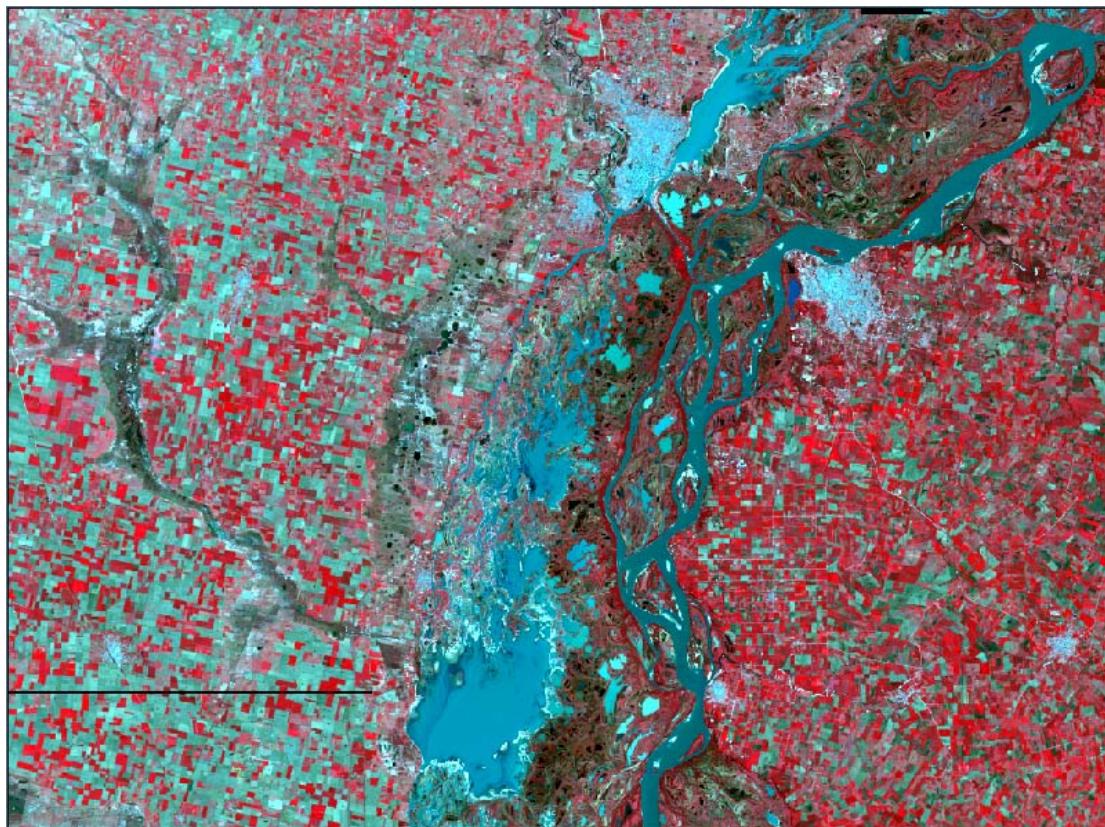




-Protocolo para el preprocesamiento de imágenes satelitales Landsat para aplicaciones de la Administración de Parques Nacionales-



Protocolo para el pre procesamiento de imágenes satelitales Landsat para aplicaciones de la Administración de Parques Nacionales

Introducción

Las técnicas relacionadas con la percepción remota han significado una herramienta fundamental para el estudio del medio ambiente. Estas técnicas constituyen un conjunto de instrumentos que permiten la obtención, medición y registro de información a distancia. Fundamentalmente se basan en las propiedades que poseen los diferentes cuerpos de reflejar la energía electromagnética proveniente de la radiación solar incidente sobre la superficie terrestre. Los equipos montados a bordo de los satélites de observación terrestre producen imágenes con características específicas y únicas como fuente de información. Las imágenes obtenidas por los satélites ofrecen una perspectiva única de la Tierra y sus recursos. El valor de las imágenes de satélite y la información extraída de ellas es evidente ya que ofrecen una cobertura global y periódica de la superficie terrestre con una visión panorámica y homogeneidad en la toma de datos.

El uso de las **imágenes satelitales** se ha divulgado en los últimos años para una gran variedad de aplicaciones: desarrollo y planificación urbana, catastro, infraestructura, usos del suelo, estudios ambientales y de recursos naturales, agricultura, desastres naturales/emergencias, entre otros. Sus aplicaciones dentro de la **Administración de Parques Nacionales** son diversas, utilizándolas para la delimitación de límites, identificación de las amenazas para las áreas protegidas, determinación del avance de las zonas agrícolas y la definición de diferentes tipos de vegetación, entre otras.

El **objetivo** de este documento es generar un protocolo de base sobre métodos de pre procesamiento de imágenes satelitales aplicable a los múltiples objetivos que se cubren en la Institución. El método de pre procesamiento de imágenes que se describe tiene el objetivo de maximizar la precisión de los resultados obtenidos a partir de la utilización de imágenes satelitales. Específicamente, se ilustran los métodos y algoritmos que se utilizan para aplicar correcciones geo-radiométricas. Debe tenerse en cuenta que no se detallan la totalidad de los pasos del proceso, sino que se presenta los pasos metodológicos que se requieren y los algoritmos que se aplican en cada caso. Este documento debe utilizarse con unos archivos complementarios: uno es un archivo denominado **planilla_datos.xls** en el que se completaran con los datos correspondientes y el cual permite realizar determinados cálculos a aplicarse en las distintas etapas del proceso; y los modelers (*.gmd) a aplicarse en cada corrección.

Satélite –Sensor –Imagen: Muchas de las imágenes que generan los diversos tipos de sensores con sus variantes en resolución pueden aplicarse a los requerimientos de aplicaciones de la institución. Sin embargo, teniendo en cuenta la escala y las necesidades con las que se trabaja, predomina el uso de imágenes **Landsat TM** y **MSS**. Por lo tanto, este protocolo se aplica al uso de imágenes Landsat 5 TM y 7 ETM+.

La resolución **temporal**, que se refiere al tiempo de revisita del satélite, tanto del Landsat 5 como 7 es de 16 días. Mientras que la resolución **radiométrica**, es decir la sensibilidad del sensor para diferenciar niveles de intensidad de la señal de retorno, es de 8 bits de resolución para ambos sensores. La resolución **espectral** es el número y ancho de las bandas en el espectro electromagnético al que es sensible el sensor y la resolución **espacial** determina el tamaño del menor objeto que es posible distinguir con el sensor. En Landsat 7 las bandas del espectro visible y del infrarrojo mantienen la resolución espacial de 30m del Landsat 5 (canales 1,2,3,4,5 y 7). Las bandas del infrarrojo térmico (canales 6L y 6H) pasan a ser adquiridas con resolución de 60 metros, contra 120 metros del Landsat 5. La nueva banda Pancromática (canal 8) tiene 15 m de resolución espacial. El siguiente cuadro

comparativo ilustra las diferencias de resolución entre el sensor TM del Landsat5 y el sensor ETM+ del Landsat 7.

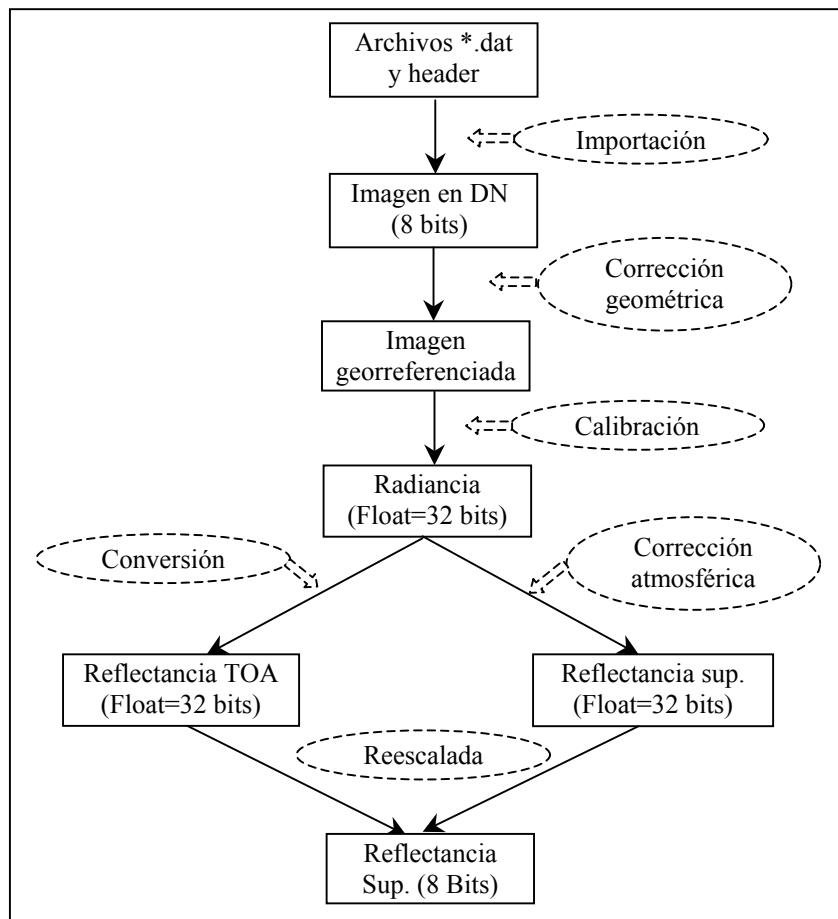
Plataforma Sensor	Resolución Espectral (μ)	Resolución espacial (m.)	Resolución temporal (Días)	Resolución radiométrica (Bits)	Área de cobertura (Km.)
Landsat-5 TM Thematic Mapper	B1: 0.45 - 0.52 (visible-azul)	30	16	8	185 X 170
	B2: 0.52 - 0.60 (visible-verde)	30			
	B3: 0.63 - 0.69 (visible-rojo)	30			
	B4: 0.76 - 0.90 (IR cercano)	30			
	B5: 1.55 - 1.75 (IR medio)	30			
	B6: 10.4 - 12.5 (IR térmico)	120			
	B7: 2.08 - 2.35 (IR medio)	30			
Landsat-7 ETM Spectral Bands	B1: 0.45 - 0.51 (visible-azul)	30	16	8	185
	B2: 0.52 - 0.60 (visible-verde)	30			
	B3: 0.63 - 0.69 (visible-rojo)	30			
	B4: 0.77 - 0.90 (IR cercano)	30			
	B5: 1.55 - 1.75 (IR medio)	30			
	B6: 10.40 - 12.50 (IR térmico)	60			
	B7: 2.09 - 2.35 (IR medio)	30			
	B8: 0.52 - 0.90 (Pancromática)	15			

La selección de las imágenes: la fecha de adquisición de la imagen depende del objetivo del trabajo y el fenómeno que se quiere observar, por lo cual quedara a criterio de la persona encargada del análisis digital. Solo deben tenerse en cuenta ciertos factores de calidad de la imagen, como ser cobertura de nubes, etc. Otro factor a tener en cuenta si se pretende trabajar con imágenes de Landsat 7 es que a partir de 31 de mayo del 2003 se detecto una anomalía. A partir de esa fecha algunas imágenes no han sido procesadas para su distribución y otros de los productos con el instrumento ETM+ están trabajando sin el Scan Line Corrector (SLC-off), es decir que faltan datos al alejarse del centro de la imagen.

Software: Este protocolo apunta a trabajos de procesamiento de imágenes con la utilización del software de procesamiento **ERDAS Imagine (8.x)** de la empresa Leyca. No se descarta la posibilidad de utilizar otros paquetes informáticos como ENVI, Idrisi Kilimanjaro u otros. Los pasos del pre procesamiento son los mismos, solo varían las interfaces y los módulos por cuestiones de presentación o formato de cada software. Sin embargo, actualmente la institución dispone de las licencias habilitantes para ERDAS, por lo cual, la metodología que se presenta es según el formato de dicho software.

Diagrama de flujo del pre procesamiento

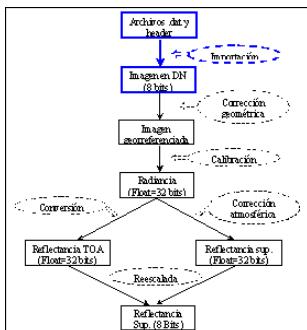
A continuación se presentan los pasos secuenciales del método de pre-procesamiento en un diagrama de flujo que sirve de guía para el seguimiento en cada etapa.

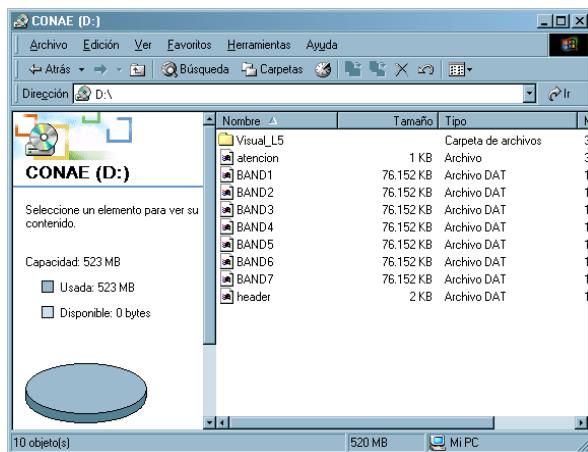


ADVERTENCIA: Puede realizarse la corrección geométrica antes de la corrección radiométrica únicamente cuando se utilice como método de remuestreo el vecino mas cercano. En caso de utilizar otro método de remuestreo debe realizarse primero, indefectiblemente, la corrección radiométrica.

Preparación de los datos

Los datos que provee la CONAE (Comisión Nacional de Actividades Espaciales) se presentan en una serie de archivos de tipo **DAT** con los datos de cada banda del satélite y uno denominado **header**, el cual es un archivo de lectura (puede abrirse con Block de Notas o Word) en el que esta la información relativa a la imagen y las características de adquisición de la misma. A continuación se presenta el contenido de los CDs como son entregados por la CONAE y el ejemplo de un header.





El primer paso consiste en la lectura del header de la/s imágenes con la/s que se trabaje y se procede a cargar los datos en la planilla Excell desarrollada para tal fin. Para ello, abrir dicho archivo denominado **planillas_datos.xls**. Esto es de suma importancia ya que la información que aquí se ingrese será utilizada en los siguientes pasos del pre-procesamiento. Además, la planilla está diseñada para disponer de ciertos cálculos que son necesarios para aplicar en ciertas etapas del mismo.

HEADER (Sólo lectura) - Microsoft Word

```

PRODUCT =10024900018 WRS =229/075F
ACQUISITION DATE =19990816 ← Fecha de adquisición
SATELLITE =L5 ← Satélite y sensor
INSTRUMENT =TM10 ← Nivel de procesamiento
PRODUCT TYPE =ORBIT ORIENTED ← Nivel de procesamiento
PRODUCT SIZE =FULL SCENE
TYPE OF GEODETIC PROCESSING =SYSTEMATIC RESAMPLING =NN RAD
GAINS/BIASES = +0.7314/-1.5000
    +1.3533/-3.1000
    +0.9714/-2.7000
    +1.0686/-2.5000
    +0.1429/-0.4500
    +0.0000/+0.0000
    +0.0757/-0.3000 } Datos para la calibración
TAPE SPANNING FLAG=1/1 START LINE #=1
LINES PER VOL= 5760 ORIENTATION = -9.28
PROJECTION =UTM USGS PROJECTION # =GRS 80 USGS MAP ZONE = 4
USGS PROJECTION PARAMETERS = 0.0000000000000000 0.0000000000000000
0.0000000000000000 0.0000000000000000 0.0000000000000000
0.0000000000000000 0.0000000000000000 0.0000000000000000
0.0000000000000000 0.0000000000000000 0.0000000000000000
0.0000000000000000 0.0000000000000000 0.0000000000000000
EARTH ELLIPSOID =GRS80
SEMI-MAJOR AXIS =6378137.000 SEMI-MINOR AXIS =6356752.300
PIXEL SIZE =30.00 ← Tamaño del pixel
PIXELS PER LINE= 6920 ← Número de columnas
LINES PER IMAGE= 5760 ← Número de filas
UL 0621926.00000 204648.00018 570363.187 7702170.750 UR 0604155.0001W
210244.00005 739144.062 7671215.750 LR 0610242.0002W 223351.0000S
700993.250 7503550.000 LL 0624014.0000W 221755.0001S 533927.500
7534214.750
BANDS PRESENT =1234567 ← Bandas
BLOCKING FACTOR = 1
RECORD LENGTH = 6920
SUN ELEVATION =39 ← Ángulo de elevación solar
SUN AZIMUTH = 48 ← Ángulo acimutal solar
CENTER 0614104.0001W 214020.0001S 636094.000 7602995.000 000 2880
OFFSET=□□□ REV8

```

Pág. 1 Sec. 1 1/1 A 17,6 cm Lín. 39 Col. 17 GRB MCA EXT SOB Inglés (Rein)

ADVERTENCIA: El header de las imágenes puede variar en su formato a través del tiempo, según la fecha de adquisición de la imagen, así como según el satélite. Por lo cual, deberá ponerse especial atención considerando que un error en algunos de estos datos implica errores en los siguientes procedimientos.

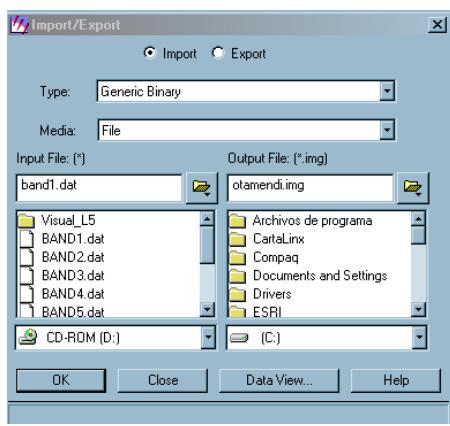
Microsoft Excel

Archivo Edición Ver Insertar Formato Herramientas Datos Ventana ?

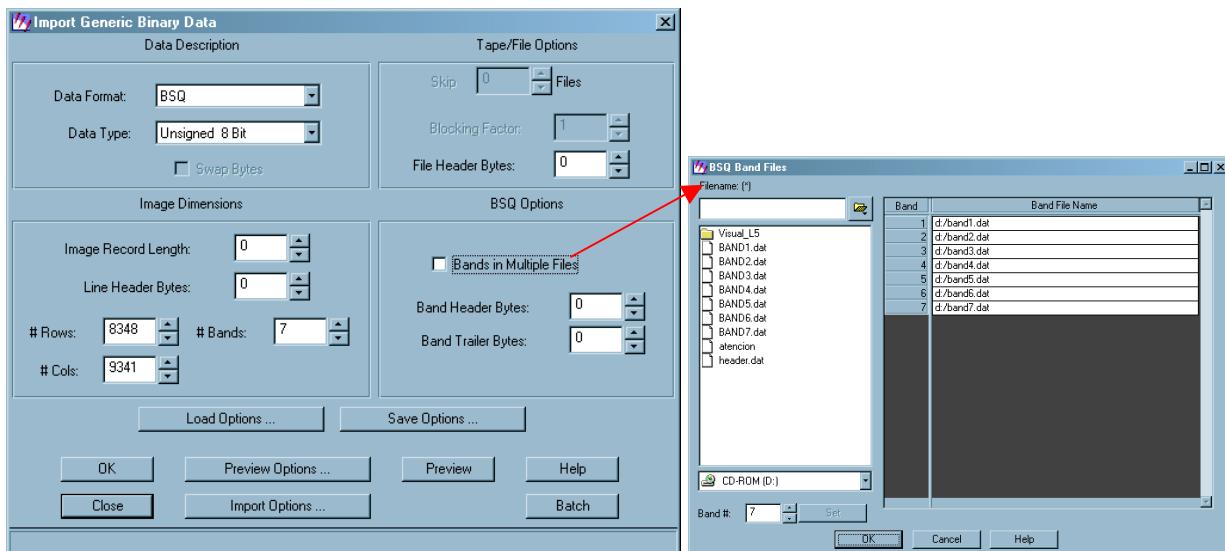
D2 = 1

Propiedades		Detalles	1	2	3	4	5	Comentarios e indicaciones										
Fecha imágenes		cronológico	16-ago-99															
Fecha imágenes		día Juliano	228										Ver calculador en la hoja "Día Juliano"					
Hora	Local	GTM											Buscar el dato en el catálogo de CONAE					
Satélite	Landsat 5									header / portada CD								
Sensor	TM									header / portada CD								
Path	229									header / portada CD								
Row	75									header / portada CD								
procesamiento	4									portada CD								
radiométrica																		
Resolución espectral	Tipo de datos									header								
	8 bits									directorio windows								
	Nro. Bandas multispectrales									directorio windows								
	Nro. Bandas panchromáticas									directorio windows								
	Nro. Bandas térmicas									header								
Upper Left X	4509137,5									header								
Upper Left Y	5800549									header								
Resolución espacial	30 m									header								
Tamaño imágenes	Tamaño Pixel									header								
Tamaño Imagenes	bits									header								
	Nro. Columnas (Pixels fila)									6920								
	Nro. filas									5760								
	Pixelos totales									calcular								
	Nro. De pixeles equivalentes a 0,1%									calcular								
	Nro. De pixeles equivalentes a 0,01									calcular								
Ángulo de elevación solar	grados									39,00								
Ángulo cenital solar	grados									51,00								
Ángulo azimutal solar	grados									48,00								
Gain	Bandas 1									header								
	Bandas 2									header / Calcular								
	Bandas 3									header / Calcular								
	Bandas 4									header / Calcular								
	Bandas 5									header / Calcular								
	Bandas 7									header / Calcular								
Bias	Bandas 1									header / Calcular								
	Bandas 2									header / Calcular								
	Bandas 3									header / Calcular								
	Bandas 4									header / Calcular								
	Bandas 5									header / Calcular								
	Bandas 7									header / Calcular								
	band1.dat									header / Calcular								
	otamendi.img									header / Calcular								
Datos Básicos																		

El segundo paso es convertir los datos a un **formato compatible** con ERDAS. Se utiliza la aplicación Import del menú principal. Se importa de Generic Binary (Type) y File (Media). Se seleccionan el archivo de input y se denomina el output.



El formato de los datos es Band Sequential (BSQ). Deben introducirse la cantidad de filas y columnas que tiene la imagen. Este dato se obtiene del header: Rows, corresponde a líneas (líneas por imagen) y el Cols, es columnas (píxeles por línea). Luego se selecciona el numero de bandas que se quiere incluir en la imagen. Puede importarse de una banda a todas. Para muchas de las aplicaciones no suele ser necesario la importación de la banda 6 que corresponde al térmico. Hay que tener en cuenta que el Landsat 7 genera la banda 6 con ganancia baja (Canal 6L) y ganancia alta (Canal 6H). Y además que el sensor ETM+ en el Landsat7 tiene una banda Pancromática (banda 8). Cuando es mas de una banda se debe tildar la opción **Band in Múltiple files**. Esta opción habilita la siguiente ventana de BSQ Band files en la que asigna cada banda del archivo *.dat a la banda correspondiente. La secuencia con que se ingresan los archivos indicará el orden que guardarán las bandas en la imagen importada.



Una vez que se realiza este proceso se dispone de la imagen propiamente dicha en un archivo *.img sobre la que se realiza el pre procesamiento.

Existe la opción de ir a preview, antes de hacer correr la importación. Esto muestra una vista rápida de la imagen, degradada, con la que se podrá verificar que la importación se lleva a cabo correctamente. Debe observarse que la imagen no aparezca deformada.

Importación de los datos		
Datos de entrada	Fuente de los datos	Datos de salida
Rows (líneas por imagen)	Header	
Cols (píxeles por línea).	Header	
Archivos DAT		Imagen *.IMG

Pre procesamiento - Corrección Geo-radiometrica de los Datos

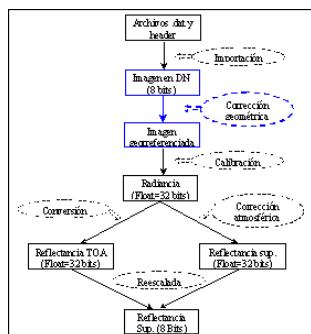
La energía captada por un sensor remoto pasa por una serie de interacciones que deben ser comprendidas para preprocesar los datos adecuadamente para posteriores análisis e interpretaciones. Mas allá de restricciones como la resolución espacial,pectral, temporal y radiométrica y la complejidad de los elementos naturales, hay que considerar que la energía captada por el sensor sufre una serie de **interacciones** con la atmósfera antes de llegar al sensor. Consecuentemente, la radiancia registrada por el sensor no es una representación exacta de la radiancia efectivamente emitida por las

coberturas. Esto significa que la imagen adquirida en formato numérico presenta una serie de anomalías con respecto a la escena real detectada. Estas anomalías están en la localización de los píxeles y en los niveles digitales de los píxeles que componen la matriz de datos. Las operaciones de corrección pretenden minimizar estas alteraciones. Estas se enmarcan dentro de las operaciones de pre procesamiento porque, en general, se llevan a cabo antes de realizar los procedimientos de extracción de información cuantitativa. Como producto se obtiene una imagen corregida que es lo más próximo posible, geométrica y radiometricamente, a la verdadera energía radiante y características espaciales del área de estudio al momento de la colección de los datos.

Las correcciones que se pretende que se apliquen, sobre todo la radiométrica, son procedimientos relativamente **simples**, pero que mejoran la calidad de los datos para consecuentemente mejorar la calidad de las clasificaciones y la detección de cambios. Aunque existen métodos más desarrollados y complejos para correcciones georadiométricas, los que se proponen son apropiados para generar la precisión requerida para permitir un amplio rango de aplicaciones con objetivos ecológicos de monitoreo y/o manejo como los que se manejan en la institución.

• Corrección geométrica

Existen dos tipos de errores geométricos, sistemáticos (predecibles) y no sistemáticos (aleatorios). Los sistemáticos son errores internos, introducidos por el mismo sistema de sensores remotos o en combinación con la rotación de la tierra o sus características de curvatura. Tienen que ver con esfericidad, rotación de la tierra, inclinación de la órbita, ángulo de observación, proyección cartográfica.



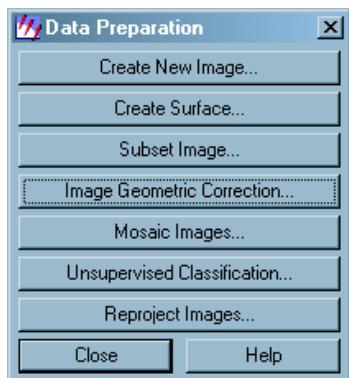
Las imágenes que provee la CONAE tienen la mayoría de los errores sistemáticos ya removidos, pero, a no ser que hallan sido procesados, los errores no-sistemáticos permanecen en la imagen, y como resultado no son planimétricas, es decir los valores de X e Y no se corresponden con los valores de coordenadas terrestres.. Sin embargo, provee los valores de algunas variables para la aplicación de los algoritmos de corrección.

El objetivo de las correcciones geométricas es remover la distorsión geométrica. Se trata de ubicar cada píxel en su posición planimétrica correspondiente. Esto permite que la información obtenida de teledetección se pueda relacionar con información temática de otras fuentes en SIG y pueden utilizarse para obtener medidas de distancia, el área de un polígono e información de orientación.

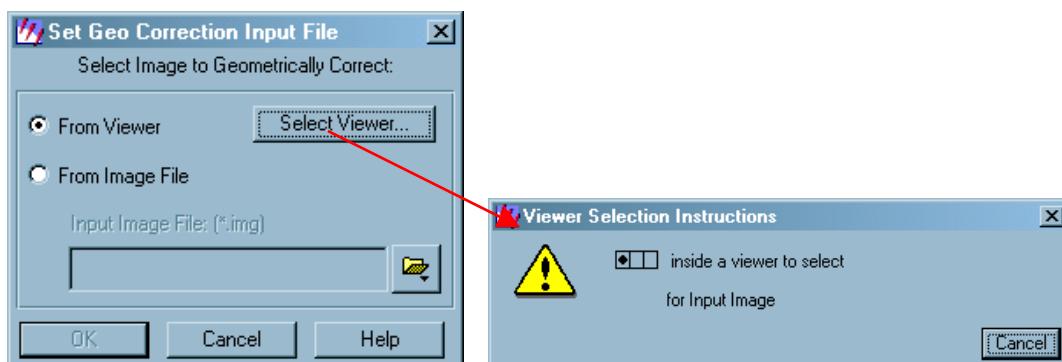
Existen dos procedimientos comunes para la corrección geométrica:

-Corrección de imágenes a mapa (rectificación): es el proceso mediante el cual la geometría de una imagen se convierte a planimétrica. La **rectificación** incluye la selección de puntos GCP (Ground Control Point) en la imagen de coordenadas de fila columna en el mapa. Un punto de control (GCP) es una ubicación en la superficie terrestre que pueden identificarse en la imagen. Pueden utilizarse puntos de control obtenidos con un GPS en el campo o de un mapa de proyección conocida.

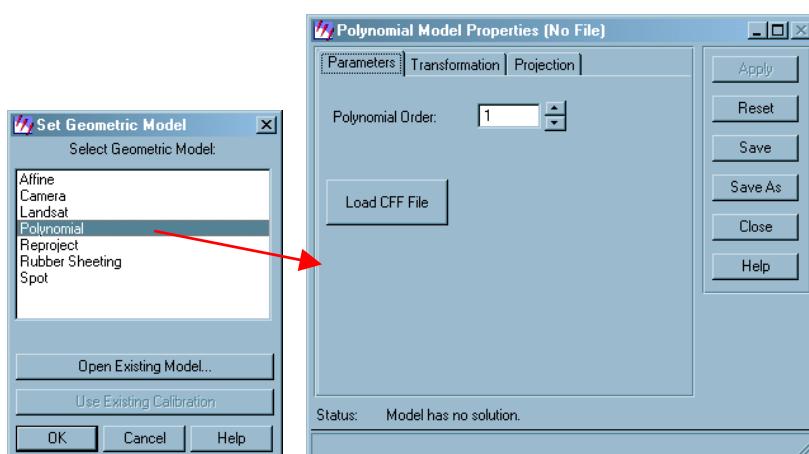
Se inicia el *Image Geometric Correction* desde el *Data Preparation* del menú principal. Esta función también puede iniciarse desde el viewer.



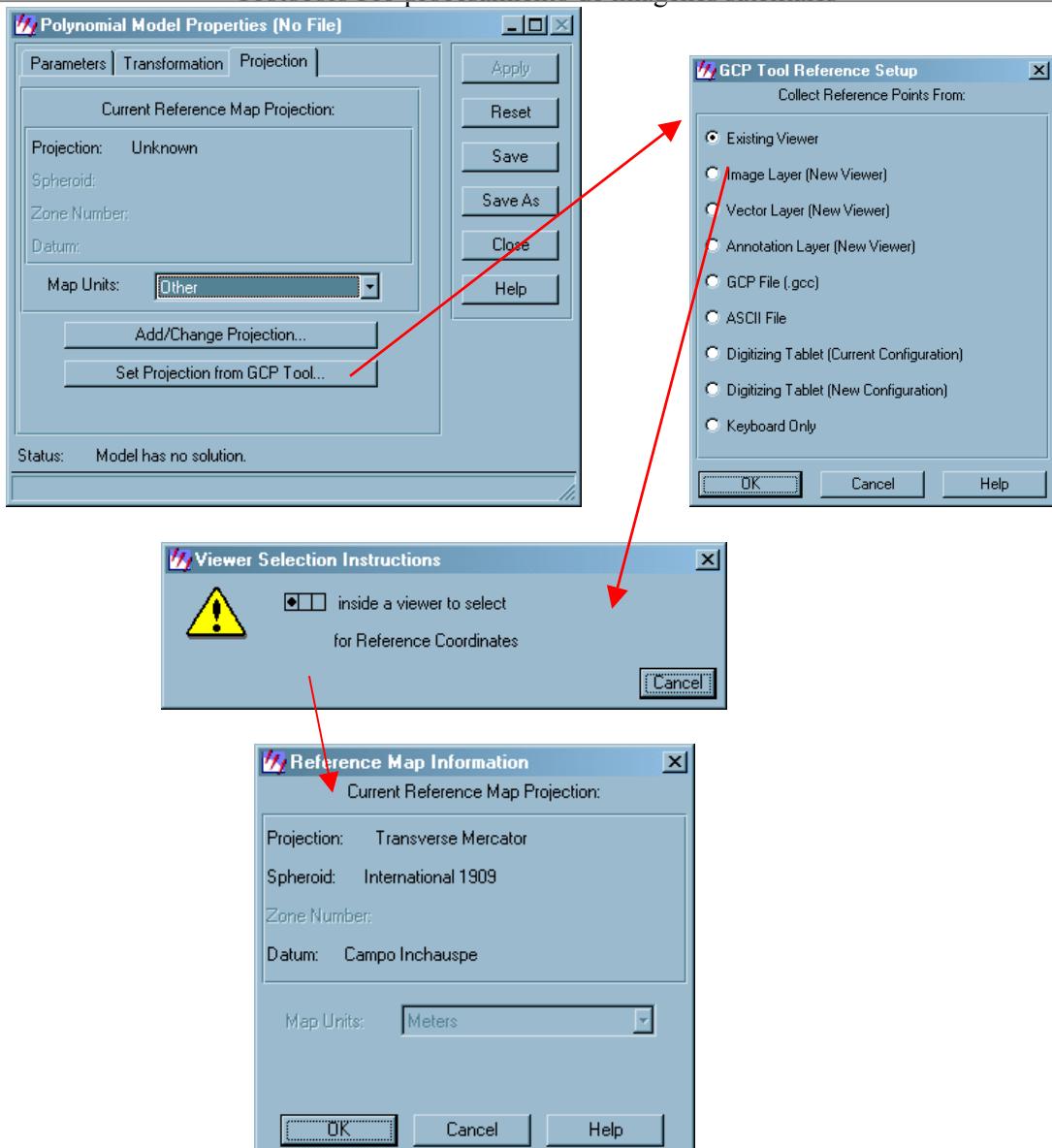
Se selecciona la imagen que se pretende corregir geométricamente. Esto se puede hacer desde el archivo o seleccionando la imagen en la vista (viewer), si esta fue abierta previamente.



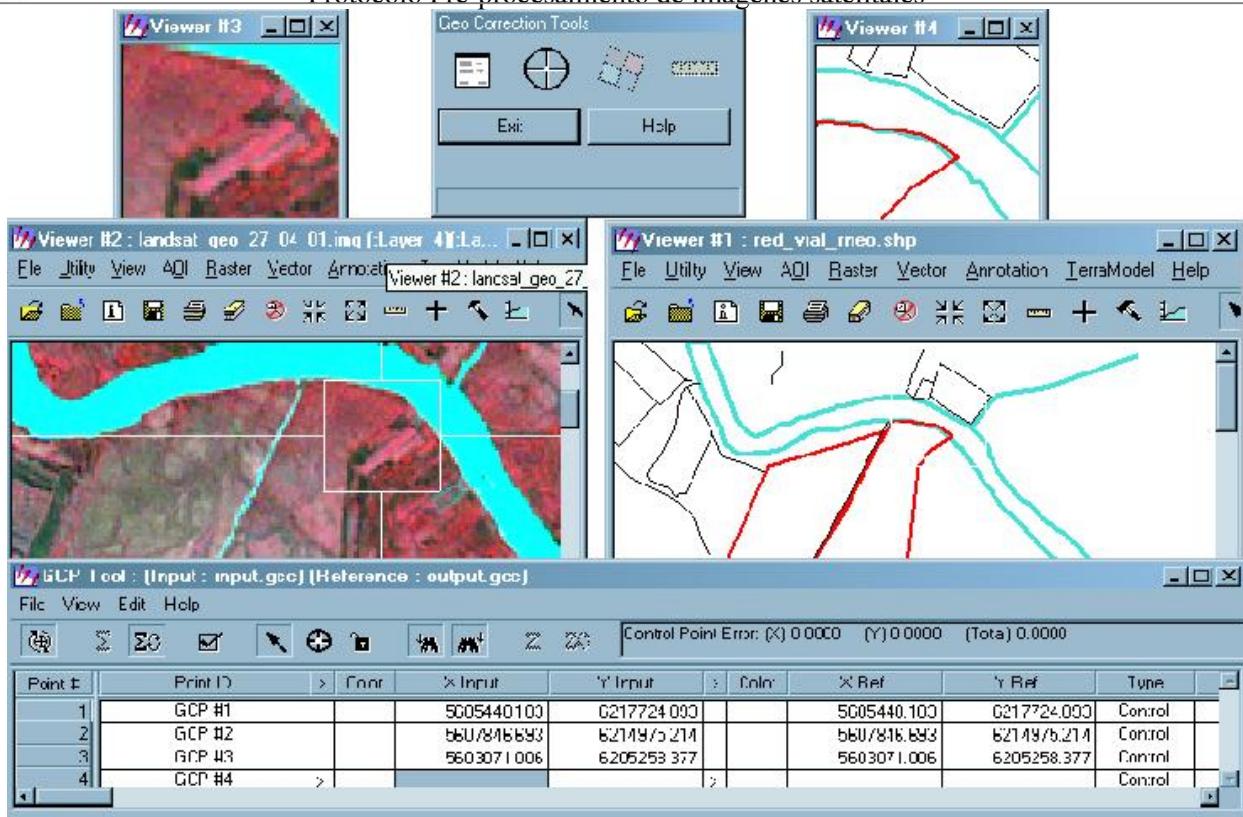
Se setea el modelo de corrección de modo que se realice una **interpolación espacial** por polinomios y el grado de la **ecuación de transformación** a realizar será primer grado.



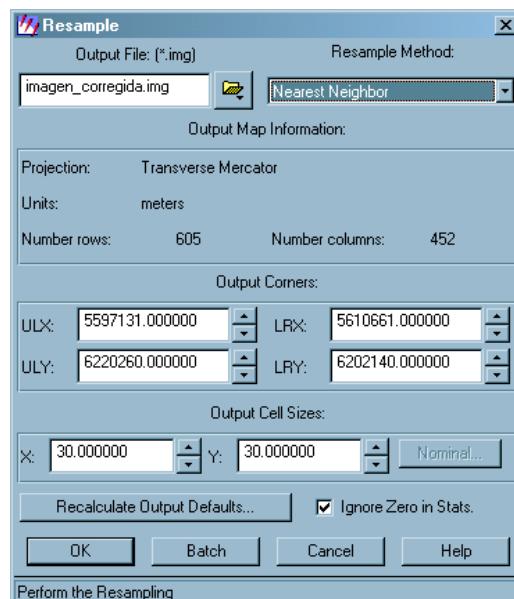
Dentro del menú *Projection*, se setea la herramienta de referencia de los GCP. De ésta manera, se utilizan los parámetros de la corrección del mapa de referencia. Se recomienda utilizar como **Proyección**: Transverse Mercator, **Sistema de referencia** y **datum**: WGS 84 y los datos de longitud y latitud de la faja correspondiente al área de estudio.



Se procede con lo que se denomina **interpolación espacial**, que consiste en elegir puntos de control observando detenidamente toda la imagen y seleccionar potenciales GCP que, en la medida de lo posible, deberán estar distribuidos alrededor de la escena y luego hacia el centro. Esto permite disminuir la distorsión al máximo. La cantidad de puntos a utilizarse para lograr una buena corrección estará definida en parte por las características del área geográfica de la imagen y estará definida antes de remuestrear la imagen. Root Mean Squared Error (RMS) es el método mas usado para evaluar la calidad del algoritmo de interpolación espacial y de los GCPs seleccionados. El **error medio estándar** (RMS) debería ser menor a 1 píxel en las direcciones X e Y, y en total. Valores altos indican una mala selección de los GCPs. Por lo cual será necesario tomar nuevos puntos y/o quitar aquellos que presenten altos valores de RMS.



Finalmente se procede con lo que se denomina **Interpolación** de los valores radiométricos: Una vez realizada la interpolación espacial es necesario establecer un mecanismo para determinar el valor de intensidad de la imagen de salida. Este proceso se denomina interpolación de intensidad (resampling), que consiste en la generación de valores de brillo para los píxeles de la imagen de salida a partir de los de la imagen deformada obtenida después de la interpolación espacial. Los métodos más usados de remuestreo son: Vecino mas cercano, Interpolación bilineal, Convolución cúbica. El criterio será **vecino más cercano**.



NOTA: Es conveniente guardar los GCP_input (de la imagen de referencia) y los GCP_output (de la imagen referenciada), así como la ecuación de transformación con los parámetros de la proyección (*.gms).

- Registración (imagen a imagen): es el proceso de alineamiento (ajuste en rotación y translación) por el cual dos imágenes del mismo path y row y de geometría similar se ubican de modo tal que se superponga una con la otra, es decir, un elemento de tierra en una imagen tenga la misma ubicación en la otra. Este tipo de corrección geométrica se realiza cuando no es necesario saber cuales son las coordenadas de mapa, pero se quiere utilizar los datos satelitales para monitoreo de los procesos que ocurren en los ecosistemas o detección de cambios en los mismos entre fechas (estudios multitemporales). Los pasos del procedimiento son similares a los de la rectificación.

Puede trabajarse con la combinación de ambos procesos. Es decir, se corregirán imágenes a partir de una imagen corregida geométricamente previamente con una rectificación (de imagen a mapa).

Corrección geométrica		
Datos de entrada	Fuente de los datos	Dato de salida
Imagen en DN (8 bits)		
Sistema de referencia		Imagen georreferenciada
Puntos GCP	Otra imagen, GPS o layers	

Para evaluar la exactitud posicional de los píxeles de la imagen georreferenciada puede usarse un conjunto de píxeles independientes, que no serán usados en la corrección que se denominan check point que brindan, junto con el RMS (una medida de la exactitud posicional de los píxeles con respecto a la imagen o mapa de referencia utilizados) y la cantidad y distribución de puntos de control utilizados, brindan una idea acerca de la calidad del proceso de geolocalización realizado.

Cuando se realiza una registración es conveniente volver a realizar una inspección visual de la imagen resultante en comparación con la de referencia. Existen diferentes alternativas visuales a realizar que brindarán también información acerca de la calidad de la imagen producida y que es conveniente realizar.

Alternativa 1. Al terminar el proceso de remuestreo, abra en un mismo viewer ambas imágenes y usando el comando *swipe*, analice la exactitud posicional entre ambas imágenes. Para esto proceda de la siguiente forma:

(1) Desplegar dos imágenes en una ventana (las dos imágenes deben tener la misma proyección). Para hacer esto en la hoja de opciones de despliegue para desplegar las imágenes indique que NO quiere limpiar el viewer (así se abren las dos imágenes juntas en el mismo viewer). Trate de abrir ambas imágenes con la misma composición de bandas.

(2) Para visualizarlas superpuestas utilizar el comando *Utility/swipe* del viewer, con el cual desplegará la imagen de "arriba" como si fuera una cortina sobre la de "abajo".

(3) Para analizar la relación de la posición de los píxeles entre las imágenes aumente el detalle lo más posible en alguna zona sin dejar de identificar de que objeto de la superficie se trata.

Alternativa 1bis. Abrir una de las imágenes (la referencia) con tres bandas cualquiera. Luego desde el viewer vaya a *Raster /Band combination* y allí coloque por ejemplo la banda 4 en el cañón rojo, nuevamente la banda cuatro en el verde y luego en el cañón azul coloque (desde ese mismo comando) la banda 4 pero de la imagen corregida. Cierre la ventana de *band combination* y analice los desfases entre ambas imágenes.

Alternativa 2. Otra alternativa para evaluar la exactitud posicional de la imagen recién corregida, es con un conjunto de puntos de control independiente, tomados a campo con GPS. Para esto abra ahora las dos imágenes en sendos viewers. Ponga un viewer al lado del otro. Luego se abre el archivo vectorial con los puntos de campo. Analice en detalle la posición de los puntos en una y otra imagen. Para moverse mejor entre las ventanas al comparar los datos puede utilizar el comando *Link viewer geographically* dentro del menú *view* del viewer.

• Corrección radiométrica

Una vez que la radiación electromagnética es generada y se propaga, interactúa con la atmósfera afectando la radiación en su longitud de onda, intensidad, distribución espectral y/o su dirección. Hay dos tipos de efectos que produce la atmósfera: absorción y dispersión. El ruido introducido por la atmósfera tiene efectos importantes en la teledetección y su remoción es necesaria.

Las correcciones radiométricas buscan mejorar la **precisión** de las medidas de reflectancia obtenidas utilizando un sistema de sensores remotos. Apuntan a eliminar ruidos en los ND (niveles digitales) de la imagen compensando las diferencias en los valores de radiancia y la conversión de los ND a valores de radiancia y reflectancia utilizando modelos de atmósfera y las geometrías de iluminación/observación.

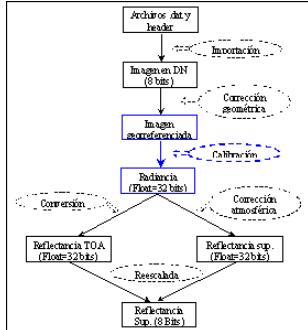
El objetivo general de las correcciones atmosféricas es convertir los valores obtenidos por un sensor remoto en valores de **reflectancia en superficie**, que consiste en la magnitud física de interés. Estos valores son necesarios cuando se trata de usar los datos satelitales para el análisis cuantitativo de las propiedades biofísicas de los elementos de la superficie terrestre e identificar y evaluar los procesos que en ella ocurren mediante la comparación de diferentes escenas en estudios temporales.

A continuación se presentan los pasos metodológicos de un modelo sencillo de corrección radiométrica (corrección atmosférica parcial). Se ha incluido, a modo de ejemplo, el desarrollo del primer paso correspondiente a la calibración, y se presentan los algoritmos que deben aplicarse. De todos modos, se incluye como parte de los documentos anexos de este protocolo los Archivos Graphical Model (*.GMD) que deben aplicarse para cada paso.

1.- Calibración: Para poder interpretar los valores de las imágenes es necesario llevar los valores de niveles digitales (DN) a magnitudes físicas de **Radiancia** como medida de la cantidad de energía que llega al satélite (Lsat) y se calcula como:

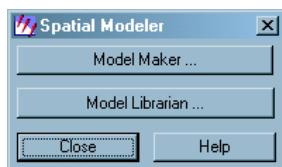
$$L = Gain \times DN + Bias.$$

A este procedimiento se lo denomina calibración de los datos. Obtener la radiancia es esencial para modelar las propiedades de reflectancia de los objetos o procesos biofísicos en la superficie y la atmósfera.



Las unidades en que se mide la radiancia en el sensor son: watts/(m²* stenradian * μm), o sea es la cantidad de energía (watts) por unidad de superficie, en cada porción del espectro (bandapectral) y considerando la distribución angular de la radiación. Se considera que los valores de radiancia que llega al satélite guardan una relación lineal con los valores de DN y, por lo tanto, gain y offset son la pendiente y la ordenada al origen respectivamente de la recta de regresión que relaciona ambas magnitudes. Los valores de gain y offset para cada bandapectral de las imágenes Landsat aparecen en el header de las mismas.

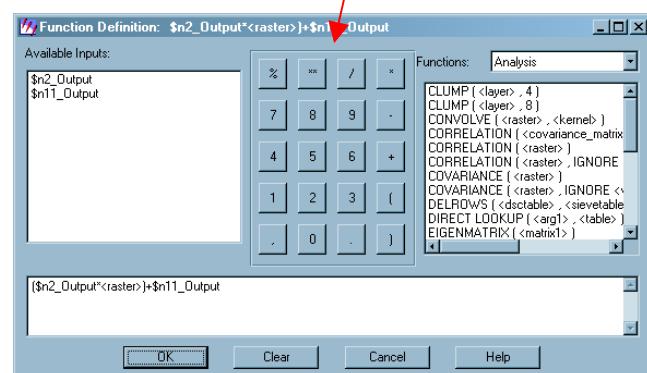
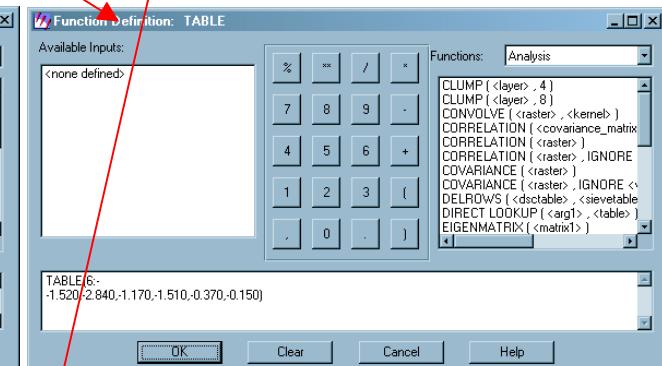
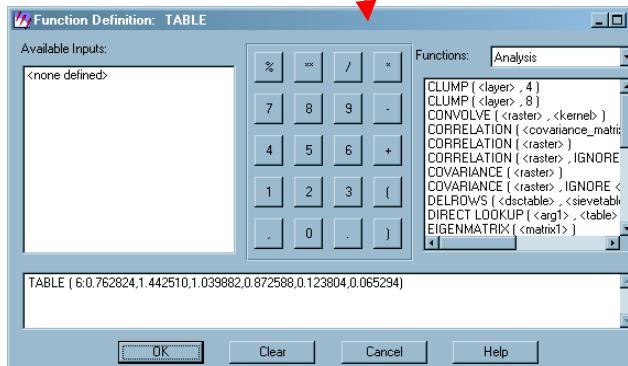
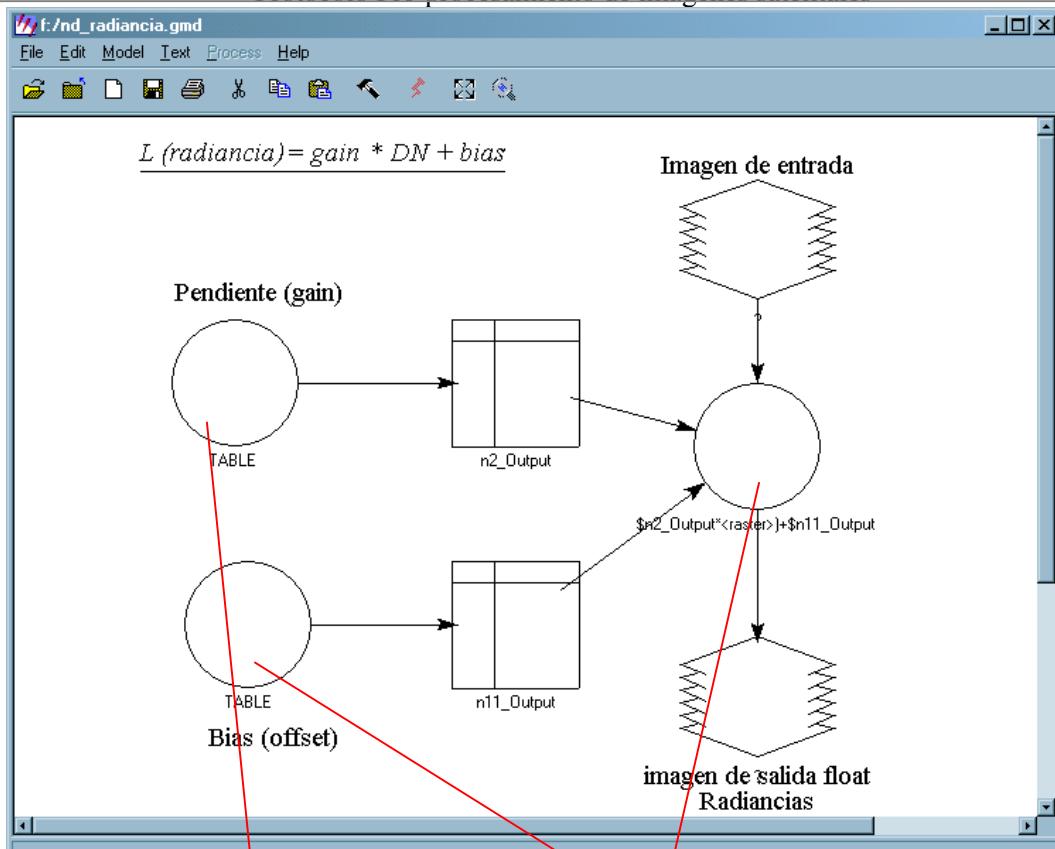
Se inicia el Model Maker dentro de Spatial Modeler del menú principal.



Para aplicar éste modelo debe abrirse el archivo denominado **DN_Radiancia.gmd** en el que se aplica la fórmula de Radiancia (L). Allí ya se han agregado los objetos (tools) raster, las tablas y funciones correspondientes. Deberá ingresar la imagen raster que se quiere calibrar. Se ingresa el número de bandas y los valores de Gain y Bias correspondiente a cada una de las bandas. Ya se ha completado con la función de adición y resta establecer el nombre de la imagen float de salida.

ADVERTENCIA: Debe tener mucho cuidado con los valores de **gain** y **bias** de los header de las imágenes ya que pueden presentar modificaciones en el tiempo. Para imágenes **Landsat 5**, por un lado, los parámetros para la calibración radiométrica se han modificado a partir del 5 de mayo de 2003 debido a cambios ocurridos en el sistema interno de calibración para determinar el Gain y Offset (Bias) a aplicarse. Y por otro lado, los valores que se presentan en el header de CONAE pueden estar en distintas **unidades**. Ver en el anexo ejemplos de header de Landsat 5 y el procedimiento a realizar.

NOTA: Se ha incorporado en el anexo 1 los valores de Lmin, Lmax, Gain y Biases correspondientes a antes y después del 4 de mayo de 2003 para Landsat 5 surgidos del documento del USGS (Revised Landsat 5 TM Radiometric Calibration Procedures and Post-Calibration Dynamic Ranges). Pueden utilizarse directamente estos valores.



Obtención de radiancias (Calibración)		
Datos de entrada	Fuente de los datos	Datos de salida
Imagen en DN (8 bits)		
Gains - $W/(m^2 \cdot sr \cdot mm)/DN$	Header	Imagen float de radiancia (32 bits)
Bases - $W/(m^2 \cdot sr \cdot mm)/DN$	Header	$watts/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$
Función ($L = Gain * DN + Bias$)		

Puede verificarse que se ha realizado correctamente la calibración, visualizando la imagen de salida. Luego se analizan los datos de la imagen desde el *Layer info*, se despliega el histograma que muestra el número de píxeles que tienen un valor semejante en la imagen. Se analiza su forma comparada con la de los datos de contejo, con la cual debe mantener coherencia.

Extraiga con el comando *cursor* valores “representativos” de radiancia, y con el comando *profile tool (spectral)*, obtenga el patrón espectral de un área que reconozca como vegetación, de ser posible, con alto grado de cobertura, y otras de suelo y de agua (de ser posible). Esto servirá para verificar más adelante, las siguientes correcciones.

NOTAS: En el ANEXO se ha agregado histogramas y patrones espetrales de cada una de las imágenes producidas en cada una de las etapas del pre-procesamiento.

2.- Calculo de reflectancias en el tope de atmósfera (TOA): El cálculo de reflectancias al tope de la atmósfera indica la relación existente entre la energía incidente y la **reflejada**. No posee unidades al ser un cociente de irradiancias (se lo puede expresar en porcentajes) y se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$\rho_{TOA} = \frac{\pi L_{sat} d^2}{(E_0 \cos \theta_z)}$$

donde:

π = Sr (Hipótesis de blanco lambertiano)

L_{sat} = radiancia total medida por el satélite a tope de atmósfera ($L_{sat} = DN \cdot gain + offset$)
 d^2 = distancia tierra sol en unidades astronómicas, y d se calcula como:

$$d = 1 - 0.0167 \cos(2\pi(\text{día juliano} - 3)/365)$$

E_0 = irradiancia solar espectral a tope de atmósfera ($watts/m^2 \cdot \mu m$)

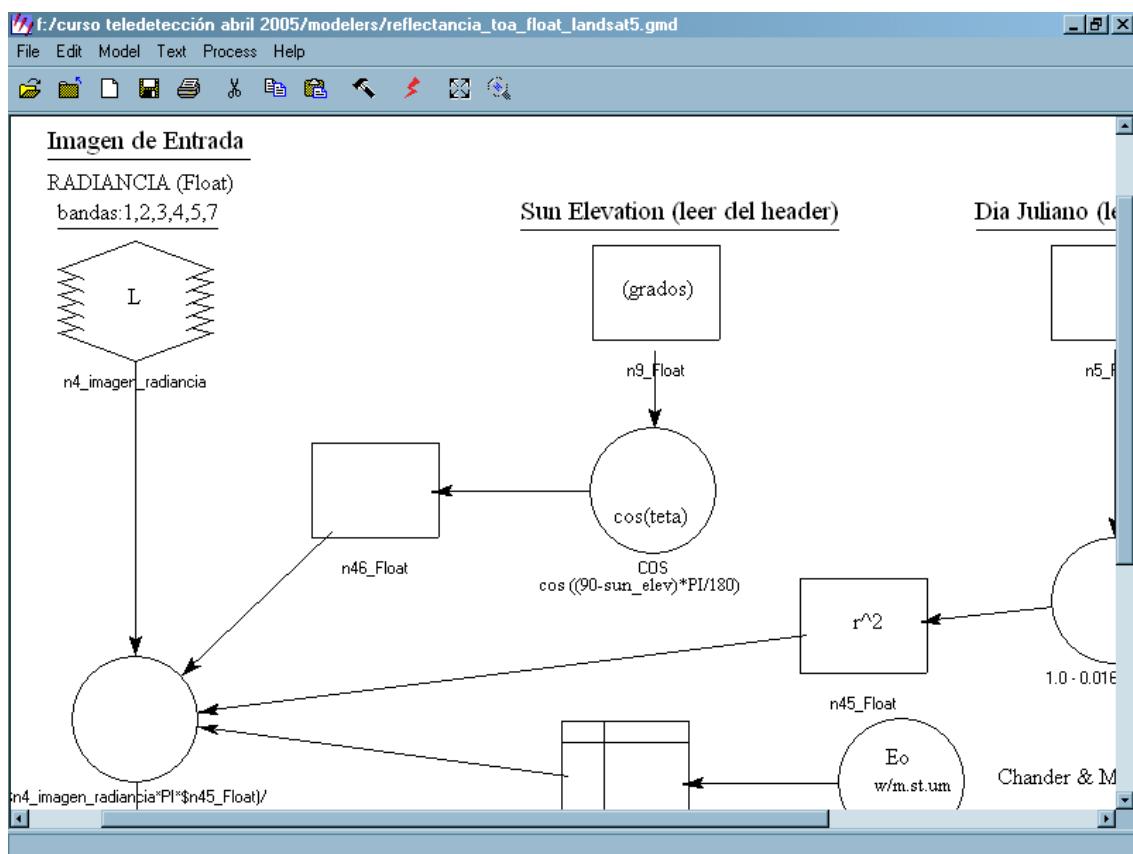
θ_z = ángulo cenital solar

Nuevamente desde el Model Maker se despliega el modelo **reflectancia_TOA_reales.gmd**. Se define la imagen de entrada (imagen float de radiancia). Se completa en el modelo los valores requeridos a partir de los datos almacenados en la planilla de datos Excel (planilla_datos.xls). Para obtener d (Distancia Tierra-Sol) se debe ingresar el Día Juliano. Esto puede calcularse en la misma planilla.

E_0 = Irradiancia solar espectral a tope de atmósfera. Varía de acuerdo al sensor. A continuación se presentan los valores de Irradiancia solar espectral para Landsat 5 y 7.

Irradiancia espectral solar (E_0) (watts/(m ² * μm))		
Banda	Landsat 7ETM+	Landsat 5 TM
1	1969.000	1957
2	1840.000	1826
3	1551.000	1554
4	1044.000	1036
5	225.700	215
7	82.07	80
8	1368.000	---

Para obtener θ_z (ángulo cenital solar = ángulo de elevación – 90), se debe ingresar el ángulo de elevación solar. Finalmente se define el nombre de la imagen de salida float.



Reflectancia TOA		
Datos de entrada	Fuente de los datos	Dato de salida
Imagen Float de radiancia $watts/(m^2 . sr . \mu m)$		
Angulo de elevación solar	Header	Angulo cenital solar
Día Juliano	Excell	Distancia tierra sol
Irradiancia espectral solar $(watts/(m^2 . \mu m))$	Tabla	
Función $\rho_{TOA} = \pi L_{sat} d^2 / (E_0 \cos \theta_z)$		Imagen Float de reflectancia TOA (Sin unidades)

Para verificar que se ha realizado bien este paso, observe los valores de reflectancia obtenidos. Estos deberán ir de 0 a 1 y nuevamente, extraiga valores “representativos” de reflectancia, y obtenga el patrón espectral de un área que reconozca como vegetación, de ser posible, con alto grado de cobertura, y otras de suelo y de agua (de ser posible). Podrá comparar estos resultados con los valores ejemplo del Anexo 2.

3.- Corrección atmosférica: El cálculo del valor de la reflectancia en superficie implica introducir algún tipo de corrección sobre el efecto que imprime la atmósfera sobre la señal recibida por el sensor (en términos de scattering y absorción).

Aquí se presenta un método para corrección de la reflectancia de la superficie considerando el efecto del scattering molecular (Rayleigh) que llega al sensor como producto de la interacción de la radiación EM con los componentes moleculares de la atmósfera.

Para ello es necesario calcular los valores correspondientes a la **radiancia Rayleigh** para la fecha de la imagen y para cada una de las bandas.

$$\rho_R = \frac{\pi (L_{sat} - L_R) d^2}{(E_0 \cos \theta_z)}$$

donde:

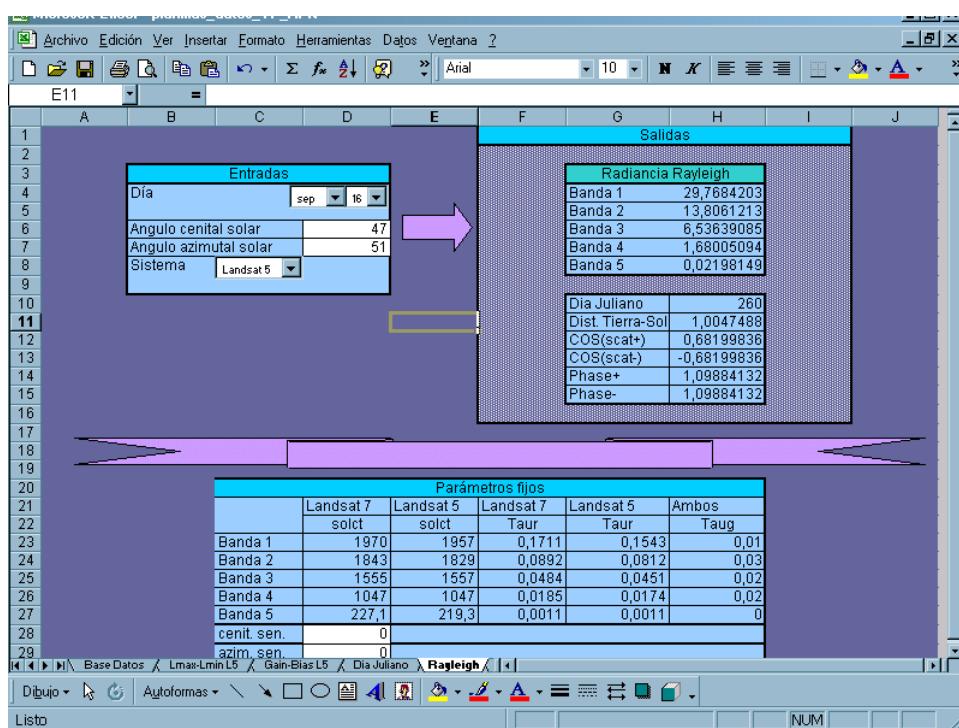
π = Sr (Hipótesis de blanco lambertiano)

L_R = radiancia Rayleigh

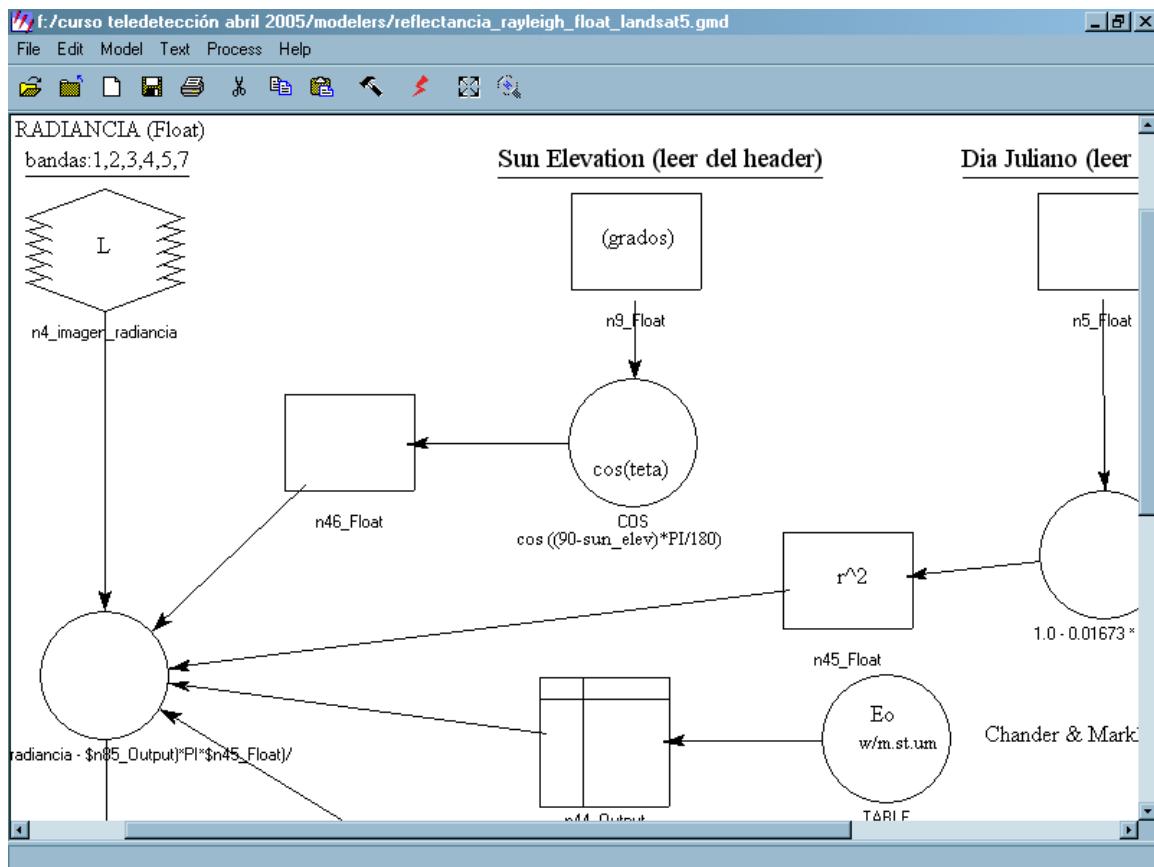
E_0 = irradiancia solarpectral a tope de atmósfera (watts/m²*μm)

θ_z = ángulo cenital solar

El modelo resta los valores de dispersión Rayleigh para cada banda sobre la imagen de reflectancias. Deben calcularse los valores correspondientes a la radiancia Rayleigh para la fecha de la imagen y cada una de las bandas. Para esto se utiliza la hoja de cálculo llamada **Rayleigh** de la planilla **planilla_datos.xls** usando para esto los datos de fecha, ángulo cenital solar y el sistema, correspondientes a la imagen.



A partir del Model Maker se despliega el modelo **reflectancia_rayleigh.gmd**. Se defina la imagen de entrada (imagen float de radiancia) y se completa en el modelo los valores requeridos a partir de los datos almacenados en planilla_datos.xls. Se ingresan los datos del Angulo de elevación solar, Día Juliano y Radiancia Rayleigh, y se da nombre a la imagen de salida.



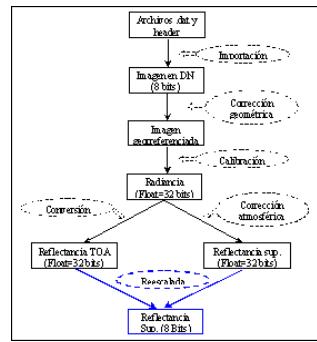
Corrección por Rayleigh		
Datos de entrada	Fuente de los datos	Dato de salida
Imagen float de radiancia <i>watts/(m² . sr . μm)</i>		
Angulo cenital solar	Header	
Día Juliano	Header - Excell	Distancia tierra sol
Irradiancia espectral solar <i>(watts/(m² . μm))</i>	Tabla	
Radiancia Rayleigh <i>watts/(m² . sr . μm)</i>	Excell	
Función: $\rho_R = \pi(L_{sat} - L_R)d^2/(E_0 \cos\theta_z)$		Imagen Float de reflectancia de superficie corregida por Rayleigh (Sin unidades)

Para verificar que se ha realizado bien este paso, observe los valores de reflectancia obtenidos. Estos deberán ir de 0 a 1 y nuevamente, extraiga valores “representativos” de reflectancia, y obtenga el patrón espectral de un área que reconozca como vegetación, de ser posible, con alto grado de cobertura, y otras de suelo y de agua (de ser posible).

Los valores de reflectancia Rayleigh deberán ser menores que los de reflectancia TOA, más que nada en las bandas correspondientes al espectro visible (Observe valores ejemplo en el anexo).

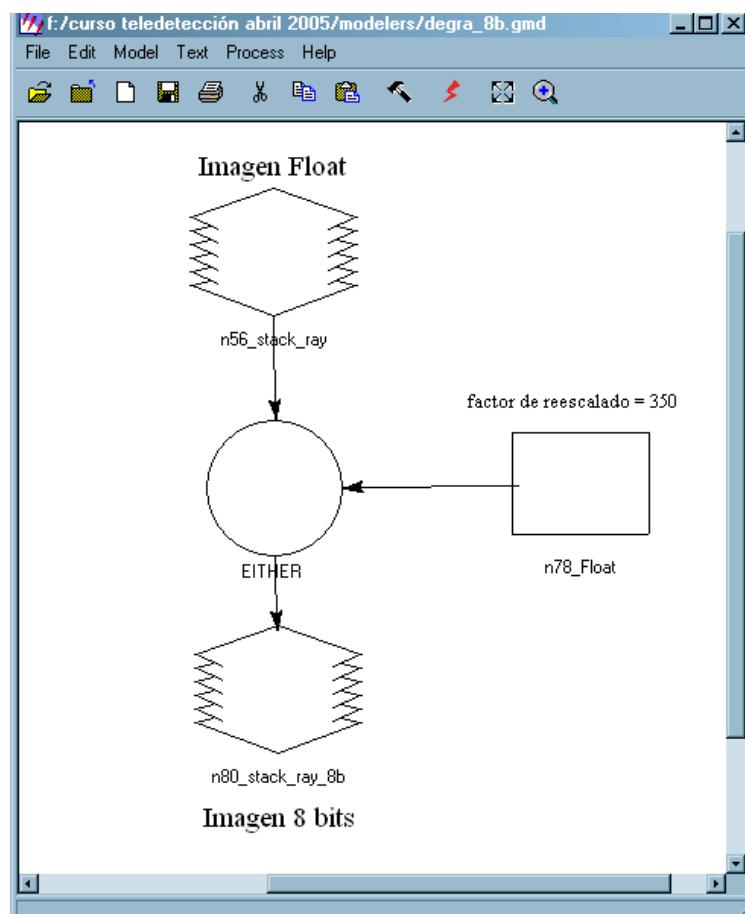
4.- Degradación de imagen float a 8 bits con reescalado de los datos de reflectancia: Usualmente, las imágenes Landsat son utilizadas en un formato degradado a 8 bits (no en reales) debido a que de esta manera ocupan menos espacio de memoria en la PC y permite acelerar la manipulación de las mismas.

Para degradar la imagen de entrada de 32 bits en reales a 8 bits, cada valor de reflectancia debe ser multiplicado por un escalar de forma tal que los valores que se obtengan estén distribuidos en un rango entre 0 y 255.



Sin embargo, debe considerarse que si el escalar elegido es tal que los valores resultantes de la multiplicación sean superiores a 255, entonces el histograma original será truncado con una consecuente pérdida de valores. El criterio para elegir un escalar entonces debe considerar que no se pierda información. Para lograr esto en primera instancia debe inspeccionarse el **rango de distribución** de datos de todas las bandas. Usualmente el rango de las infrarrojas suele ser el más amplio y el escalar se elige en base a estas bandas.

En caso de tratarse de una serie de tiempo, es decir para un análisis multitemporal con más de una imagen, se deberá elegir la imagen considerando la que posea el coeficiente apto para todas, ya que **todas** deberán multiplicarse por el **mismo escalar**. Esta suele ser la imagen de verano, por lo cual el escalar se elige en base a las bandas infrarrojas de la imagen de verano con el rango de distribución más amplio. No es recomendable utilizar una imagen de invierno.



Degradación a 8 bits		
Datos de entrada	Fuente de los datos	Dato de salida
Imagen float de reflectancia (32 bits) (Sin unidades)		Imagen de reflectancia en 8 bits (Sin unidades)
Factor de reescalado	Imágenes	

Observe que la reflectancia ahora deberá tomar valores entre 0 y 255.

NOTA: Si necesita recuperar el valor real de reflectancia, lo que debe hacer es dividir el valor de la imagen de salida por el factor de reescalado elegido.

AGRADECIMIENTOS

Quisiéramos expresar nuestro agradecimiento al Grupo de Investigación de Teledetección del Instituto de Astronomía y Física del Espacio (IAFE), por los aportes técnicos para el desarrollo del documento y por la realización de los archivos correspondientes a los modelers y excell.

Parte del personal técnico de Sistema de Información de Biodiversidad realizó la estructuración del documento final, con la valiosa contribución de la especialista del IAFE, Haydée Karszenbaum.