

USO DE LA TELEDETECCIÓN EN LA ENSEÑANZA DE LA GEOLOGÍA DE LA TIERRA, LA LUNA Y MARTE (empleo de técnicas especiales en situaciones de prácticas)

Use of the Remote Sensing, in teaching the Geology, of the Earth, Moon and Mars.

José Tortajada (*)

RESUMEN:

El uso de la teledetección espacial lo aplicamos dentro de la asignatura de Geología, así como en las asignaturas de Astronomía, Medio Ambiente y Energías Renovables y forma parte de algunas de las actividades prácticas que llevamos realizando con nuestros alumnos, usando el ordenador para realizar el tratamiento digital de datos, usando las imágenes obtenidas desde el espacio de la Tierra, la Luna y Marte.

ABSTRACT:

The use of the spatial remote sensing in teaching is being applied in the subject of geology and in the subject of astronomy, natural environment and renewable energies, and is part of some of the practical activities that we are carrying out with our pupils who are using the computer for doing the digital treatment of data obtained from the images taken the space of the space of the Earth, the Moon and Mars.

Palabras clave: *Teledetección, programas de ordenador, geomorfología, actividades prácticas, astronomía.*

Keywords: *Remote Sensing, software, geomorphology, practical activities, astronomy.*

INTRODUCCIÓN

El objetivo de introducir la teledetección, en la educación escolar del Bachillerato lo hacemos, como una técnica de investigación, y como un estudio de carácter práctico aplicado a nuestro entorno además de como una herramienta de aplicación de metodología científica y de los medios informáticos. Actualmente al estar iniciándose en nuestro centro la Educación Secundaria Obligatoria y las nuevas asignaturas de la Reforma, nos lleva a implantarla como una de las más importantes innovaciones pedagógicas y de aplicación de técnicas de trabajo de los profesionales dentro de la investigación geológica, ambiental y astronómica, y que es una importante fuente de formación, motivación y estímulo en el alumnado.

El término *Teledetección*, expresa el hecho de conseguir la detección o delimitación de objetos, seres o cualidades de los mismos a distancia. Básicamente se usan las fotografías aéreas o de satélite y se combinan con los análisis visual, analógico y digital, usando los ordenadores con las mismas.

La teledetección espacial, es una de las técnicas derivadas de la investigación espacial y del lanzamiento de satélites, que mejores repercusiones está produciendo sobre el medio ambiente, el estudio e investigación del planeta Tierra, en las ciencias que lo estudian: Geología, Geografía, Economía, Agricultura, Biología, Ecología, etc. Actualmente está permitiendo la evaluación de cosechas regionales y mundiales, el estudio de la climatología mundial, la

investigación de la capa de ozono, de la contaminación mundial, la detección de la deforestación, de los efectos de la lluvia ácida, de incendios forestales, de yacimientos minerales y arqueológicos, etc.

Igualmente se aplica en el estudio de los demás cuerpos celestes, siempre y cuando sus imágenes nos muestren datos suficientemente ampliados y de detalle, tal y como sucede con las obtenidas de muchos de los planetas con las sondas espaciales (Voyager, Mariner, Galileo, etc.) y con los telescopios terrestres y espaciales (HST); por eso nosotros también las usamos para conocer la geología y geografía de la Luna y Marte, desde un punto de vista geológico y astronómico.

Esencialmente la teledetección espacial, tiene una serie de ventajas frente al uso de las fotografías aéreas, estas consisten en las ventajas que provienen de la observación desde la lejanía del espacio (entre los aproximadamente 700 km del satélite Landsat y 800 km del NOAA y el SPOT) que nos permite tanto adquirir imágenes reales de superficies gigantescas (ej.: 1:1.000.000 o todo el planeta), así como guardarlas en sistemas de almacenamiento digital (informático) que permite un tratamiento posterior, pero una de las grandes ventajas es debida al hecho de emplear bandas del espectro de la luz no visibles para el ojo humano, especialmente el Infrarrojo (que nos permite detectar p.ej.: el vapor de agua, la humedad, algunos minerales, etc.), además de que al poder combinar estas bandas entre sí y a nuestro antojo, nos permite obtener aún una mayor información del objeto obser-

(*) Profesor del Instituto de Enseñanza Secundaria "Complutense". C/ Valladolid nº 1 CP.: 28804 Alcalá de Henares. Miembro de AEPCT, AAM (Agrupación Astronómica de Madrid) y AAS (Agrupación Astronómica de Sabadell).



Imagen de la Luna, con zoom aplicado del programa Prism de tratamiento de imágenes astronómicas obtenidas con cámaras CCD. Este es un programa muy completo de análisis y tratamiento, que usamos en el centro.



Imagen de la Luna, visualizada con el programa de la cámara CCD-ST4 de Lynx, en el que se ha realizado la imagen al realizar un negativado de la imagen y otros tratamientos citados en el texto de la misma.

vado y conseguir la detección y evaluación de múltiples recursos (p.ej.: distinguiendo los tipos de rocas, de suelos, el riesgo de incendios, los tipos de vegetación, etc.), igualmente nos permite obtener datos estadísticos, de superficies ocupadas (por cultivos, bosques, etc.), detectar estructuras geológicas, medir las cosechas, detectar plagas y enfermedades, etc.

¿COMO SE OBTIENEN LAS IMÁGENES DE LOS SATÉLITES PARA USAR EN TELEDETECCIÓN?

Hay varias formas de conseguirlas, desde adquirirlas en las compañías comerciales, comprarlas al Instituto Geográfico Nacional, hasta conseguirlas a través de INTERNET, así como también se pueden digitalizar a partir de fotografías en papel. Nosotros normalmente las conseguimos de Internet para el uso escolar, nos las proporcionan las Webs (WWW de Internet)¹ de la NASA, la ESA y otras instituciones que permiten su uso gratuito para la en educación y la divulgación astronómica. Además de por estos sistemas, las imágenes de la Luna las podemos obtener con la cámara CCD del centro (una ST-4).

TRATAMIENTO DIGITAL DE LAS IMÁGENES

El tratamiento digital de estas imágenes tiene el fin, entre otros de poder observar mayores detalles que los que se ven a primera vista, para llevarlo a

cabo se pueden realizar con ellas operaciones de sumas, restas, cocientes, etc. entre los valores de sus bandas, también podemos perfeccionar sus datos (con correcciones, contrastados, transformaciones, etc.) y podemos adaptarlos a nuestras necesidades (p.ej: para ver los índices de vegetación, en la investigación de minerales), etc.

Para llevarlo a cabo con nuestros alumnos, usamos varios programas: LANDSAT, PAINT-BRUSH, DELUXEPAINT, PHOTOSHOP, PRISM, etc. Pero para que estos programas admitan las imágenes, es necesario que sean compatibles con el software, y para transformarlas usamos el programa Graphic Workshop (que admite 18 tipos, como GIF, BMP, TIFF, PCX, etc.) o también podemos usar las utilidades que en este sentido algunos tienen (p.ej.: LANDSAT) para poder adaptarlas a su formato.

Cuando ya hemos obtenido las imágenes en el formato necesario, podemos realizar el tratamiento digital de las mismas. Así y para llevar a cabo esta labor *rigurosamente*, usamos el programa de dominio público **Landsat V.4.4** (USMA de EEUU)²

USO DEL PROGRAMA LANDSAT

Este programa se basa en el tratamiento de las imágenes obtenidas por los satélites de la serie Landsat, imágenes que se distribuyen en 7 valores³ digitales para cada pixel.

En consecuencia cada "punto" o *pixel* de la

(1) Las direcciones de internet, donde podemos obtener algunas de estas imágenes, son las siguientes:

CDROMS TOMS: <http://jwocky.gsfc.nasa.gov/n7toms/v7.html> i http://daac.gsfc.nasa.gov/DAAC_DOCS/daac_homo.html

METEOSAT: <http://www.uva.es/geografia/geo.htm>

LANDSAT: <http://www.uva.es/geografia/>

NASA: Marte, Luna y otros planetas: <http://www.gsfc.nasa.gov>

NASA: de la Tierra del satélite NOAA y su sensor AVHRR, en la dirección: <http://seawifs.gsfc.nasa.gov/scripts/SEAWIFS.html>

(2) Programa de dominio público que Vds. me pueden solicitar, enviándome un disco virgen y un sobre con su dirección y los sellos necesarios para reenviárselo.

(3) Nota al pie de la siguiente página.

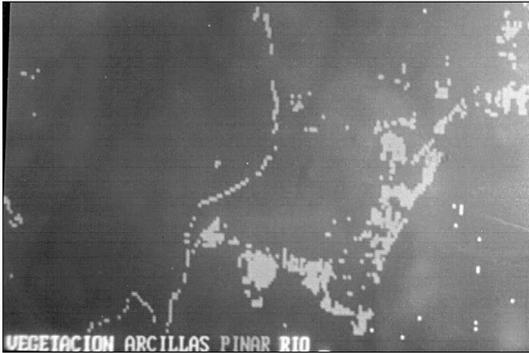


Imagen Clasificada, siguiendo el método supervisado, de Alcalá de Henares con el programa Landsat V.4.4, en la que se distingue la presencia de vegetación verde en las laderas de los cerros (Pinares) y en el RIO, en las riberas del río, correspondiendo el pinar al texto: VEGETACION. También se detectan algunas manchas verdes aisladas.

imagen se caracteriza por tener un color visible formado por los espectros del azul verde y rojo (RGB puestos al revés) y por 4 valores del infrarrojo que permiten ver valores invisibles al ojo humano.

La determinación de la geomorfología y de los suelos, es factible y de hecho nosotros la usamos, esta técnica presenta un magnífico ejemplo en el trabajo de campo de Labrandero et al. (1980)⁴, que usando la fotografía del satélite Landsat de Madrid, identifica las formas del relieve, las unidades fisiográficas: del páramo, escarpes (de la Facies Alcalá o Unidad Alcalá), glaciares y terrazas, calizas y margas, margas yesíferas, terrenos aluviales, etc., lo que incluyendo las relaciones entre bandas que se ofrecen y la razón de Vis./ind., permitirán extrapolar estos estudios a nuestro ámbito escolar, tanto para analizar el relieve, como la geomorfología y la petrología local.

(3) Las cuales pertenecen a las siguientes bandas espectrales, para el "sensor" TM⁸:

BANDAS	LONGITUD DE ONDA	TIPO DE LUZ
1	0,45 - 0,52 micrómetros	AZUL
2	0,52 - 0,60 "	VERDE
3	0,63 - 0,69 "	ROJO
4	0,76 - 0,90 "	INFRARROJO PROXIMO
5	1,55 - 1,75 "	NFRARROJO MEDIO
6	10,4 - 12,5 "	INFRARROJO TÉRMICO
7	2,08 - 2,35 "	INFRARROJO MEDIO

(*) Este satélite posee tres sensores más: MSS y RBV, además del TM. Sus diferencias se encuentran no sólo en las bandas que usan, sino además en el tamaño del pixel más pequeño, que es para MSS de 79 m, del RBV de 40 m y del TM 30 m

(4) Tomado de Labrandero, J.L., Guerra, A. y Palou, F. (1980): Análisis de datos Landsat aplicado al reconocimiento de suelos: método supervisado, (y de igual título del) método no supervisado. Anales de Edafología y Agrobiología, vol. 39.

Unidades Fisiográficas:	R.B.5	R.B.7	B.4	B.5	B.6	B.7	V/I
Páramo alcarreño	56	27	27	35	59	28	0,96
Facies Alcalá en llano I	64	29	26	37	44	18	1,05
Escarpes Facies Alcalá	36	18	25	32	40	17	1,01
Glaciares y terrazas (*)	67	34	40	67	78	37	1,00
Calizas y margas	68	32	42	65	74	36	1,09
Margas yesíferas	64	29	26	37	44	18	1,05
Aluviales	31	28	22	24	52	21	0,70

Código de las abreviaturas usadas: R: Reflectancia, B: Banda, V/I relaciona bandas visuales y no visuales, los números muestran las bandas numeradas.



Combinación de las bandas 3, 4, 5 del satélite Landsat, para observar en esta imagen de agosto de 1984, la distribución de las distintas cubiertas del suelo. Se aprecia claramente el río con sus meandros, los cerros a la derecha con su cubierta vegetal (en negro), las zonas acarcavadas en grises, los páramos y superficies desprovistas de vegetación en blanco, la ciudad con su urbanización de calles y carreteras, los campos cultivados en sus diferentes fases de maduración, obras de carreteras, etc.

Las combinaciones de bandas que usamos con los alumnos son

	R	G	B	(vistos en monitor)
Distinción del pinar del regadío:	1	2	3	(max. 2 y 3 Pinar)
Distinción del pinar del secano:	4	5	3	(max de 3 pinar)
Agua en el suelo del regadío:	2	1	4	(max. de 2 agua)
Zonas quemadas:	4	7	5	
Rocas alteradas:	5	7		
Rocas limoníticas:	3	1		
Distinción de rocas de vegetación:	5	4		
Distinción de suelos:	3	2	1	

USO DEL PROGRAMA LANDSAT

Para utilizar este programa en primer lugar, hay que tener en cuenta que es un programa para PC, que funciona en MS-DOS y que necesita pantalla EGA o VGA, cómo mínimo, además se ha de tener en cuenta si lo tenemos cargado en el disco duro, la red o en un disco pequeño (3 1/2 ó 5 1/4).

El programa de tratamiento digital de imágenes de satélite *Landsat*, que es un programa de Dominio Público y de distribución gratuita (no comercial). Que sin embargo, nos permite realizar gran cantidad de operaciones con la imagen: visualización con una, dos o tres bandas en BN o color, realización de histogramas, expansión del contraste, filtrajes, cocientes entre bandas, estadísticas, clasificación manual y automática, correcciones geométricas, ecualizaciones, análisis de componentes principales y análisis no supervisado.

El programa *Landsat V.4.4*, asigna a las bandas seleccionadas los colores azul (blue), verde (green) y rojo (red), en el orden que se le proporcionan, así que si el color fuese el real o natural, deberíamos haber seleccionado las bandas 1, 2 y 3, pero en este caso hemos elegido el **Falso Color** (RGB=5/4/3), que permite ver algo mejor o complementar lo que mostraría una imagen en color natural. Concretamente se distingue así mejor la vegetación natural de las zonas secas o sin vegetación y de hecho esta es una de las razones por las que el Instituto Geográfico Nacional (IGN) edita las hojas de las fotografías Landsat (1:100.000) con esta composición 5/4/3 que en este programa son asignadas en el orden inverso (3/4/5=G,B,R).



Combinación de las bandas 3, 5, 4 del satélite Landsat, en la que se distingue en negro las zonas con algo de humedad y próximas al río, aunque no sean zonas arbóreas y donde los pinos aún conservan algo de esta agua en el suelo. También se aprecian detalles de la geomorfología de los arroyos y torrenteras de las laderas de los cerros yesíferos de Alcalá de Henares.

A los alumnos se les solicita que en primer lugar estudien y copien los Histogramas, los cuales posteriormente podemos analizarlos, después y una

vez obtenida la imagen se les pide que con una transparencia proporcionada por el profesor, **calque** las zonas en colores del río y las zonas cultivadas, otra con los tipos de suelos, de minerales, rocas, etc., en función de las combinaciones de bandas utilizadas.

CLASIFICACIÓN DE LAS ÁREAS OBSERVADAS

El programa Landsat además nos permitirá realizar lo que se llama una clasificación *Supervisada*, de la imagen y determinar con claridad que zonas corresponden al río, al roquedo, los suelos, la vegetación húmeda, los matorrales, los cultivos, las poblaciones, etc., y trazar de forma semiautomática el mapa de estos elementos del área estudiada. Para realizar un mapa de las distintas clases de cubiertas o materiales, lo ideal es seleccionar una combinación de colores apropiada y la mejor parece ser la 3/4/5 (R-5,G-4,B-3) que es lo siguiente que le proponemos que obtenga el alumno.

En este caso le propongo que usen la siguiente composición de clases por colores: azul para el río, verde para la vegetación húmeda, marrón en las rocas sin cubierta vegetal de las laderas, amarillo en los cerros y rojo para las poblaciones.

Para que el profesor le puntúe el trabajo realizado, el alumno deberá repetir (si le hace falta) la clasificación hasta que sea la mejor que el considere y entonces la guarda con un código o número.

ALUMNOS DE GEOLOGÍA:

Las diferentes combinaciones de bandas pueden asignar a las imágenes multiespectrales de satélite la posibilidad de determinar estados de erosión, tipos de suelos presentes y de encontrar la distribución de rocas y minerales desde el espacio.

En cuanto a la erosión, es algo fácil de distinguir en las composiciones de bandas, así entre la banda 4 (infrarrojo) y las 1 o 2, hay una enorme diferencia de la reflectividad, con lo que si se compone una imagen 1/2/4, se podrá distinguir bien las zonas erosionadas.

La distinción de tipos de suelos también se puede llevar a cabo, en especial entre las bandas 5 y 6, pero en Alcalá también nos puede servir la composición: 3/2/5.

Finalmente usamos las bandas 4 y 5, en la secuencia 4/5/5 para distinguir los cerros, los glaciares y las laderas empinadas de las zonas de las terrazas que aparecerán en color azul, por lo que se producirá de nuevo una imagen clasificada con estas características.

ALUMNOS DE MEDIO AMBIENTE:

En este caso tratamos de distinguir la presencia de árboles de diversos tipos y de las zonas de pastizales, regadíos, matorrales, etc. A tal efecto se propone que se realice una combinación de bandas es-

pecífica para separar cada tipo de vegetación. El profesor le proporciona una copia impresa de la pantalla de composición 3/4/5 o de la fotografía adquirida, en la que tradicionalmente se usa la composición de falso color del proyecto Corine (*Land/Cover, de la CEE.*), con ella el alumno compara las siguientes combinaciones de bandas que sirven para diferenciar las plantas buscadas:

COMBINACIÓN(Landsat) Plantas: azules Plantas: rojas Pl.:verd.

1/2/3	regadío	Pinar	Pinar
4/5/3	secano	secano	Pinar
2/1/4	agua	regadío	regadío

Con sus observaciones, dibuja la distribución de la vegetación en el mapa en una transparencia con los rotuladores prestados por el profesor.

USO DEL PROGRAMA DP (DELUXE PAINT II) PARA EL ESTUDIO DE MARTE.

En este segundo caso vamos a utilizar un sencillo programa de tratamiento de imágenes, que aunque en realidad es de “dibujo” sin embargo permite realizar algunos tratamientos muy interesantes.

Vamos a iniciar el trabajo inicial con una imagen de Marte archivada en el ordenador. Una vez captada una imagen como la presente, se explica al estudiante que en este caso tiene otro *formato* de imagen, esta posee 256 posibles colores, en cada uno de los 64.000 píxels de que está compuesta la imagen (320 * 200 del formato MCGA). Estos colores, en la imagen presente han restaurado la imagen que podríamos haber visto a través de una fotografía de la zona, pero contienen mucha más información de la que en este primer vistazo se puede observar. Así cada pixel tiene un valor de entre 0 y 255 tonos de **gris**, a los que se les han atribuido un color similar al aspecto visual que tendría el planeta. En segundo lugar se le muestra al alumno el aspecto de la imagen tal y como lo veríamos si a cada nivel de gris se le asignara un color diferente.

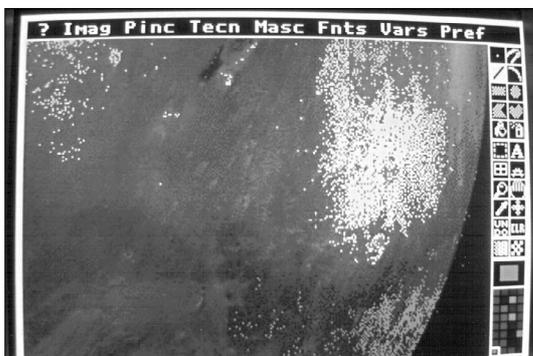


Imagen de Marte con un tratamiento digital ya realizado de los aplicados por los alumnos, se observa la delimitación de la zona deprimidas o de valles, donde las posibilidades de albergar humedad son mayores.

Para extraer toda la información contenida en cada pixel se puede representar en falsos colores la imagen, usando dos tipos de rasgos de los píxels, son:

RGB: que determina la cantidad de rojo (Red), verde (Green) y azul (Blue) que tiene cada color, y que si el punto fuera blanco sería el 100 % de cada uno, si fuera negro el 0 % de los tres colores y si fuera rojo, el 100 % de R, etc.

HSV: que define el **tono** (H), la **saturación** (S) y la **intensidad** (V), que ejercen su influencia en el tono del color, en la pureza del mismo o saturación y en el brillo o intensidad del mismo, que son rasgos de especial interés en las aplicaciones de la geología planetaria de regiones áridas.

Esto se le propone al estudiante que lo pruebe con Marte. Así por ejemplo subiendo la saturación para que sea alta, distinguimos las zonas donde el suelo está húmedo (de agua o CO₂) y baja si esta seco. Entonces se pueden distinguir bien las zonas polares de las más secas y que trace sobre la *transparencia*, el mapa de la humedad de Marte.

Después de entrenarse en el uso de este programa, se podrá tratar digitalmente todas y cada una de las imágenes de Marte, tratando con ello de realizar una investigación científica, en que podría el mismo determinar sus objetivos o seguir algunos de los que yo le propongo seguidamente:

- 1.- Búsqueda del relieve del monte Olimpo o de estudio de los volcanes de Marte en las demás imágenes.
- 2.- Identificación de los canales de erosión o de lavas en Marte.

ESTUDIO DE LA LUNA CON CCD

Este tercer tipo de aplicación, la hacemos sobretudo con los alumnos de astronomía, aunque otras imágenes de la Luna, se pueden tratar igualmente con el programa Deluxe Paint o con los demás programas antes mencionados. El interés de realizar la aplicación con este software, está basado en que este tipo de programas está especializado en la mejora e investigación de las imágenes del espacio.

En primer lugar, se pide al estudiante que copie los datos que el ordenador muestra de la imagen (tiempo de exposición, tamaño en píxels, si se ha obtenido por suma de imágenes, el tipo de telescopio, los datos de la cámara CCD como temperatura, etc.) para compararlos con el de otras que usaremos.

En segundo lugar se le solicita que represente el histograma, primero escalado (con distribución artificial de los píxels), lo copia y después con la distribución original, explicando el profesor las diferencias entre uno y otro.

Seguidamente deberá presentar la imagen en el monitor en el formato: “*photo*”, para con la ayuda del profesor y mapas lunares localizar la zona estudiada. A continuación el alumno dispondrá la imagen para el “*análisis*”, contrastándola en primer lugar y después sin contraste.

Con cada labor de “transformación”, de la imagen, se le pide al alumno que mejore y anote en la fotografía o impresión de la imagen que se le proporciona, los detalles de nuevos cráteres, fallas y mantos de lava que se detectan.

Igualmente el estudiante aplica diversos “zooms”, para aumentar y distinguir el detalle de diversas zonas de la imagen. Además se deberán aplicar “suavizados” y contrastados de la misma, así como usando el negativo podrá distinguir mejor algunos detalles. En definitiva aplica en esta actividad múltiples tratamientos de la imagen, con el objeto de estudiar mejor la zona.

Finalmente se le enseña a tomar imágenes CCD, en que después de haberlo visto hacer al profesor y de una introducción teórica, en una de las noches de observación lunar de la asignatura, con el telescopio

ya “puesto en estación” por el profesor, el alumno podrá controlar la toma de la cámara CCD, a través de un ordenador portátil y sumar varias imágenes de la Luna, realizando varias pruebas de esta labor propia del astrónomo profesional.

BIBLIOGRAFÍA

Chuvieco, E. (1990). Fundamentos de Teledetección Espacial. Ed. Rialp.

Gutierrez Claverol, Manuel (1993). Teledetección Geológica. Compendio de. Universidad de Oviedo.

Labradero, J.L., Guerra, A. y Palou, F. (1980) Análisis de datos Landsat aplicado al reconocimiento de suelos: método supervisado. Anales de Edafología y Agrobiología. Vol. 39.

Richard Berry. Introduction to Astronomical Image Processing. (se puede adquirir en la web: www.skypub.com). ■