

PROMISORIO AVANCE DE LA TELEDETECCION SATELITARIA POR MICROONDAS

SATURNINO LEGUIZAMON

*Profesor de la Universidad de Mendoza
Profesor de la Universidad Tecnológica Nacional
Investigador de la Comisión Nacional
de Investigaciones Espaciales*

RESUMEN

Resulta casi superfluo, encontrándonos en las puertas del siglo 21, destacar el rol cada vez más importante que tiene para la humanidad la exploración espacial. Un aspecto de esta actividad lo constituye la Teledetección o Percepción Remota, que le permite al hombre conocer mejor su propio planeta utilizando para ello los dispositivos tecnológicos más avanzados.

El presente artículo persigue el objetivo de señalar la importancia que en los últimos años están tomando los sensores de microondas, poniendo énfasis en los sensores activos tales como el radar de apertura sintética, el cual ha pasado a ser uno de los instrumentos más sofisticados en los estudios planetarios.

Los resultados obtenidos por el satélite Seasat y los proyectos SIR-A y SIR-B de la NASA, a bordo del transbordador espacial, han hecho que numerosos países encaren sus propios desarrollos en esta área. Se mencionan aquí algunos de esos proyectos que ilustran sobre el brillante futuro que presenta esta tecnología para el estudio de los recursos naturales y el medio ambiente.

1.- PERCEPCIÓN REMOTA Y MICROONDAS

La Teledetección es la adquisición de la información sobre un objeto sin contacto físico [1]. Con esta simple definición el ojo humano podría ser considerado como un sensor remoto; sin embargo, de manera usual, el término sensor remoto es aplicado a un dispositivo, fotográfico o no, que adquiere información de la Tierra, y sus recursos naturales y culturales.

Los sensores remotos pueden clasificarse en activos y pasivos. Son activos aquellos que transmiten la energía que incidirá sobre el objeto a medir y cuya reflexión es medida luego por el mismo sensor. En cambio los pasivos miden la energía proveniente de una fuente externa y que es reflejada por el objeto. Normalmente la fuente de energía externa es el Sol.

En los últimos años está adquiriendo gran importancia en el área de Teledetección la valiosa información proporcionada por sensores que operan en la porción de las microondas del espectro electromagnético. Esta porción del espectro incluye longitudes de onda en un rango que va aproximadamente desde 1 mm. hasta 1m.

Una característica interesante de los sensores de microondas es que pueden realizar mediciones bajo virtualmente todas las condiciones atmosféricas. Las microondas son capaces de penetrar la atmósfera y pueden "ver", dependiendo de la longitud de onda involucrada, a través de la bruma, lluvia o nieve ligera, nubes y humo.

Otro aspecto importante es que las mediciones pueden hacerse de día o de noche, por lo que éstas pueden estar disponibles en cualquier momento.

El sensado remoto con microondas muestra dos aspectos distintos en la utilización de un sensor: activo y pasivo. Los sensores activos proveen su propia iluminación, mientras que los sistemas pasivos miden la radiación que llega al radiómetro. La mayoría de los sensores activos de microondas detectan y miden la distancia del blanco, de ahí el nombre *de radar* (RADio Detecting And Ranging); sin embargo, algunos miden sólo la amplitud de la señal o velocidad del blanco. Normalmente se utiliza el nombre de radar para cualquier sensor activo de microondas.

Los sistemas activos, han sido empleados en Teledetección como dispersómetros o para generar imágenes de radar para una variedad de estudios.

Un *dispersómetro* [1] es un dispositivo de radar que mide las propiedades dispersivas de la región observada. Cualquier radar que pueda medir con precisión la energía de la señal observada es un dispersómetro. Estos sirven para determinar la rugosidad o tosquedad de una superficie.

Los sistemas pasivos de microondas se denominan *radiómetros*. Estos sensores cuando se dirigen hacia la tierra, entregan señales compuestas que resultan de la temperatura de brillo del terreno.

La aplicabilidad de los sistemas pasivos ha tomado importancia para la determinación de los estados del mar, identificación de hielo en el mar, estudios de humedad de suelo e investigación básica para mecanismos de interacción entre las microondas y el terreno.

Las temperaturas de brillo registradas por los radiómetros son correlacionadas con las propiedades eléctricas químicas y texturales de la superficie.

2.- SISTEMAS ACTIVOS FORMADORES DE IMÁGENES

2.1.- Radar de Visión Lateral de Apertura Real

El método convencional de utilización del radar es medir el tiempo que le toma a un pulso irradiado de microondas para dar en el blanco y retornar al receptor. En Teledetección la forma más común de utilizar los datos de radar es en forma de imágenes, ya que las mismas representan las características físicas del terreno que se desea medir asociado a la posición que tiene en el espacio.

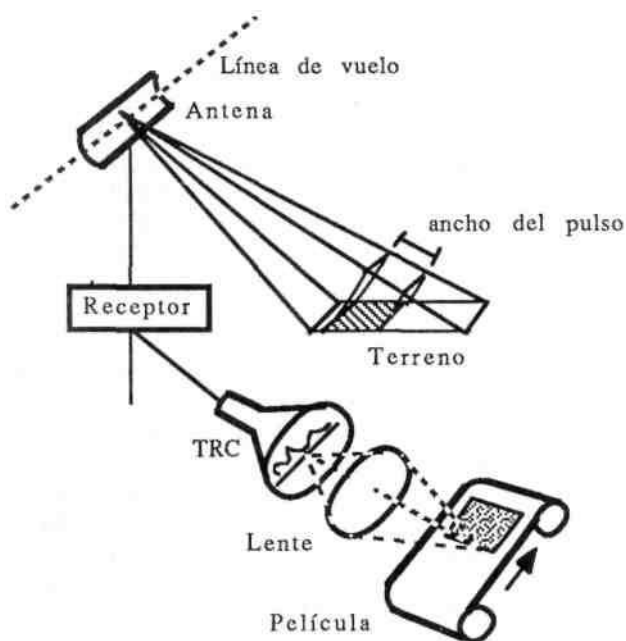


FIG. 1.- Principio de operación del SLAR

Los sistemas de radar formadores de imágenes producen imágenes del terreno iluminado barriendo el haz en una dirección y usando mediciones de distancia en otra dirección. Los primeros radares usaban antenas rotativas. Pero para radares montados a bordo de aeronaves, se empezó a usar el radar de visión Lateral denominado SLAR por su sigla en inglés (Side - Looking Airborne Radar). Con el SLAR, el movimiento del avión reemplazó la rotación de la antena para efectuar el barrido. Puesto que la antena permanece fija, la misma puede

ser de mayor tamaño, logrando un haz más fino, y resultando en una mayor resolución. La Fig. 1 muestra el principio de funcionamiento del SLAR.

El radar transmite pulsos cortos de manera que diferentes partes de la faja de barrido son iluminados en momentos diferentes. Las señales de retorno se utilizan para modular la intensidad de una línea de presentación en un tubo de rayos catódicos (TRC). Se expone luego una película delante del tubo que se mueve en sincronismo con la velocidad del avión. Las distintas intensidades de la señal de retorno darán distinto brillo al haz en el TRC y por lo tanto excitarán de manera diferente a la película, produciendo las distintas tonalidades entre negro y blanco.

2.2. - RADAR DE APERTURA SINTÉTICA (SAR)

El radar de apertura sintética (SAR) fue desarrollado para dar mayor resolución a los sistemas montados a bordo de aeronaves, pero su uso resulta inevitable en radares que van a bordo de satélites por la gran reducción que se consigue en el tamaño de la antena. El SAR usa el movimiento del avión o satélite para imitar el comportamiento de una antena de mayor tamaño y por lo tanto, de mayor resolución. Está basado en un tratamiento complicado de la señal, utilizando el efecto Doppler producido por el desplazamiento de la antena y el tiempo de retardo de la señal de retorno.

A fin de eliminar la ambigüedad de derecha e izquierda, la antena de radar apunta sólo a un costado (radar de visión lateral), y el eje de medición de distancia es perpendicular a la línea de vuelo de la plataforma. Se transmite un pulso corto de energía electromagnética hacia la superficie, de esa manera los puntos equidistantes del radar están ubicados sobre sucesivas esferas concéntricas. La intersección de estas esferas con una superficie plana da una serie de círculos centrados en el punto N (nadir). (Fig. 2). Los ecos de retrodispersión de objetos a lo largo de un determinado círculo tendrán un retardo de tiempo bien definido pero diferente corrimiento Doppler.

Los puntos distribuidos sobre conos coaxiales, con la línea de vuelo como eje y el radar como vértice, presentan idéntico corrimiento Doppler de los ecos que retornan con diferente tiempo de retardo. La intersección de estos conos con una superficie plana da una familia de hipérbolas. Los objetos que están sobre una hipérbola determinada darán retornos con igual efecto Doppler. De esta manera, si la información de retardo y de corrimiento Doppler de los ecos recibidos se procesan simultáneamente, la superficie iluminada puede ser dividida en un sistema de coordenadas de círculos concéntricos e hipérbolas coaxiales, y cada punto de la superficie puede ser identificado unívocamente por un tiempo de retardo y un corrimiento Doppler específico a medida que la antena pasa por el punto.

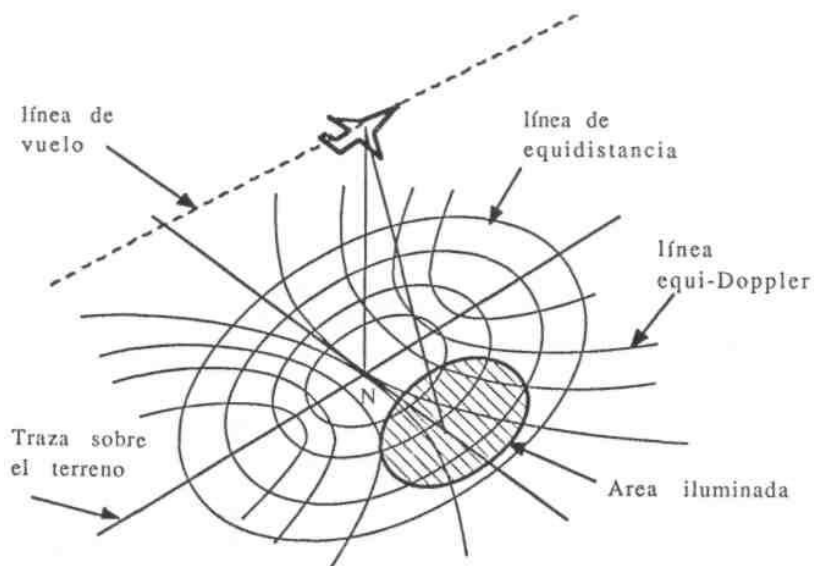


Fig. 2.- Geometría del SAR

El brillo asignado a un pixel (elemento de resolución de imagen) determinado en la imagen de radar es proporcional a la energía del eco contenido en la posición correspondiente. La capacidad de resolución del sistema formador de imágenes depende entonces de la precisión de la medición de la diferencia de retardo de tiempo y de la diferencia de corrimiento Doppler (o fase) entre dos puntos vecinos de la superficie.

3.- EXPERIENCIAS REALIZADAS CON RADAR

La utilización de microondas en Teledetección satelitaria no es nueva ya que satélites meteorológicos tales como el NIMBUS 7, lanzado el 24 de octubre de 1978, lleva a bordo un radiómetro multicanal de microondas; sin embargo, los sensores activos son relativamente nuevos pero exitosos, como los dos proyectos que a continuación mencionamos:

3.1.- Satélite de Aplicaciones Marinas SEASAT

En junio de 1978 fue puesto en órbita alrededor de la Tierra el satélite SEASAT con una carga útil de sensores activos de microondas consistente en un altímetro, un dispersómetro y un sistema formador de imágenes basado en un radar de apertura sintética (SAR). El objetivo de la misión fue poner a prueba la capacidad de este equipo para monitorear la superficie de los océanos y las

características cercanas a la superficie, tales como oleaje, corrientes marinas, viento en superficie, topografía de la superficie y cobertura de hielo. El Seasat dio, por primera vez, imágenes sinópticas de radar de la superficie de la Tierra, tanto del área oceánica como del suelo, obtenidas desde una plataforma en órbita, y además, con una resolución de 25 m. El éxito de este complejo sensor abrió una nueva dimensión en la capacidad del hombre para observar, monitorear y estudiar la superficie terrestre. Lamentablemente, debido a una falla en el sistema eléctrico, sólo estuvo activo 98 días.



Fig. 3.- Imagen de radar sobre la ciudad de Jáchal, San Juan, obtenida por la misión SIR-A.

3.2.- Proyecto SIR-A (Shuttle Imaging Radar)

Este proyecto fue un experimento para evaluar el radar para mapeo geológico. SIR-A fue colocado en el espacio por el transbordador Columbia y lanzado en noviembre de 1981 como parte de una primera carga útil, conocida como OSTA-1, programada por la Office of Space and Terrestrial Application. Como el Seasat, el radar del SIR-A es un radar de apertura sintética operando en banda L a 1278 MHz. correspondiente a una longitud de onda de 23 cm. La antena de 7 paneles tiene una longitud de 9.5 m.

Los datos del SIR-A fueron registrados ópticamente en una película montada en un cassette. La película fue procesada en el Jet Propulsion Laboratory (JPL) en Pasadena, EE.UU. Las imágenes tenían un ancho de 50 Km. y una resolución del orden de 40 m.

El radar también puede penetrar la arena seca en desiertos muy áridos. Investigadores del JPL y del U.S. Geological Survey analizando las imágenes del SIR-A encontraron lechos de ríos secos debajo del desierto del Sahara en Sudán y Egipto [2]. Estos lechos cubiertos por la arena e invisibles desde la superficie muestran cómo fue el clima de esa región hace decenas de miles de años y pueden mostrar a los arqueólogos probables sitios que pueden haber estado habitados.

La Fig. 3 muestra una imagen de radar obtenida por la misión SIR-A sobre territorio argentino (Ciudad de Jáchal, San Juan. Data Take 29-30 de dicho proyecto).

4.- PROYECTOS FUTUROS

La potencialidad de dispositivos de radar es tan promisoría que varios países planean incorporar a sus proyectos espaciales este tipo de sensor para el estudio de sus recursos naturales. Entre ellos cabe mencionar a los países europeos que conforman la ESA (Agencia Espacial Europea), Canadá, EE.UU. y Japón. En nuestro análisis daremos detalles de dos de estos proyectos que son el satélite ERS-1 de la ESA y el proyecto RADARSAT de Canadá.

4.1- Satélite Radar Europeo ERS-1

La Agencia Espacial Europea (ESA), espera poner en órbita su primer satélite de recursos naturales ERS-1 (Earth Resources Satellite) a mediados de 1990. Este satélite tendrá una vida útil aproximada de 2 años. Actualmente se está considerando un segundo satélite, ERS-2, para un posible lanzamiento en 1993 con el objeto de mantener una información de radar continua y confiable.

ERS-1 está configurado principalmente como satélite de observación marina y tendrá una cobertura sistemática de las regiones oceánicas en forma

repetitiva, permitiendo un monitoreo global para aplicaciones meteorológicas y ambientales. Muchos de los datos serán tomados en regiones remotas tales como los océanos australes y la Antártida, de donde, hasta ahora, ha sido obtenida poca información. Además el radar de imagen de alta resolución proveerá información esencial, en todo momento, para aplicaciones terrestres tales como geología, monitoreo de la vegetación, hidrología, etc.

El ERS-1 está configurado primariamente como satélite de observación marino y transportará un radar altímetro y un dispersómetro. El radar de imágenes tendrá los siguientes parámetros como especificación:

- resolución espacial 100 x 100 m o 30 x 30 m.
- ancho de franja de barrido: 80 km. mínimo.
- resolución radiométrica : 1dB para 100x100 m
2.5 dB para 30x30 m.
- ángulo de incidencia aprox. 23°.
- frecuencia 5.3 GHz. en polarización HH.
- potencia media de RF: menor o igual 400 W.
- velocidad de transmisión de datos: 100 Mb./s
- tamaño de la antena: 10 m. x 1 m.

El SAR operará en banda C sobre tierra y se espera que esta frecuencia será de mayor interés para los estudiosos de los recursos naturales. El ERS-1 será lanzado desde el Centro espacial de Kourou (Guayana Francesa) por el lanzador Ariane 4 y usará la misma plataforma multi-mission que el satélite de recursos naturales francés SPOT. La órbita nominal es circular y heliosincrónica, tendrá una altitud de 777 Km.

Este satélite permitirá medir: imagen de alta resolución sobre tierra, zonas costeras y capa de hielo polar, medir globalmente la altura y la longitud de onda de las olas de los océanos, velocidad y dirección del viento, altimetría oceánica precisa, varios parámetros del hielo, temperatura de superficie del mar, temperatura de tope de nubes, cobertura de nubes y contenido de agua en la atmósfera.

4.2.- Satélite Canadiense RADARSAT

En setiembre de 1989 se aprobó el proyecto para la construcción del satélite canadiense de recursos naturales denominado RADARSAT. En la planificación aprobada se espera que el mismo esté operativo en 1994.

Este proyecto nace debido a la necesidad de información que tiene Canadá acerca de la Administración de recursos naturales y monitoreo ambiental. Fue a fines de los años '70, durante la "crisis del petróleo", cuando la exploración petrolífera en las regiones árticas tomó un ritmo vigoroso. Era evidente que el

estado del mar, la posición de los buques e información del hielo sería requerida en una escala sin precedentes. Los satélites de sensores ópticos, que teóricamente podrían dar satisfacción a esos requerimientos, pero la pobre iluminación solar durante la mayor parte del año a altas latitudes, y la persistente cobertura de nubes hacen que el único sensor aceptable sea el radar de apertura sintética para poder tener, en cualquier momento, una información confiable.

Si bien RADARSAT está diseñado principalmente para estudios de océanos y hielo, otros experimentos mostraron que los datos del SAR también tienen importantes aplicaciones en tierra, tales como mapeo de estructuras de superficies, condiciones de humedad del suelo, y monitoreo forestal y de cultivos, por lo que también será usado para estudios de recursos terrestres. La órbita ha sido especialmente seleccionada para dar un mayor cubrimiento de las áreas polares.

Las características orbitales son las siguientes:

Geometría: circular y heliocéntrica

Hora de cruce ecuatorial: 6 de la mañana

Altitud: 792 Km.

Inclinación: 98.6°

Período: 100.7 min.

Ciclo de repetición: 24 días.

El SAR tendrá varios modos de operación que permitirán variar el ancho de la franja de barrido, la resolución y el ángulo de incidencia. En el modo estandar se tendrá:

Ancho de franja de barrido: 100 km.

Resolución: 28 x 30 m.

Ángulo de incidencia: 20° a 49°

Frecuencia: 5.3 GHz. (Banda C)

5.- POTENCIALES APLICACIONES

Debemos tener en cuenta que el radar ofrece, frente a otro tipo de sensor utilizado hasta el presente, la única solución viable para obtener imágenes de regiones cubiertas de nubes, diurnas o nocturnas. Considerando sólo este aspecto su potencialidad, en diversas aplicaciones, es de fundamental importancia.

Se considera que en Geología el radar jugará un papel muy importante respecto de otros sensores [3, 8]. La posibilidad de las imágenes de radar para caracterizar la geomorfología de una región, y en particular para destacar lineamientos, la posibilidad de observar detalles de la superficie terrestre y, en

algunos casos debajo de ella, sumado a su independencia de la cobertura de nubes, lo hacen ideal para la interpretación geológica.

La Hidrología es también un campo de potencial aplicación para el radar debido a sus posibilidades de medir el hielo y la nieve. La facultad de poder usar radar en todo tiempo, es esencial para medir la nieve en los meses en que se producen las nevadas.

En los países escandinavos, por ejemplo, donde la mayor parte de la energía proviene de centrales hidroeléctricas, es esencial conocer la cantidad de nieve acumulada para prever la disponibilidad de agua.

Los océanos pueden considerarse un recurso muy importante y, como ya se ha mencionado, es creciente el interés de varios países por llevar a cabo investigaciones de radar en este medio. Si bien sus aplicaciones están todavía en el área de la investigación, es indudable que el radar en este campo tiene un futuro muy promisorio.

En Agricultura y Forestación también se ha demostrado su aplicación. Obviamente es más vital la información en regiones húmedas tropicales las cuales están bajo una densa vegetación.

El requerimiento principal en Agricultura es diferenciar distintos tipos de cultivo y evaluar su estado de crecimiento. En este caso, los datos sobre altura, humedad, signos de stress por humedad o infecciones son elementos esenciales para calcular el rendimiento potencial de un cultivo.

Está claro entonces que el radar constituye una invaluable herramienta en el estudio de los recursos terrestres, particularmente cuando estos estudios son de naturaleza regional. Pero debe tenerse muy en cuenta que la precisión de la medición y validez de los datos obtenidos de una interpretación de radar estará dada por el conocimiento del intérprete, el correcto uso de datos provenientes de otra fuente y el trabajo de campo que es insustituible para cualquier tipo de sensor remoto.

6.- BIBLIOGRAFÍA

- [1] American Society of Remote Sensing, "Manual of Remote Sensing" (2nd. Edition), 1983, vol. 1 y 2.
- [2] C. Elachi, and J. Granger, (1982), "Spaceborne Imaging Radars Probe 'In Depth'", IEEE Spectrum, vol. 19, No. 11, pgs. 24-29.
- [3] C. Elachi, "Spaceborne Imaging Radar: Geologic and Oceanographic Applications", Science, vol. 209, No. 4461, p.1073-82, sept. 1980.
- [4] R.M. Hord, "Remote Sensing, Methods and Applications", John Wiley and Sons, 1986.

-
- [5] H. N. Kritikos, and J. Shiue,(1979), "Microwave Sensing from Orbit", IEEE Spectrum, vol. 16, No. 8, 1979, pgs. 34-41.
- [6] T.M. Lillesand and R. W. Kiefer, "Remote Sensing and Image Interpretation", John Wiley and Sons, 1979.
- [7] J. Lintz Jr. and D. Simonett, (Eds.), "Remote Sensing of Environment", Addison-Wesley Publishing Co., Inc. 1976.
- [8] B. S. Siegal and A.R. Gillespie, (Eds.), "Remote Sensing in Geology", John Wiley and Sons, 1980.

Agradecimiento:

El autor agradece al Dr. Charles Elachi, Investigador Principal del proyecto SIR-A y al National Space Science Data Center/World Data Center A for Rockets and Satellites por facilitar información y datos sobre dicho proyecto.