i>	<i>5</i>
1.5	<i>RESUMEN DEL DOCUMENTO.....</i>	<i>5</i>
2	ESTÁNDARES DEL PROYECTO, CONVENCIONES Y PROCEDIMIENTOS.....	6
2.1	<i>ESTÁNDARES DE DISEÑO</i>	<i>6</i>
2.2	<i>ESTÁNDARES DE DOCUMENTACIÓN</i>	<i>6</i>
2.3	<i>ESTÁNDARES DE PROGRAMACIÓN</i>	<i>6</i>
2.4	<i>HERRAMIENTAS DE DESARROLLO DE SOFTWARE</i>	<i>6</i>
3	DIAGRAMAS DEL DISEÑO	6
3.1	<i>DIAGRAMA DE CLASES</i>	<i>6</i>
3.2	<i>DIAGRAMA DE SECUENCIA</i>	<i>7</i>
4	ESPECIFICACIONES DEL DISEÑO DE COMPONENTES	8
4.1	<i>COMPONENTE #1: MAIN</i>	<i>8</i>
4.1.1	<i>Tipo.....</i>	<i>8</i>
4.1.2	<i>Función.....</i>	<i>8</i>
4.1.3	<i>Subordinados</i>	<i>8</i>
4.1.4	<i>Dependencias.....</i>	<i>8</i>
4.1.5	<i>Interfaces</i>	<i>8</i>
4.1.6	<i>Recursos.....</i>	<i>8</i>
4.2	<i>COMPONENTE #2: PARSERXML.....</i>	<i>8</i>
4.2.1	<i>Tipo.....</i>	<i>8</i>
4.2.2	<i>Función.....</i>	<i>8</i>
4.2.3	<i>Subordinados</i>	<i>8</i>
4.2.4	<i>Dependencias.....</i>	<i>9</i>
4.2.5	<i>Interfaces</i>	<i>9</i>
4.2.6	<i>Recursos.....</i>	<i>9</i>
4.3	<i>COMPONENTE #3: READER</i>	<i>9</i>
4.3.1	<i>Tipo.....</i>	<i>9</i>
4.3.2	<i>Función.....</i>	<i>9</i>
4.3.3	<i>Subordinados</i>	<i>9</i>
4.3.4	<i>Dependencias.....</i>	<i>9</i>
4.3.5	<i>Interfaces</i>	<i>9</i>
4.3.6	<i>Recursos.....</i>	<i>10</i>
4.4	<i>COMPONENTE #4: DETECTOR</i>	<i>10</i>
4.4.1	<i>Tipo.....</i>	<i>10</i>

Documento de Diseño Detallado (DDD)

4.4.2	<i>Función</i>	10
4.4.3	<i>Subordinados</i>	10
4.4.4	<i>Dependencias</i>	10
4.4.5	<i>Interfaces</i>	10
4.4.6	<i>Recursos</i>	10
4.5	<i>COMPONENTE #5: WRITER</i>	10
4.5.1	<i>Tipo</i>	10
4.5.2	<i>Función</i>	10
4.5.3	<i>Subordinados</i>	11
4.5.4	<i>Dependencias</i>	11
4.5.5	<i>Interfaces</i>	11
4.5.6	<i>Recursos</i>	11

1 Introducción

1.1 Propósito de este documento

Este documento describe el diseño detallado de la unidad **deteccionDeCambios** perteneciente al sistema de Detección de Deforestaciones.

Describe los componentes que la integran, las interfaces entre ellos y las interfaces hacia el exterior de la unidad.

1.2 Alcance del software

Esta unidad permite realizar la detección de cambios entre los NDVI de dos imágenes Landsat 5 – TM previamente calibradas radiométricamente y ajustadas geométricamente. Los cambios se manifestarán en una nueva imagen que destacará los mismos.

1.3 Definiciones, acrónimos y abreviaciones

Acrónimo	Descripción
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index (Índice diferencial de vegetación normalizado)
UML	Unified Modeling Language

1.4 Referencias

No aplica.

1.5 Resumen del documento

En el capítulo dos se describen los estándares del proyecto (estándares de diseño, documentación, programación, etc.).

El capítulo tres detalla el diseño de la unidad, mostrando los diagramas de clases, de secuencia y de uso.

Por último, el capítulo cuatro especifica el diseño de cada uno de los componentes de la unidad.

2 Estándares del proyecto, Convenciones y Procedimientos

2.1 Estándares de diseño

Para los estándares de diseño se utiliza UML. Se describen el diagrama de clases, diagrama de uso y diagrama de secuencia.

2.2 Estándares de documentación

Para la documentación se siguen los estándares de la Agencia Espacial Europea para el diseño detallado definidos por en el documento **“Guide to the software detailed design and production phase”**.

2.3 Estándares de programación

Cómo estándar de programación se utilizará el paradigma de orientación a objetos.

2.4 Herramientas de desarrollo de software

Para el desarrollo del sistema se utilizará el lenguaje de programación IDL.

3 Diagramas del Diseño

3.1 Diagrama de clases

La figura 1 presenta el diagrama de clases definido para la unidad **detecciónDeCambios**, describe cada una de las clases con sus atributos y métodos, y la relación entre ellas.

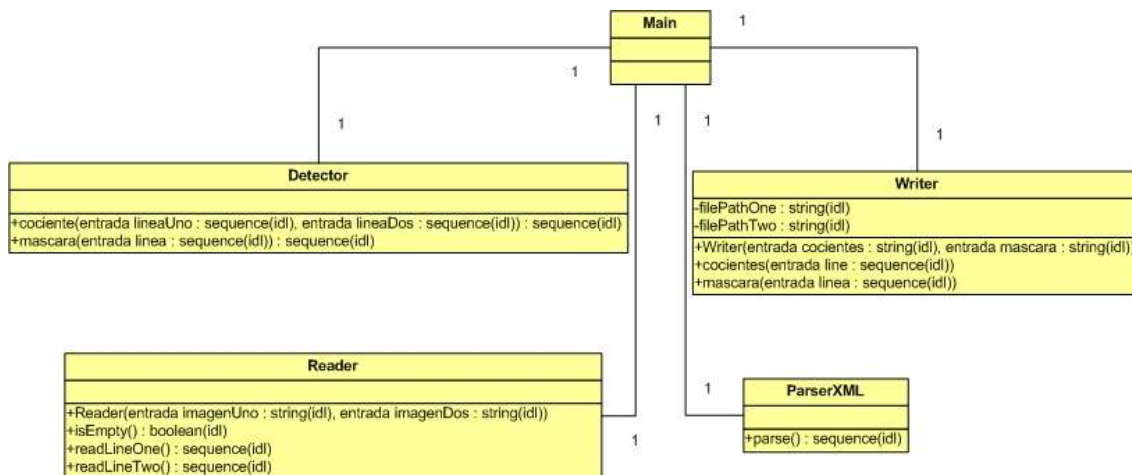


Figura 1 Diagrama de clases de la unidad

3.2 Diagrama de secuencia

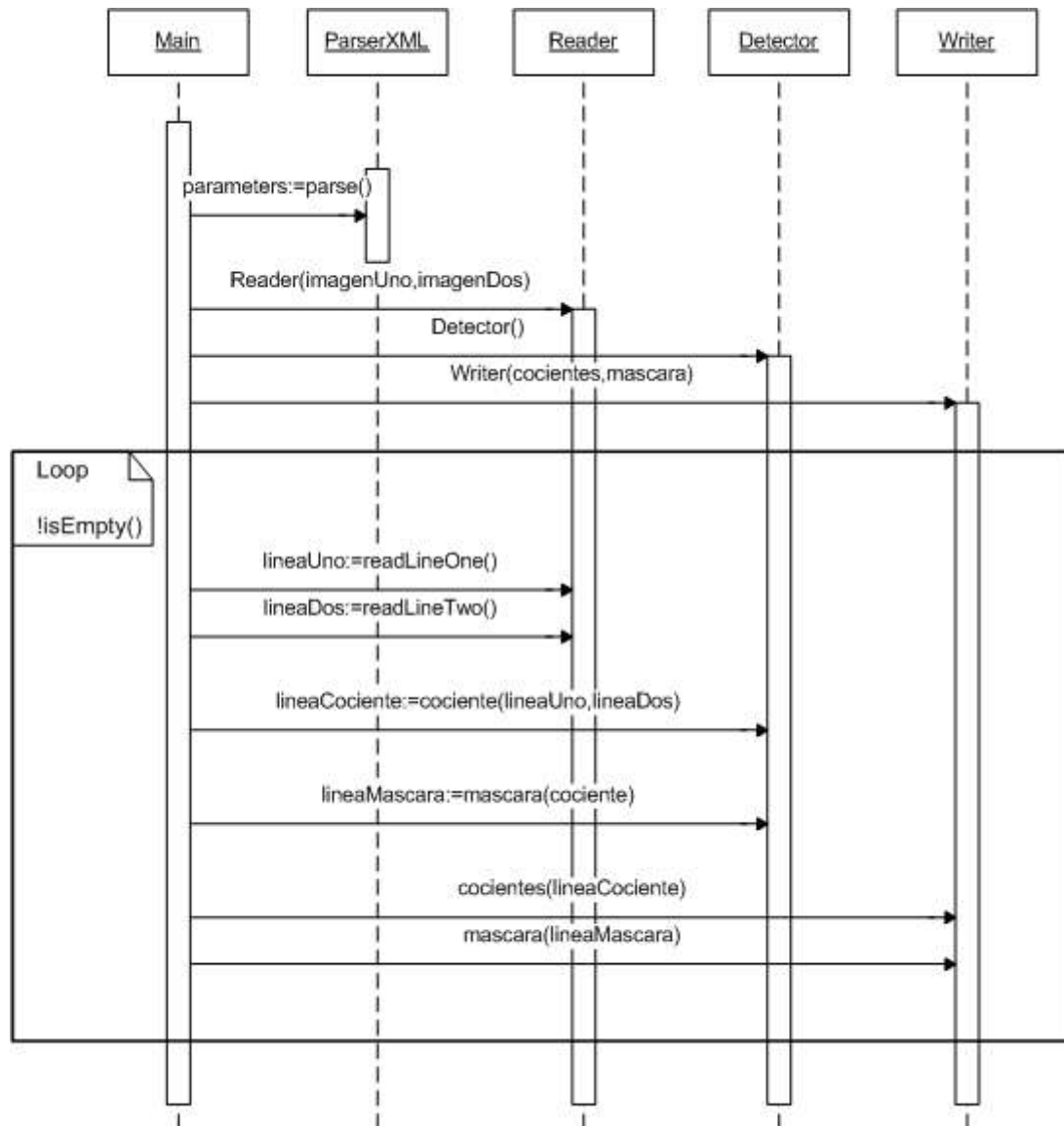


Figura 2 Diagrama de secuencia

4 Especificaciones del Diseño de Componentes

4.1 Componente #1: Main

4.1.1 Tipo

Clase principal.

4.1.2 Función

Se encarga de ejecutar los demás componentes de la unidad pasando los argumentos correspondientes.

4.1.3 Subordinados

Los subordinados de este componente son los demás integrantes de la unidad, a saber:

- ParserXML
- Reader
- Detector
- Writer

4.1.4 Dependencias

Este componente depende de la ejecución correcta de los componentes ParserXML, Reader, Detector y Writer.

4.1.5 Interfaces

componente Main
exporta main()

comentarios:

El método main() es el punto de entrada a la unidad, lee el archivo de configuración de la unidad y se encarga de manejar los otros componentes.

4.1.6 Recursos

No aplica.

4.2 Componente #2: ParserXML

4.2.1 Tipo

Clase.

4.2.2 Función

Obtiene los parámetros de configuración desde el archivo **deteccionDeCambios.xml** especificado en el SSD del sistema.

4.2.3 Subordinados

Ninguno.

Documento de Diseño Detallado (DDD)

4.2.4 Dependencias

No aplica.

4.2.5 Interfaces

componente ParserXML
exporta parse(configFile in: string):sequence

comentarios:

El método parse() recibe como parámetro el string que contiene el path del archivo de configuración XML y devuelve los valores de los parámetros en una secuencia (arreglo) de strings.

4.2.6 Recursos

No aplica.

4.3 Componente #3: Reader

4.3.1 Tipo

Clase.

4.3.2 Función

Lee los archivos correspondientes a las dos imágenes Landsat a procesar.

4.3.3 Subordinados

Ninguno.

4.3.4 Dependencias

No aplica.

4.3.5 Interfaces

componente Reader
exporta Reader(filePathOne in: string, filePathTwo in: string)
 readLineOne():sequence
 readLineTwo():sequence
 isEmpty():boolean

comentarios:

El constructor Reader recibe los paths absolutos a los directorios de las imágenes a procesar.

Los métodos readLineOne() y readLineTwo obtienen la siguiente línea de cada imagen.

El método isEmpty() se encarga de avisar si alguno de los dos archivos no contiene más líneas.

Documento de Diseño Detallado (DDD)

4.3.6 Recursos

No aplica.

4.4 Componente #4: Detector

4.4.1 Tipo

Clase.

4.4.2 Función

Itera píxel por píxel de ambas imágenes comparando cada uno de ellos a fin de detectar cambios en el nivel de vegetación. Aplica el algoritmo de **cocientes multi-temporales normalizados**.

4.4.3 Subordinados

Ninguno.

4.4.4 Dependencias

No aplica.

4.4.5 Interfaces

componente Detector

exporta

cociente(lineaUno **in**: sequence, lineaDos **in**: sequence):sequence

mascara(lineaCociente **in**: sequence) : sequence

comentarios:

El método cociente() recibe dos líneas a comparar, una de la imagen uno y la otra de la imagen dos. Devuelve una línea del mismo tamaño con los valores correspondiente a haber aplicado el algoritmo de Cocientes Multi-Temporales Normalizados a cada píxel.

El método mascara() recibe una línea y devuelve 0 ó 1 según el grado de cambio detectado por el algoritmo de cocientes multi-temporales.

4.4.6 Recursos

No aplica.

4.5 Componente #5: Writer

4.5.1 Tipo

Clase.

4.5.2 Función

Escribe el archivo de salida. Este archivo es un raster solamente con valores 1's y 0's indicando donde hubo cambios y donde no los hubo, respectivamente. Este archivo sirve para

APÉNDICE D

Manual de Usuario del Software

Manual de Usuario del Software (SUM)

Generación de producto de deforestación
Unidad de detección de cambios

11/10/2009

Autor: Mirko Panozzo Zénere

Revisión: 1.0

I. Historial de Revisiones

Número de Revisión	Fecha de Revisión	Autor	Resumen de Cambios

II. Documentos Relacionados

Nombre del documento	Fecha	Autor
Documento de Especificación de Software – Generación de producto de deforestación	28-09-09	Mirko Panozzo Zénere
Documento de Diseño Detallado – Generación de producto de deforestación – Unidad de detección de cambios	27-10-09	Mirko Panozzo Zénere

III. Tabla de contenidos

I.	HISTORIAL DE REVISIONES	2
II.	DOCUMENTOS RELACIONADOS	2
III.	TABLA DE CONTENIDOS.....	3
1	INTRODUCCIÓN	4
1.1	DESTINATARIOS	4
1.2	APLICABILIDAD.....	4
1.3	PROPÓSITO	4
1.4	CÓMO USAR ESTE DOCUMENTO	4
2	DESCRIPCIÓN GENERAL	5
3	SECCIÓN DE REFERENCIA.....	6
3.1	DESCRIPCIÓN FUNCIONAL	6
3.2	PRECAUCIONES Y ADVERTENCIAS	6
3.3	EJEMPLOS.....	7
3.4	POSIBLES MENSAJES DE ERROR Y SUS CAUSAS	8

1 Introducción

1.1 Destinatarios

Este sistema está apuntado a la generación de máscaras de cambios entre NDVI's de imágenes Landsat de manera automática, y por lo tanto no se requiere de usuarios entrenamiento para su uso. El usuario de esta aplicación solo deberá tener conocimientos mínimos de XML para generar el archivo de configuración necesario para correr satisfactoriamente el programa.

1.2 Aplicabilidad

Este manual de usuario se aplica a la unidad **deteccionDeCambios**, en su versión 1.0, para la detección de cambios entre NDVI's de imágenes Landsat 5 – TM.

1.3 Propósito

El propósito de este manual es explicar la utilización de la unidad para poder obtener los resultados esperados por el usuario.

El propósito del software es generar una máscara de ceros y unos a partir de dos NDVI's de Imágenes Landsat 5 – TM previamente co-registradas y calibradas radiométricamente. Ésta máscara determinará los píxeles que han disminuido en su NDVI (valor de vegetación) con un umbral definido para detectar estos cambios solamente en áreas de bosques y montes. Los píxeles donde se detecte cambios significativos en la foresta serán marcados con un 1, mientras que en los que no haya habido cambio (o sea poco significativo) serán marcados con un 0.

1.4 Cómo usar este documento

En el capítulo 2 se brinda una descripción general de la unidad, proporcionando información respecto de su uso en general.

En el capítulo 3 se realizan precauciones y advertencias sobre el uso del software para evitar posibles errores, se brindan ejemplos de uso y se muestran las salidas a estas ejecuciones. Así también se muestran mensajes de errores y se sugieren las posibles causas de éstos.

2 Descripción General

La aplicación **deteccionDeCambios** fue diseñada con el fin de generar máscaras de deforestaciones entre dos imágenes Landsat 5 – TM. Esta unidad de software aplica el algoritmo de *Cocientes Multi-temporales Normalizados* para la generación del producto de salida, siendo éste una imagen en una sola banda conteniendo valores unos y ceros para indicar dónde hubo decrecimiento en la foresta y dónde no, respectivamente.

Las imágenes de entrada deben estar en formato *TIFF* o *geoTIFF*. El producto de salida es guardado en formato *TIFF* y puede ser aplicado fácilmente como una máscara a las imágenes de entrada utilizando programas de procesamiento de imágenes tales como ENVI.

El software es una aplicación de consola que se ejecuta por líneas de comandos ingresando como único parámetro el path a un archivo XML de configuración que determina los paths de las imágenes (NDVI) a comparar y el directorio donde debe guardarse la imagen de salida.

NOTA: Esta aplicación ha de ser utilizada exclusivamente para la obtención de una máscara de deforestación a partir de dos NDVI de imágenes Landsat 5 – TM de mismo path y row. Cualquier otro uso que se le diere (por ejemplo comparar otras dos imágenes que no fueren NDVI) dará resultados que no se correspondan con la finalidad del software.

3 Sección de Referencia

3.1 Descripción funcional

Como ya se ha mencionado en la descripción general, la aplicación obtendrá una máscara de deforestación a partir de dos imágenes Landsat 5 – TM del mismo path y row. Ésta máscara sirve para resaltar los píxeles en los que ha disminuido la foresta entre una y otra imagen, a partir de la comparación de sus NDVI. Los formatos de las imágenes de entrada deben ser *TIFF* o *geoTIFF*. El formato de la imagen de salida es *TIFF*.

La aplicación buscará en su mismo directorio el archivo de configuración, el cual debe tener el nombre ***changeDetection.xml***.

El archivo de configuración debe tener la siguiente estructura para obtener una correcta ejecución:

```
<changeDetection>
  <image1>/path/completo/imagen/NDVI1</image1>
  <image2>/path/completo/imagen/NDVI 2</image2>
  <output>/path/imagen/salida</output>
</changeDetection>
```

Los campos ***image1*** e ***image2*** hacen referencia a los path absolutos (incluyendo nombre del archivo) de las imágenes de entrada. El campo ***output*** indica el path absoluto del directorio donde se generará el archivo de salida ***mascara.tif***.

Nota: además del archivo ***mascara.tif*** se genera, en el mismo directorio, un archivo intermedio llamado ***cocientes.tif*** que contiene el resultado de haber aplicado el algoritmo de *Cocientes Multitemporales Normalizados* a ambos NDVI y a partir del cual se genera la máscara. Este archivo sirve para determinar la magnitud de los cambios en toda la escena abarcada por las imágenes de entrada.

3.2 Precauciones y advertencias

Para que la unidad obtenga resultados válidos y significativos las imágenes de las que se obtuvieron los dos NDVI deben haber sido homogeneizadas radiométricamente y ajustadas geométricamente. Esto permitirá comparar los píxeles equivalentes entre los dos NDVI y al mismo tiempo detectar cambios dados exclusivamente por la cubierta y no por una mala calibración de los sensores.

Para obtener una correcta ejecución de la unidad, el archivo de configuración debe estar ubicado en el mismo directorio del ejecutable y sus parámetros deben respetar estrictamente la estructura presentada en este manual.

3.3 Ejemplos

Ahora se detalla un ejemplo sencillo de cómo utilizar la aplicación. Supongamos que nos encontramos en el directorio del ejecutable y que el archivo de configuración *changeDetection.xml* se encuentra el mismo. Supongamos que este directorio es “prueba” dentro de la raíz del disco C de Windows. Así mismo supongamos que las imágenes se encuentran en un directorio llamado “NDVI” dentro de la raíz de un disco D y que queremos guardar las imágenes de salida en el directorio “salida” del mismo disco D. Supongamos ahora que los NDVI a comparar (del mismo path y row, calibradas radiométricamente y ajustadas geométricamente) se llaman *ndvi1989.tif* y *ndvi2009.tif*. Según estas suposiciones hechas, el archivo de configuración *changeDetection.xml* debe ser el siguiente:

```
<changeDetection>
  <image1>D:\NDVI\ndvi1989.tif </image1>
  <image2> D:\NDVI\ndvi2009.tif </image2>
  <output> D:\salida\</output>
</changeDetection>
```

Luego, en el prompt de la consola, la aplicación debe ser ejecutada de la siguiente forma:

```
C:\>prueba\deteccionDeCambios.sav
```

La ejecución volverá inmediatamente al prompt, y quedará corriendo en background la aplicación (se verá una ventana minimizada con el nombre Runtime App). Cuando la ejecución concluya se cerrará la ventana Runtime App y los dos archivos de salida se habrán generado en el directorio *D:\salida*.

A continuación se muestra el resultado obtenido a partir de aplicar el detector de cambios a dos imágenes de 300x300 píxeles correspondientes al Path 230 y al Row 76, correspondientes a la provincia de Salta. Ambas imágenes fueron obtenidas por el sensor TM a bordo del satélite Landsat 5. La primera de ellas fue obtenida el 20 de marzo de 1989, mientras que la segunda el 16 de marzo de 2005.

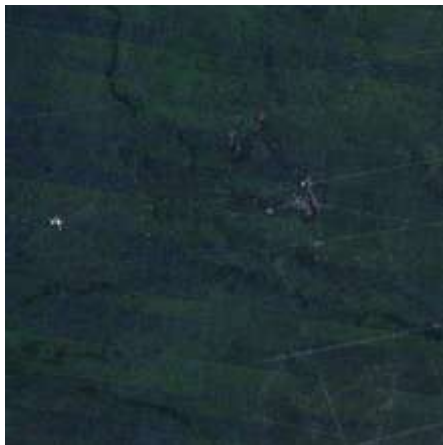


Figura 1 Recorte 20 de marzo de 1989



Figura 2 Recorte 16 de marzo de 2005

Los NDVI correspondientes a estas imágenes se presentan a continuación:

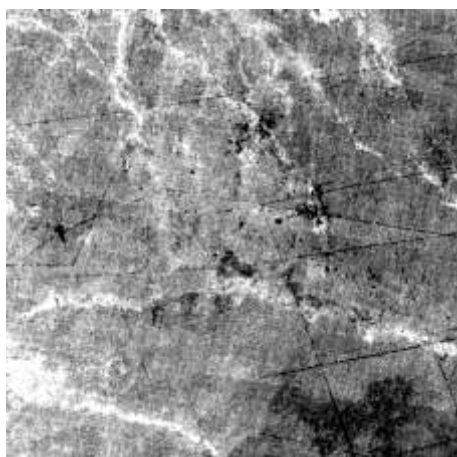


Figura 3 NDVI - Recorte 20 de marzo de 1989

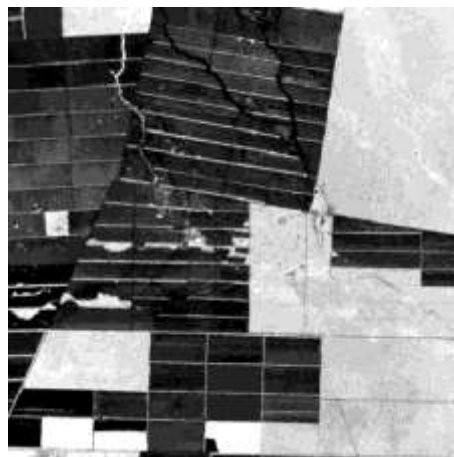


Figura 4 NDVI - Recorte 16 de marzo de 2005

Finalmente mostramos las dos imágenes de salida (cocientes.tif y mascara.tif) generadas por el programa a partir de estos NDVI.

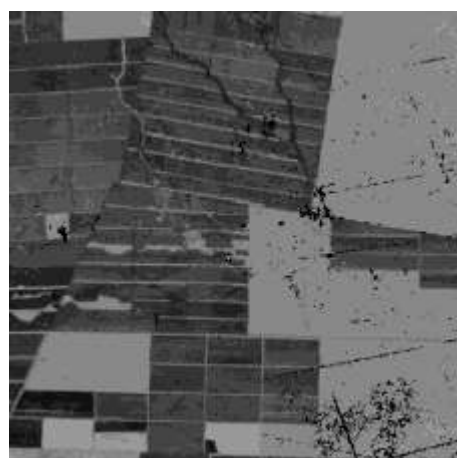


Figura 5 Cocientes Multitemporales Normalizados



Figura 6 Mascara Generada

3.4 Posibles mensajes de error y sus causas

Los diversos mensajes de errores pueden ser ocasionados por distintos factores. A continuación de enumeran los posibles mensajes de error, sus posibles causas y soluciones.

Mensaje de error	Posible causa	Solución
File c:\prueba\changeDetection.xml does not exist.	El archivo de configuración no existe.	Chequear que el nombre del archivo sea el correcto y que esté ubicado en el mismo directorio que el ejecutable.

Manual de Usuario del Software (SUM)

Parser SAX fatal error: File: c:\prueba\changeDetection.xml, line: 2, column: 32 :: Expected an element name	Archivo de configuración corrupto.	Chequear la correcta generación del archivo de configuración según las definiciones de este manual.
Error: input images have different sizes.	Las imágenes no poseen las mismas dimensiones.	Se deben comparar solamente imágenes con la misma cantidad de filas y columnas.
c:\prueba\ndvil989.tif: Cannot open	El archivo pasado como parámetro en el archivo de configuración no existe.	Chequear en el archivo de configuración que el path de la imagen a abrir sea el correcto.

APÉNDICE E

Plan de Verificación y Validación del Software

Plan de V&V del Software (SVVP)

Generación de producto de deforestación

10/10/2009

Autor: Mirko Panozzo Zénere

Revisión: 1.0

Plan de Verification & Validation del Software (SVVP)

Historial de Revisiones

Número de Revisión	Fecha de Revisión	Autor	Resumen de Cambios

I. Documentos Relacionados

Nombre del documento	Fecha	Autor
User Requirements Document – Deforestation Product Generation	26-09-09	Mirko Panozzo Zénere
Software Specification Document – Deforestation Product Generation	28-09-09	Mirko Panozzo Zénere
Detailed Design Document – Deforestation Product Generation – Change Detection Unit	27-10-09	Mirko Panozzo Zénere
ESA PSS-05-05 Issue 1 Revision 1 - Guide to software verification and validation	March, 1995	ESA Board for Software Standardisation and Control

Tabla de contenidos

I. DOCUMENTOS RELACIONADOS	2
TABLA DE CONTENIDOS	3
1 INTRODUCCIÓN	4
1.1 <i>PROPÓSITO DE ESTE DOCUMENTO</i>	4
1.2 <i>DEFINICIONES, ACRÓNIMOS Y ABREVIACIONES</i>	4
1.3 <i>REFERENCIAS</i>	4
1.4 <i>RESUMEN DEL DOCUMENTO</i>	4
2 REGISTRACIÓN DEL PLAN DE PRUEBAS	4
2.1 <i>CODIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTOS</i>	4
2.2 <i>REGISTRACIÓN DE PROCEDIMIENTOS</i>	5
2.3 <i>REGISTRACIÓN DE RESULTADOS</i>	5
2.4 <i>MÉTRICAS DE CALIDAD DEL PLAN DE TEST</i>	7
3 DEFINICIÓN DEL PLAN DE TEST	8
3.1 <i>INTRODUCCIÓN</i>	8
3.2 <i>LISTADO DE LOS PROCEDIMIENTOS DE PRUEBA</i>	8
4 MATRIZ DE VERIFICACIÓN Y CONFORMIDAD	9
4.1 <i>MATRIZ DE TRAZABILIDAD</i>	9
5 PROCEDIMIENTOS DE TEST	10
5.1 <i>PROCEDIMIENTO DPG-V-0001</i>	10
5.2 <i>PROCEDIMIENTO DPG-V-0002</i>	11
5.3 <i>PROCEDIMIENTO DPG-V-0003</i>	12
5.4 <i>PROCEDIMIENTO DPG-V-0004</i>	13
5.5 <i>PROCEDIMIENTO DPG-V-0005</i>	14
5.6 <i>PROCEDIMIENTO DPG-V-0006</i>	15

1 Introducción

1.1 Propósito de este documento

Este documento describe el Plan de Test y los procedimientos definidos para realizar la verificación y validación de las unidades que componen el sistema de *detección de deforestaciones*.

1.2 Definiciones, acrónimos y abreviaciones

Acrónimo	Descripción
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index (Índice diferencial de vegetación normalizado)

1.3 Referencias

No Aplica.

1.4 Resumen del documento

En el capítulo dos se describen los estándares definidos para la codificación de los procedimientos, tanto como su registración, la de sus resultados y cuáles son las métricas de calidad del plan de test.

El capítulo tres define el plan de test y se listan los procedimientos definidos.

En el capítulo cuatro se muestra la matriz de trazabilidad que muestra la absoluta cobertura de los requerimientos funcionales definidos para las unidades que componen el sistema.

En el capítulo cinco se describen los procedimientos de test definidos.

2 Registración del plan de pruebas

Este capítulo presenta una descripción de la forma en que se llevará registro de los procedimientos y los resultados de las ejecuciones de los casos de test.

2.1 Codificación de procedimientos

Para la identificación unívoca de los procedimientos y los casos que los componen se utilizará el siguiente método de codificación compuesto por la siguiente cadena de caracteres genérica:

SSS-C-NNNN

Donde:

- **SSS** corresponde a tres caracteres que identifican el tipo o contexto del procedimiento. Estos pueden ser: "**SYS**" en el caso que su ejecución incluya más de un subsistema, **caracteres variables** que identifican el subsistema en el que el caso de test se circunscribe o "**ILS**" en el caso que el procedimiento pertenezca a ILS&OPS.
- **C** es un caracter que indica la clase del procedimiento de prueba:
 - **A** por "Ensamblado"
 - **I** por "Integración"
 - **V** por "Validación"

Plan de Verification & Validation del Software (SVVP)

- **O** por “Operaciones” solo en el caso de ILS&OPS
 - **C** por “Contingencias”
 - **M** por “Mantenimiento”
- **NNNN** es un número de cuatro dígitos utilizado para enumerar el procedimiento.

2.2 Registración de procedimientos

El procedimiento de pruebas es una lista cronológica de los pasos a ser ejecutados por cada test. Se adopta la forma de la Figura 1 donde cada paso es especificado, como así también el resultado esperado. Las demás columnas son reservadas para completar con los resultados de la ejecución de cada paso.

TEST PROCEDURE		Test Name:		
Test Id.: PPPP-SSS-C-NNNN-L		Test Case:		
Step	Action Description	Expected Outcome	Actual Outcome	Remarks
A	CHECKS:			
A.1				
A.2				
B	CHECKS:			
B.1				
B.2				
Date: dd.mm.yy		Test Responsible Signature:		

Figura 1 – Tabla de Procedimiento de Test

2.3 Registración de resultados

Para facilitar el monitoreo de test en curso y tener una clara evidencia de los resultados de test, las plantillas de datos de test preparadas para detallar los pasos de procedimiento definirán el resultado esperado de cada paso. Cada test se llevará a cabo siguiendo los pasos de secuencia especificados por el procedimiento, y el resultado de cada paso se comparará con el resultado esperado.

En caso de discrepancia de los resultados obtenidos con respecto a lo previsto, una solución inmediata de problemas será realizada por el operador de prueba para verificar el motivo del problema ocurrido. El responsable del Test evaluará el impacto del problema y la oportunidad de continuar con la ejecución del test o de suspenderlo esperando un análisis más profundo o adecuado para las acciones de recuperación.

La siguiente política se adoptará para la gestión de cualquier discrepancia o no conformidad encontrada durante las pruebas de ejecución:

Autor: Mirko Panozzo Zénere

Fecha: 10-10-2009

Versión: 1.0

Plan de Verification & Validation del Software (SVVP)

- Si la discrepancia no viola ningún requerimiento específico y no impone una suspensión de las actividades de test, la discrepancia será anotada en la hoja y el test se completará.
- De acuerdo con la naturaleza de la discrepancia, se llevará a cabo una investigación más a fondo para verificar cualquier posible acción y para decidir sobre la oportunidad de declarar el caso de test como **PASSED** o para programar su repetición.
- Si la discrepancia no es fácil de ser entendida y rápidamente solucionada y / o afecta a un requisito específico, un Reporte de Anomalía de Test (TAR) será llenado.
- El caso de test será entonces temporalmente declarado **FAILED** y se repetirá después de la acción de recuperación. Por el momento, si el problema no afecta a los subsiguientes casos de test, las actividades de test continuarán de acuerdo con el calendario nominal
- Si la discrepancia implica la imposibilidad de continuar las actividades de test o afecta a las actividades o el funcionamiento del próximo ciclo de casos de test, después de la emisión del Reporte de Test de Anomalías (TAR) para el caso de test **FAILED**, la operación del test será suspendida temporalmente y se convocará lo más rápido posible a una reunión en la cual participen todos los actores para analizar el problema, identificar las acciones correctivas y el plan de intervención que se deberá realizar. Una vez que el problema se haya resuelto, la operación de test se reiniciará desde el test fallido para seguir de acuerdo con la secuencia prevista.

El reporte de anomalía de Test será de la forma mostrada en la **Figura 2**. Una declaración formal de Clausura Anomalía (DAC) se publicará tan pronto como el problema de anomalía se haya resuelto. El formato se puede observar en la **Figura 3**.

SessionTest		Test Anomaly Report				Number TAR-NN	
Test Id. & Name:							
Anomaly Subject:							
Criticality Level:		High		Medium		Low	
Anomaly Description:							
Recommended Action:							
Issue Date: dd.mm.yy				Signature:			

Figura 2 – Formato reporte de anomalía de test

Plan de Verification & Validation del Software (SVVP)

EST Test Campaign	Declaration of Anomaly Closure	Number DAC-NN
Anomaly Report Number: TAR-NN		
Anomaly Subject:		
Performed Action:		
Anomaly Resolution:		
Closure Date: dd.mm.yy	Signature:	

Figura 3 – Forma de declaración de Anomalía cerrada

2.4 Métricas de calidad del Plan de Test

En el reporte del plan de pruebas, se tiene que incluir: un resumen de la lista de

Test Anomaly Reports (TARs) and Declarations of Anomaly Closure (DACs), y un conjunto de métricas obtenidas. Este resumen incluye:

- Identificador de la anomalía.
- Objeto de la anomalía.
- Fecha.
- Identificador de la prueba.
- Nivel de severidad.
- Responsabilidad de acción.
- Estado actual.
- Fecha de cierre.

De esta forma, el Test Anomaly Report List (TAR List) se construye como una tabla. Un ejemplo de esto es la **Figura 4** presentada más abajo.

Anomaly ID	Anomaly Subject	Criticality	Issue Date	Generated by	Action Responsibility	Current Status
TAR-01						

Figura 4 – Lista de TAR

Con el fin de establecer una forma de medir el grado de éxito de la ejecución del plan de pruebas y sus actividades, se introducen un conjunto de métricas. Para cada sesión de pruebas se tendrán que incluir los siguientes elementos:

- Cantidad de procedimientos de prueba ejecutados.
- Cantidad de procedimientos de prueba exitosos (esos que no producen TARs).
- Cantidad de procedimientos de prueba completados (los completados que produjeron TARs).

Plan de Verification & Validation del Software (SVVP)

- Cantidad de procedimientos que no se pudieron completar.
- Cantidad de procedimientos de prueba con TARs menores (o sea con tras cuya importancia es mínima).
- Cantidad de procedimientos de prueba con TARs medianos (o sea con tras cuya importancia es mediana).
- Cantidad de procedimientos de prueba con TARs críticos (o sea con tras cuya importancia es critica).
- Versión del producto indicada por el plan de administración de configuración y datos (Configuration Item Data List or CIDL).

De acuerdo a esto, las métricas pueden ser como se muestra en la tabla de la **Figura 5** siguiente.

Session ID	Test Procedures Executed (Total)	Test Procedures Successful (No TARs)	Test Procedures Blocked (Failure)	Test Procedures Completed (with TARs)	Test Procedures (TAR minor)	Test Procedures (TAR medium)	Test Procedures (TAR high)

Figura 5 – Métricas del Procedimiento de Test

3 Definición del Plan de Test

En esta sección se presenta una breve descripción del plan de pruebas correspondiente al Sistema de Generación de Producto de Deforestación.

3.1 Introducción

Las pruebas que se presentaran a continuación han sido diseñadas para caracterizar la performance y las funcionalidades del Sistema de Generación de Producto de Deforestación con el objetivo de satisfacer los requerimientos del proyecto.

3.2 Listado de los Procedimientos de Prueba

Estos procedimientos de prueba fueron diseñados para validar y verificar que cumplen con los requerimientos del proyecto.

Procedimiento	Descripción
DPG-V-0001	Detección de píxeles equivalentes
DPG-V-0002	Co-registro de imágenes
DPG-V-0003	Homogeneización radiométrica
DPG-V-0004	Generación de NDVI
DPG-V-0005	Detección de cambios
DPG-V-0006	Generación de máscara

Tabla 1 – Lista de Procedimientos de Test

4 Matriz de verificación y conformidad

Esta sección presenta la matriz de trazabilidad que permite asociar los requerimientos funcionales establecidos para el proyecto con los procedimientos de test generados para lograr su validación y verificación. La **Tabla 2** muestra la Matriz de Trazabilidad.

4.1 Matriz de trazabilidad

ID Requerimiento	Descripción	Procedimiento de Test
SR.1.1	El sistema deberá realizar la detección automática de píxeles equivalentes entre ambas imágenes.	DPG-V-0001
SR.1.2	El sistema deberá aplicar un algoritmo de co-registro de imágenes a partir de los puntos de control generados.	DPG-V-0002
SR.1.3	El error de la co-registración deberá ser a lo sumo de un píxel.	DPG-V-0002
SR.2.1	El sistema deberá realizar la homogeneización radiométrica de las imágenes.	DPG-V-0003
SR.3.1	El sistema deberá obtener el NDVI de cada imagen.	DPG-V-0004
SR.3.2	El sistema deberá guardar la banda generada a partir del NDVI aplicado a cada imagen para su posterior procesamiento.	DPG-V-0004
SR.4.1	El sistema deberá aplicar el algoritmo de detección de cambios “cocientes multi-temporales normalizados” sobre los archivos generados por la aplicación de los NDVI.	DPG-V-0005
SR.4.2	El sistema deberá generar una máscara de unos y ceros marcando en qué píxeles hubo deforestación y en cuáles no, respectivamente.	DPG-V-0006

Tabla 2 – Matriz de trazabilidad: Requerimientos vs. Procedimientos de Test

Plan de Verification & Validation del Software (SVVP)

5 Procedimientos de Test

Este capítulo describe los procedimientos de test definidos con el objetivo de verificar y validar el cumplimiento de los requerimientos del proyecto comprobables mediante la ejecución de tests.

5.1 Procedimiento **DPG-V-0001**

Test Identifier	DPG-V-0001
Test Procedure	Detección de píxeles equivalentes
Session Test Number	
Test Objective and Method	El sistema deberá realizar la detección de píxeles equivalentes entre las dos imágenes recibidas.
System Configuration Set-up	
Required Tools	N/A
Remarks	N/A
Test File	
Folder's Test Results	

EST Test PROCEDURE		Test Name: Detección de píxeles equivalentes.		
Test Id.: DPG-V-0001		Test Sub-case:		
Step	Action Description	Expected Outcome	Actual Outcome	Result
A	DETAIL: Verificación de detección de píxeles equivalentes. CHECKS:			
A.1	Corroborar el archivo de configuración de la unidad de "co-registro" de imágenes.	Debe estar presente en el mismo directorio del ejecutable y apuntar a las imágenes a ser co-registradas.		
A.2	Ejecutar la unidad "Co-registro".	La unidad arranca correctamente		
A.3	Corroborar la correcta finalización de la unidad.	La unidad finaliza sin mensajes de error		
A.4	Chequear los pares de píxeles equivalentes generados.	Los pares de píxeles generados se corresponden correctamente.		
Date:		Test Responsible Signature:		

Plan de Verification & Validation del Software (SVVP)

5.2 Procedimiento **DPG-V-0002**

Test Identifier	DPG-V-0002
Test Procedure	Co-registro de imágenes
Session Test Number	
Test Objective and Method	El sistema deberá realizar la co-registración de las dos imágenes de entrada a partir de los píxeles equivalentes detectados.
System Configuration Set-up	
Required Tools	N/A
Remarks	N/A
Test File	
Folder's Test Results	

EST Test PROCEDURE		Test Name: Co-registro de imágenes.		
Test Id.: DPG-V-0002		Test Sub-case:		
Step	Action Description	Expected Outcome	Actual Outcome	Result
A	DETAIL: Co-registro de imágenes. CHECKS:			
A.1	Corroborar el archivo de configuración de la unidad de "co-registro" de imágenes.	Debe estar presente en el mismo directorio del ejecutable y apuntar a las imágenes a ser co-registradas.		
A.2	Ejecutar la unidad "Co-registro".	La unidad arranca correctamente		
A.3	Corroborar la correcta finalización de la unidad.	La unidad finaliza sin mensajes de error		
A.4	Abrir ambas imágenes con ENVI.	Las imágenes se abren correctamente		
A.5				
B	DETAIL: Error de co-registro. CHECKS:			
B.1	Chequear error de co-registro	El error debe ser de a lo sumo un píxel.		
Date:		Test Responsible Signature:		

Autor: Mirko Panozzo Zénere

Fecha: 10-10-2009

Versión: 1.0

Plan de Verification & Validation del Software (SVVP)

5.3 Procedimiento **DPG-V-0003**

Test Identifier	DPG-V-0003
Test Procedure	Homogeneización radiométrica
Session Test Number	
Test Objective and Method	El sistema deberá realizar la homogeneización radiométrica de las dos imágenes de entrada a partir de los píxeles equivalentes detectados.
System Configuration Set-up	
Required Tools	N/A
Remarks	N/A
Test File	
Folder's Test Results	

EST Test PROCEDURE		Test Name: Homogeneización Radiométrica.		
Test Id.: DPG-V-0003		Test Sub-case:		
Step	Action Description	Expected Outcome	Actual Outcome	Result
A	DETAIL: Realizar el ajuste radiométrico entre ambas imágenes. CHECKS:			
A.1	Corroborar el archivo de configuración de la unidad de "homogeneización radiométrica" de imágenes.	Debe estar presente en el mismo directorio del ejecutable y apuntar a las imágenes a ser ajustadas radiométricamente.		
A.2	Ejecutar la unidad " Homogeneización Radiométrica ".	La unidad arranca correctamente.		
A.3	Corroborar la correcta finalización de la unidad.	La unidad finaliza sin mensajes de error		
A.4	Abrir ambas imágenes con ENVI.	Las imágenes se abren correctamente		
A.5	Realizar un link entre ambas imágenes.	Las imágenes están correctamente ajustadas radiométricamente.		
Date:		Test Responsible Signature:		

Plan de Verification & Validation del Software (SVVP)

5.4 Procedimiento **DPG-V-0004**

Test Identifier	DPG-V-0004
Test Procedure	Generación de NDVI
Session Test Number	
Test Objective and Method	El sistema deberá obtener el NDVI de cada imagen.
System Configuration Set-up	
Required Tools	N/A
Remarks	N/A
Test File	
Folder's Test Results	

EST Test PROCEDURE		Test Name: Generación de NDVI.		
Test Id.: DPG-V-0004		Test Sub-case:		
Step	Action Description	Expected Outcome	Actual Outcome	Result
A	DETAIL: Obtener los NDVI de ambas imágenes. CHECKS:			
A.1	Corroborar el archivo de configuración de la unidad "NDVI".	Debe estar presente en el mismo directorio del ejecutable y apuntar a una de las imágenes y detallar el nombre del archivo de salida.		
A.2	Ejecutar la unidad "NDVI".	La unidad arranca correctamente		
A.3	Corroborar la correcta finalización de la unidad.	La unidad finaliza sin mensajes de error		
A.4	Corroborar la correcta generación del archivo de salida.	La imagen se guardó correctamente		
A.5	Abrir la imagen original con ENVI.	La imagen se abre correctamente		
A.6	Generar el NDVI de la imagen.	El NDVI se genera correctamente		
A.7	Abrir el NDVI generado por la unidad.	La imagen se abre correctamente		
A.8	Realizar el link de ambos NDVI.	Los NDVI son idénticos		

Autor: Mirko Panozzo Zénere

Fecha: 10-10-2009

Versión: 1.0

Plan de Verification & Validation del Software (SVVP)

5.5 Procedimiento DPG-V-0005

Test Identifier	DPG-V-0005
Test Procedure	Detección de cambios
Session Test Number	
Test Objective and Method	El sistema deberá aplicar el algoritmo de detección de cambios “cocientes multi-temporales normalizados” a las imágenes NDVI generadas a partir de las imágenes de entrada.
System Configuration Set-up	
Required Tools	N/A
Remarks	N/A
Test File	
Folder’s Test Results	

EST Test PROCEDURE		Test Name: Detección de cambios.		
Test Id.: DPG-V-0005		Test Sub-case:		
Step	Action Description	Expected Outcome	Actual Outcome	Result
A	DETAIL: Aplicar el algoritmo de detección de cambios “cocientes multi-temporales normalizados”. CHECKS:			
A.1	Corroborar el archivo de configuración de la unidad “Detección de cambios”.	Debe estar presente en el mismo directorio del ejecutable y apuntar a los NDVI a comparar.		
A.2	Ejecutar la unidad “Detección de cambios”.	La unidad arranca correctamente		
A.3	Corroborar la correcta finalización de la unidad.	La unidad finaliza sin mensajes de error		
A.4	Corroborar la correcta generación del archivo <i>cocientes.tif</i> .	La imagen se guardó correctamente		
A.5	Seleccionar 30 puntos al azar sobre las imágenes originales y aplicar el algoritmo para estos valores	Los valores coinciden exactamente con los del a imagen generada por la unidad		
Date:		Test Responsible Signature:		

Plan de Verification & Validation del Software (SVVP)

5.6 Procedimiento DPG-V-0006

Test Identifier	DPG-V-0006
Test Procedure	Generación de máscara
Session Test Number	
Test Objective and Method	El sistema deberá generar una máscara de unos y ceros destacando en qué píxeles hubo deforestación y en cuáles no, respectivamente.
System Configuration Set-up	
Required Tools	N/A
Remarks	N/A
Test File	
Folder's Test Results	

EST Test PROCEDURE		Test Name: Generación de máscara.		
Test Id.: DPG-V-0006		Test Sub-case:		
Step	Action Description	Expected Outcome	Actual Outcome	Result
A	DETAIL: Generar una máscara de unos y ceros a partir de lo obtenido por los "cocientes multi-temporales normalizados". CHECKS:			
A.1	Corroborar el archivo de configuración de la unidad "Detección de cambios".	Debe estar presente en el mismo directorio del ejecutable y apuntar a los NDVI a comparar.		
A.2	Ejecutar la unidad "Detección de cambios".	La unidad arranca correctamente		
A.3	Corroborar la correcta finalización de la unidad.	La unidad finaliza sin mensajes de error		
A.4	Corroborar la correcta generación del archivo <i>mascara.tif</i> .	La imagen se guardó correctamente		
A.5	Seleccionar 30 puntos al azar sobre la imagen <i>cocientes.tif</i> y chequear la máscara generada.	Los píxeles donde <i>cocientes.tif</i> posee valores menores a 60, corresponden a un 1 en <i>mascara.tif</i> , caso contrario corresponden a un 0.		
Date:		Test Responsible Signature:		

Referencias

- [ADD95] *Guide to the software architectural design phase*, March 1995. ESA Board for Software Standardisation and Control.
- [Chu02a] Emilio Chuvieco. *Teledetección Ambiental*. Editorial Ariel S.A., Barcelona, may 2002. La observación de la Tierra desde el espacio.
- [Chu02b] Emilio Chuvieco. *Teledetección Ambiental*, chapter Análisis digital de imágenes: correcciones y realces, pages 286–287. Editorial Ariel S.A., Barcelona, may 2002.
- [Chu02c] Emilio Chuvieco. *Teledetección Ambiental*, chapter Análisis de imágenes: extracción de información temática, pages 437–438. Editorial Ariel S.A., Barcelona, may 2002.
- [CON94] CONAE. Plan espacial nacional - argentina en el espacio 1995-2006, 1994. <http://www.conae.gov.ar/planespacial/planespacial.html>.
- [DDD95] *Guide to the software detailed design and production phase*, mar 1995. ESA Board for Software Standardisation and Control.
- [ESA91] *ESA Software Engineering Standards*, 2 edition, February 1991. ESA Board for Software Standardisation and Control.
- [GJM07] C. Ghezzi, M. Jazayeri, and D. Mandrioli. *Fundamentals of Software Engineering*, volume 2. Prentice Hall, 2007.
- [HGM02a] Ana María Hernández, Antonio Gagliardini, and Jaime Moragues. Uso de la información espacial en clima, hidrología y oceanografía, dec 2002.
- [HGM02b] Ana María Hernández, Antonio Gagliardini, and Jaime Moragues. Uso de la información espacial en el area económica y productiva: sectores agropecuarios, pesqueros y forestales, December 2002.
- [HGM02c] Ana María Hernández, Antonio Gagliardini, and Jaime Moragues. Uso de la información espacial para la gestión de emergencias, dec 2002.

REFERENCIAS

- [HM02a] Ana María Hernández and Jaime Moragues. Uso de la información espacial para cartografía, geología y producción minera, dec 2002.
- [HM02b] Ana María Hernández and Jaime Moragues. Uso de la información espacial para la vigilancia del medio ambiente y recursos naturales, dec 2002.
- [HM03] Ana María Hernández and Jaime Moragues. Uso de la información espacial para la gestión de salud, June 2003.
- [Jam05] Rumbaugh James. *The Unified Modeling Language reference manual*. Addison-Wesley Iberoamérica, 2 edition, 2005.
- [OM95] *Guide to the software operations and maintenance phase*, mar 1995. ESA Board for Software Standardisation and Control.
- [SMA96] *Guide to applying the ESA software engineering standards to small software projects*, May 1996. ESA Board for Software Standardisation and Control.
- [Sol07] ITT Visual Information Solutions. Idl reference guide, apr 2007.
- [SRD95] *Guide to the software requirements definition phase*, 1 edition, mar 1995. ESA Board for Software Standardisation and Control.
- [STD95] *Guide to the software transfer phase*, mar 1995. ESA Board for Software Standardisation and Control.
- [URD95] *Guide to the user requirements definition phase*, mar 1995. ESA Board for Software Standardisation and Control.