

TECNOLOGÍA ESPACIAL Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA EL MANEJO DE RECURSOS NATURALES

Por: Alexander Held, Ph.D.
Commonwealth Scientific and Industrial
Research Organization (CSIRO), Canberra, AUSTRALIA

No es difícil ver cómo en las últimas tres décadas la tecnología espacial ha revolucionado muchos aspectos de nuestra vida cotidiana tales como las telecomunicaciones, la meteorología, el transporte naviero, aéreo y terrestre, como para nombrar algunos. Pero ha sido la exploración espacial a fines de la década de los sesenta que ha cambiado profundamente la forma como vemos a nuestro planeta. Los primeros astronautas emocionados describían lo bella, pero frágil que veían a la Tierra desde sus pequeñas cápsulas y de lo claro que se veían los efectos causados por nuestras actividades de desarrollo y civilización. Fotografías o imágenes digitales de satélite han hecho más popular y clara la noción que todos estamos interconectados de una forma u otra y que nuestras actividades tales como la urbanización, la deforestación o la contaminación ambiental también están afectando a nuestros vecinos y, sin lugar a dudas, tendrán un impacto sobre la calidad de vida de nuestras futuras generaciones.

INSTRUMENTACIÓN

Los instrumentos usados en la detección, a distancia, de las características físicas y biológicas de un área geográfica, son comúnmente llamados «sensores remotos». A bordo de aeronaves o satélites, estos sensores recogen información en forma sinóptica de la radiación electromagnética reflejada por la superficie terrestre. Debido a que diferentes objetos o materiales como el suelo, la vegetación y el

agua reflejan o emiten radiación electromagnética en forma diferente (Figura 1), se crea la oportunidad de separar, mapear y medir las cantidades de estos diferentes materiales con sensores remotos. El movimiento horizontal del aeroplano o satélite crea el movimiento del campo visual del sensor lo cual permite crear la imagen en dos dimensiones (Figura 2). Una vez recibida esta radiación por el sensor, es convertida en información digital que puede ser procesada por sistemas de computación con programas especializados para convertir las coordenadas relativas de la imagen en coordenadas geográficas reales.

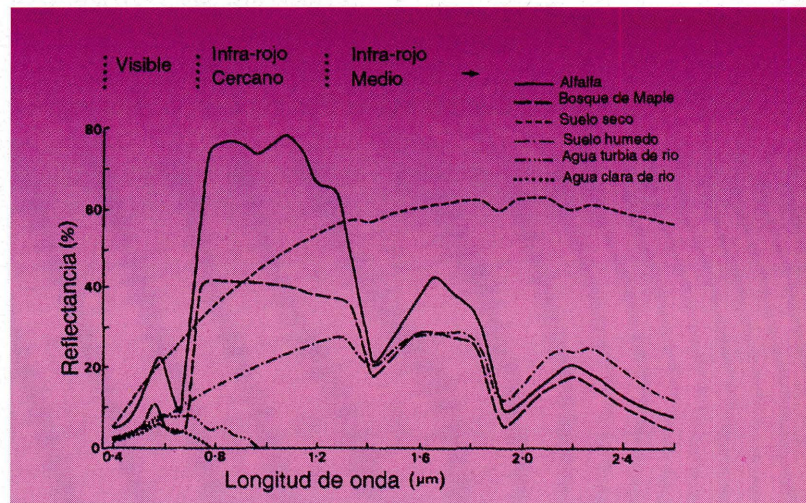


FIGURA 1.

GRAFICA QUE ILUSTRAS LAS DIFERENCIAS EN LA REFLECTANCIA DE LUZ DE DIFERENTES MATERIALES NATURALES COMO VEGETACION, SUELOS Y AGUA CON DIFERENTES CARACTERISTICAS QUIMICAS.

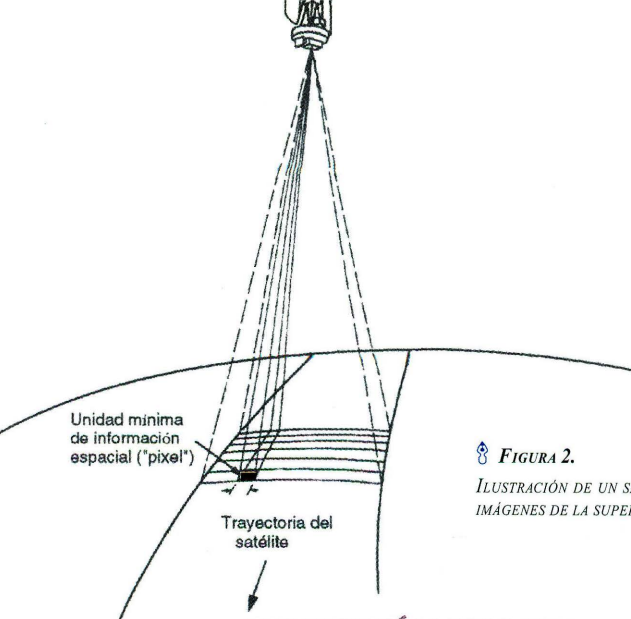


FIGURA 2.

ILUSTRACIÓN DE UN SATELITE TOMANDO
IMÁGENES DE LA SUPERFICIE DE LA TIERRA.

RESOLUCIÓN ESPACIAL, ESPECTRAL Y TEMPORAL

Día a día se tiene acceso a sensores con cada vez mejores niveles de resolución espacial, espectral y temporal. La *resolución espacial* de los sensores remotos corresponde al área mínima («pixel») que puede ser detectada (Figura 2), y depende de factores tales como la distancia entre el objeto y el sensor, el poder de acercamiento de los lentes que enfocan la luz sobre los detectores, y de la densidad de estos detectores en «la retina» del sensor. Por ejemplo, satélites civiles como el satélite Landsat tiene una resolución de 30 m² para imágenes que cubren 185 km de ancho y el satélite SPOT francés, una resolución de 20 metros para imágenes de 60 km de ancho. La *resolución espectral* se refiere al poder de separación y el rango de las diferentes longitudes de onda del sensor. Satélites Landsat, por ejemplo, producen imágenes en siete bandas (1, 2 y 3 en el espectro visible, 4, 5 y 7 en el infrarrojo cercano, 6 en el infrarrojo lejano). Satélites como el JERS-1, recientemente puesto en órbita por el gobierno Japonés, combinan en una plataforma sensores pasivos en el rango óptico y activos como radar con resolución espacial de 18 metros. Otro satélite, el ERS-1 de la comunidad europea también tiene un radar a bordo con una resolución de 30 metros. El radar permite detectar diferencias, principalmente estructurales, pues usa señales en el rango de microrondas (1 mm - 1 m), que son reflejadas por los objetos o formaciones en la superficie dependiendo principalmente de sus dimensiones geométricas. Una de las grandes ventajas del uso de radar en zonas tropicales es que a estas longitudes de onda la mayoría de las nubes son transparentes. La *resolución temporal* se refiere a la frecuencia con que un satélite sobrepasa el mismo lugar sobre la Tierra. El satélite Landsat, por ejemplo tiene una frecuencia de 16 días, mientras

que el satélite NOAA «observa» el mismo sitio todos los días con una resolución espacial de 1 km cuadrado, asumiendo la ausencia de nubes.

Una tecnología ahora comúnmente usada en la navegación marítima y aérea, es el uso de sistemas de posicionamiento global (SPGs). Estos sistemas permiten encontrar la posición geográfica del usuario en cualquier parte del mundo, con una precisión de menos de 50 metros usando la posición y señales provenientes de varios satélites de navegación. Los SPGs hoy en día son del tamaño de un radio transistor y dada su precisión, son de gran valor en exploración terrestre y para estudios ecológicos. Datos obtenidos en este tipo de estudios pueden ser rápidamente integrados a cartografías o Sistemas digitales de Información Geográfica (SIGs), programas de computador y metodología geográfica que permiten la sobreposición e integración de datos provenientes de un rango grande de fuentes, como sensores remotos, cartografía, censos poblacionales y/o estudios ecológicos.

COSTOS

Debido al costo, aún elevado, de esta información, es de suma importancia que al comenzar proyectos de investigación, monitoreo o mapeo, se tengan en cuenta los factores de resolución. Las decisiones de resolución espacial, espectral y temporal deben estar basadas, aparte de consideraciones presupuestales, en la mínima resolución que realmente se tiene interés, considerando el tamaño total del área y la cantidad de información para cada «pixel» que se requiere para la clasificación y separación de materiales. Para proyectos de monitoreo a largo plazo, lógicamente es importante establecer con qué frecuencia se desean coleccionar imágenes secuenciales del área de interés y a qué resolución. Es también importante considerar a qué nivel de computación se tiene acceso, pues esta información es solo una faceta que debe ser integrada con otras fuentes. Día a día esta tecnología es cada vez más asequible a pequeños grupos de investigación, consultores científicos, o entidades gubernamentales o privadas que deseen usarla para planeación o monitoreo.

La proliferación de satélites con estos sensores a bordo, la comercialización de servicios de distribución de imágenes y los computadores personales con el suficiente poder de procesamiento han hecho que

el costo de los programas de observación remota sea cada vez más bajo.

APLICACIONES

Hasta hace relativamente poco, el uso de sensores remotos a bordo de satélites o aviones estaba limitado principalmente a aplicaciones de exploración minera, oceanografía y, obviamente, a usos de inteligencia militar, pues la selección de las resoluciones espaciales necesarias y resolución espectral estaban principalmente dirigidas a optimizar el uso de sensores remotos para estas aplicaciones. Por fortuna, en usos como la exploración minera, por ejemplo, es importante tener en cuenta el grado de cobertura vegetal para poder separar la información espectral generada por la vegetación y los materiales de interés. Para este fin, sensores como el «Thematic Mapper (TM)» a bordo de los satélites Landsat o el «Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR)» a bordo de los satélites NOAA, fueron diseñados con bandas sensibles al rango de luz roja e infrarroja que permiten identificar fácilmente la presencia y cobertura por vegetación. Con el aumento de estudios ambientales a nivel regional y/o

global, y el interés por estudiar las causas y efectos del aumento acelerado de dióxido de carbono en la atmósfera y sus repercusiones climáticas, se han montado en la última década grandes programas internacionales para el mapeo y el monitoreo de vegetación a nivel global. El uso de imágenes adquiridas por satélites Landsat y NOAA desde comienzos de los años setenta ha permitido visualizar secuencias de «verdor» a nivel global durante los últimos veinte años. Los índices de «verdor» en estas imágenes, son calculados fácilmente gracias a las diferencias en la cantidad de luz reflejada por vegetación verde en las longitudes de onda rojas, con respecto a la luz infrarroja cercana (ver Figura 1). Un índice de «verdor» comúnmente usado es el 'NDVI' («Normalized Difference Vegetation Index»), que es calculado de la forma $NDVI = (IR-R)/(IR+R)$, donde IR representa la intensidad de luz reflejada en el rango infrarrojo y R la intensidad en el área de luz roja. Los valores de NDVI generalmente oscilan entre 0 y 1, donde un valor alto de NDVI representa una alta cobertura vegetal y uno cerca a cero, la ausencia total de cobertura vegetal. Con mediciones de campo se «calibran» o correlacionan el valor del índice NDVI con la densidad

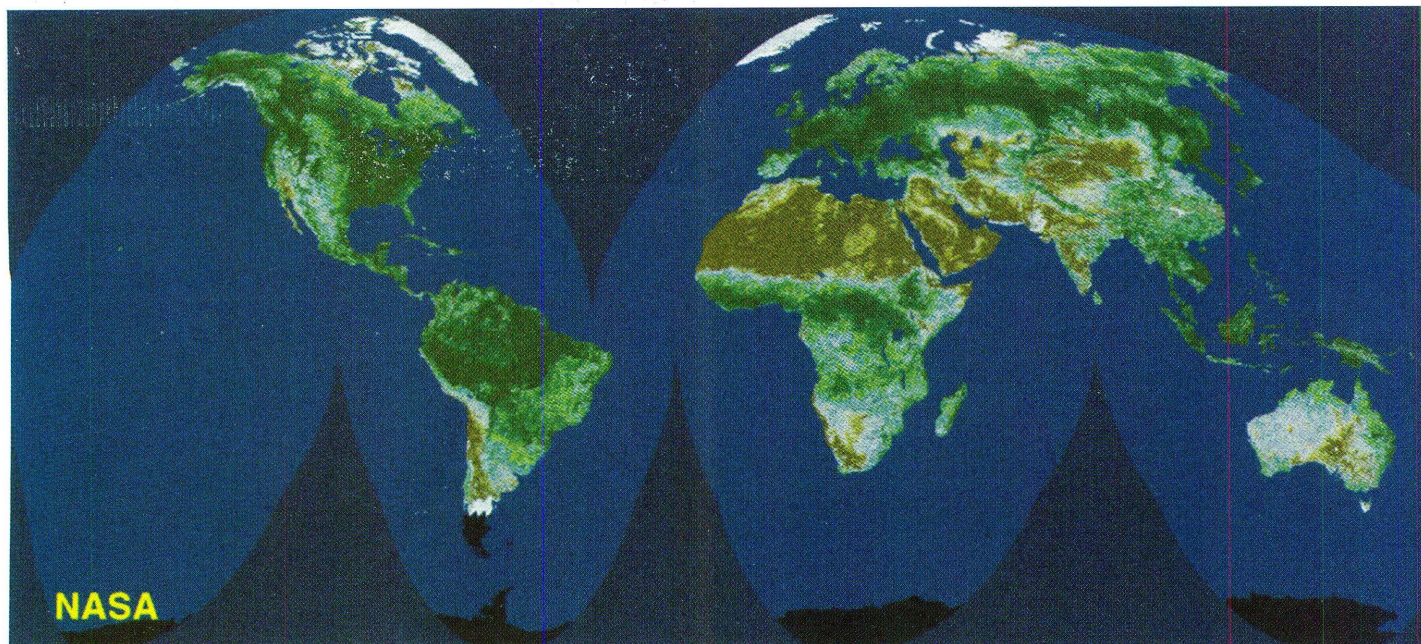
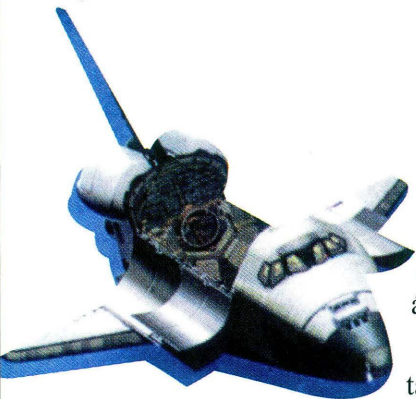


FIGURA 3.

EJEMPLO DE UN MAPA GLOBAL DE «VERDOR» GENERADO RUTINARIAMENTE POR EL PROGRAMA «PATHFINDER» DE LA NASA. ESTE MAPA ESTA COMPUESTO DE DIEZ DIAS DE IMAGENES DIARIAS TOMADAS POR EL SENSOR AVHRR EN LOS SATELITES NOAA ENTRE MAYO 21 Y 31 DE 1987.



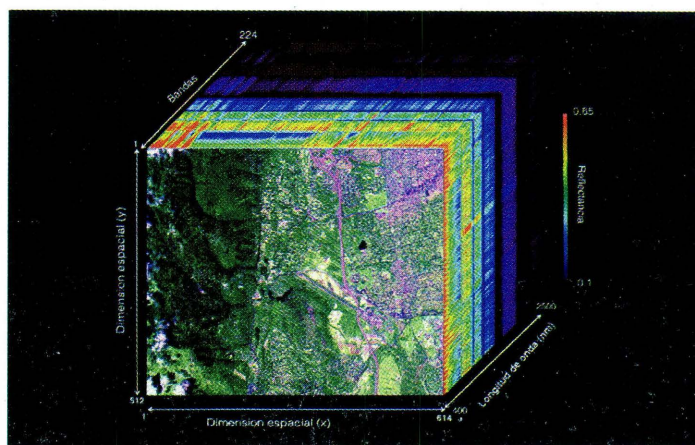
de área foliar real, contenida en el área de mapeo estudiada.

La representación de la vegetación como niveles de «verdor», para pixeles que van desde 30 m², en el caso del Landsat TM, hasta 1 km², en el caso del sensor AVHRR a bordo del satélite NOAA, realmente no pueden tomar en cuenta la composición de la flora ni la arquitectura de la vegetación a esa resolución tan baja. Pero la mismo tiempo, a esta resolución se pueden generar mapas de vegetación y, con modelos apropiados, mapas de productividad vegetativa a nivel regional (miles de km²) o global en el caso del NDVI global producido mensualmente por la NASA (Figura 3). La resolución temporal de estos sensores a su vez

Americana. Para esto, se considera hoy en día que las únicas herramientas prácticas que brindan la posibilidad de ‘regionalizar’ el estado y composición de la cobertura vegetal, su fragmentación y el medio ambiente en general, a través del tiempo, son los sensores remotos en conjunto con información de campo y SIGs. La visión sinóptica brindada por sensores remotos junto con la capacidad de análisis cuantitativo brindada por SIGs, ofrecen un método tecnológicamente apropiado para el estudio y manejo a nivel regional de recursos naturales.

La tecnología de sensores remotos digitales ha comenzado a reemplazar, en muchos casos, la fotografía aérea convencional, pues tiene casi la misma resolución espacial que la fotografía aérea y tiene

FIGURA 4.
IMAGEN CORTESIA DE LA NASA, TOMADA POR EL SENSOR AVIRIS EN ABRIL DE 1994, DE LA RESERVA ECOLÓGICA «JASPER RIDGE» DE LA UNIVERSIDAD DE STANFORD, AL SUR DE SAN FRANCISCO, CALIFORNIA. CONCEPTUALMENTE ESTE TIPO DE INFORMACIÓN SE PUEDE CONSIDERAR COMO UN CUBO, EN EL QUE LAS DOS DIMENSIONES (x), (y) CORRESPONDEN A COORDENADAS ESPACIALES Y LA TERCER COORDENADA (z), CORRESPONDE A LA INFORMACIÓN ESPECTRAL CONTENIDA EN CADA «PIXEL» DE 17 M². SE PUEDEN OBSERVAR EN LA IMAGEN ESTRUCTURAS URBANAS, UNA AUTOPISTA Y EL ACELERADOR DE PARTICULAS «SLAC» EN COLOR MORADO, Y VARIOS NIVELES DE COBERTURA VEGETAL EN TONOS DE VERDE.



permite detectar cambios estacionales o a largo plazo de la cobertura vegetal mundial.

Estudios ecológicos y de biodiversidad, que buscan establecer la distribución espacial, temporal y abundancia de plantas y animales, tienden a concentrarse en zonas geográficas relativamente pequeñas debido, en parte, a que requieren trabajo muy detallado y de alto costo. La información generada por estudios de esta índole es a menudo muy voluminosa pero con poca información espacial y temporal. Dado el impacto acelerado de la población humana sobre el ecosistema terrestre y sus consecuencias sobre la biodiversidad, se ha generado la necesidad urgente de estudiar y cuantificar este impacto a nivel más global y en ecosistemas de gran extensión como, por ejemplo, las selvas del sureste Asiático o la Amazonía

la gran ventaja de ser más fácil de archivar y procesar por computador. Otras ventajas de importancia en estos estudios son la posibilidad de hacer correcciones atmosféricas, generación de mosaicos geográficamente correctos y delineaciones de áreas de interés en forma digital. Para investigaciones de espectroscopia detallada en que se requiere no solo una alta resolución espacial (5 - 17 metros cuadrados), sino también alta resolución espectral (<10 nm), se usan ahora imágenes producidas por sensores calibrados como el AVIRIS («Airborne Visible Infra-Red Imaging Spectrometer») de la NASA (Figura 4) o el sensor CASI («Compact Airborne Spectrographic Imager») del Canadá. El gran potencial que tienen estos sensores, es que dado que las imágenes pueden ser corregidas

por efectos atmosféricos, es posible sobrevolar áreas de interés repetidamente y detectar cambios muy sutiles en el grado de cobertura o cambios en su composición. La posibilidad de obtener espectros calibrados completos, entre 400nm y 2500nm, para cada pixel, permite generar mediciones absolutas de, no solo la presencia, sino también las concentraciones de componentes químicos de interés, lo cual convierte estos sistemas literalmente en laboratorios voladores de espectroscopia ambiental.

Sensores como estos están siendo usados más y más en proyectos de mapeo y caracterización de bosques tropicales húmedos en zonas tropicales como Australia y Sur-este de Asia. Para trabajos de limnología y ecología marina también se ha usado el CASI en Australia para determinar concentraciones absolutas de sedimentos, clorofila o pigmentos accesorios a lo largo y ancho de varios ríos o zonas costeras, tanto para la detección de algas tóxicas verde-azules como para el mapeo y cuantificación de biomasa de pastos marinos en zonas costeras. Satélites con resolución espectral alta están siendo construidos por compañías privadas aliadas con la NASA y serán puestos en órbita en los próximos años. Una vez en órbita, estos satélites darán una visión más detallada de la superficie de la tierra, no solo en cuanto a niveles de «verdor», sino también podrán ser utilizados para producir información más detallada acerca de la composición química de ecosistemas de interés, del nivel de contaminación o sedimentación de ríos y zonas costeras o de la composición química de formaciones geológicas visibles.

AGRICULTURA

En el campo agrícola, el uso más común de la tecnología de sensores remotos y SIGs, ha sido en el monitoreo y mapeo de grandes áreas agrícolas, generando estimativos del tamaño de áreas sembradas y el potencial de cosecha. Esto se hace rutinariamente en zonas agrícolas de los Estados Unidos, Europa y zonas de grandes monocultivos como el café en Brasil. Es mediante este tipo de tecnología, que compañías comercializadoras de café en los Estados Unidos, pudieron obtener imágenes de satélite procesadas para cuantificar, a 1 km² de resolución, el daño causado por heladas en Brasil a mediados de 1994. Se vió con esta información, que el daño no era tan grave como se había pensado y, consecuen-

temente, los precios futuros del café no subieron tanto como muchos esperaban. Algunos sensores a bordo de satélites y aeroplanos también tienen la capacidad de detectar radiación generada en longitudes de onda más largas (10-13 μ m), que puede ser usada para calcular la temperatura superficial en áreas de estudio. La combinación de estos estimativos de temperatura de la superficie, junto con datos climáticos y modelos de intercambio energético, ha permitido el uso de estos sensores remotos para determinar la distribución espacial de tasas de evapotranspiración a nivel regional. Esta información, a su vez, está siendo usada cada vez más en la planeación y manejo de recursos hídricos en zonas donde estos son limitados.

CONCLUSIÓN

El poder de visualización de las imágenes de satélite de un mundo con recursos limitados y con un medio ambiente en deterioro, indudablemente ha fortalecido el movimiento ambiental global y está comenzando a afectar cada vez más la toma de decisiones políticas tanto a nivel regional como global. El uso de sensores remotos para estudios en ecología y agricultura están aumentando en forma casi exponencial, no solo debido a los avances tecnológicos en resolución y al mejor acceso a esta información, sino también a que cada vez más especialistas en disciplinas «verdes», están viendo el valor de extrapolación y regionalización que brinda esta nueva herramienta. Junto con información de campo e imágenes de satélite debidamente procesadas e integradas a sistemas de información geográfica, se puede ahora producir el tipo de información necesaria para la toma de decisiones bien informadas sobre el manejo de zonas de alto valor ecológico y/o económico. Es por esto que estas herramientas no solo deben ser componentes fundamentales para la planeación de proyectos de desarrollo de infraestructura o minería a corto plazo, como por ejemplo, sino que también deben ser componentes fundamentales para la preparación y monitoreo de proyectos ambientales a largo plazo. Esto es cada vez más urgente para el desarrollo más sostenible de países cuya población, economía e infraestructura tecnológica están en rápido aumento, creando una gran presión sobre recursos marinos, terrestres y acuáticos. &