INSTITUTO DE INVESTIGACION DE RECURSOS NATURALES
CORPORACION DE FOMENTO DE LA PRODUCCION
MANUEL MONTT 1164 - CASILLA 14905 - FONO: 236641 - SANTIAGO DE CHILE

SENSORES REMOTOS EN LA BUSQUEDA DE RECURSOS NATURALES

Robert N. Colwell

Traducción de artículo aparecido en: SCIENTIFIC AMERICAN
January, 1968

Transcripción

Scientific American Enero 1968.

SENSORES REMOTOS EN LA BUSQUEDA DE RECURSOS NATURALES

Actualmente se cuenta con varios aparatos para suplementar las cámaras de fotografías aéreas en la detección de recursos naturales desde aviones y naves espaciales. Estos incluyen, radar, detectores de rayos gamma y sensores de energía infrarroja.

por Robert N. Colwell

Mientras crece la presión por el aumento de los recursos naturales, a causa del crecimiento poblacional y de los niveles de vida, se hace realmente más importante manejar efectivamente los recursos disponibles. La tarea requiere que se haga periódicamente inventarios exactos de los recursos. Hasta hace apenas una generación atrás, tales inventarios se hacían casi enteramente en el terreno. Los geólogos viajaban mucho, explorando en busca de minerales, los ingenieros forestales y agrónomos examinaban árboles y granos de cerca para determinar su condición; los agrimensores iban por el campo preparando los mapas necesarios. El advenimiento de la fotografía aérea representa un gran paso adelante. Dentro de los recientes últimos años la confección de fotografías aéreas ha aumentado con una nueva técnica la cual detecta simultáneamente en varias bandas del espectro electromagnético. El nombre que a menudo se da a esta técnica es el de "percepción remota". En su forma más completa esta técnica recorre a través del espectro las ondas muy cortas en que se emiten los rayos gamma hasta las ondas comparativamente largas en que opera el radar. De esta forma se puede asegurar mayor información acerca de un área de la que puede obtenerse con la fotografía convencional, que está limitada a la parte del espectro visible a la luz.

Los sensores remotos pueden ser usados desde el aire o el espacio, incluyendo satélites. Se emplea cámaras y otros aparatos sensores sin tripulación. Hasta cierto punto los datos obtenidos por los sensores pueden ser procesados e interpretados automáticamente de manera que un gran volumen de información puede manejarse rápidamente.

La información así obtenida es útil para investigaciones en muchas disciplinas. Los geólogos usan los sensores remotos para ubicar los depósitos de minerales y petróleo, para mejorar su conocimiento de la distribución y origen de las características geológicas

más importantes y para estudiar los intercambios de energía asociados con alteraciones de corteza terrestre tales como, temblores y erupciones volcánicas. Los geo-científicos pueden inventariar las características físicas y químicas más importantes de los terrenos relacionándolas con las características geológicas y los tipos de vegetación encontrada en las imágenes obtenidas por sensores remotos. Los ingenieros forestales y agrícolas pueden determinar qué tipo de árboles y plantas están creciendo en un área, pueden evaluar el estado de salud del bosque o el grano y puedan estimar las cosechas. Una información similar pueden obtener los trabajadores interesados en población ganadera, animales silvestres y peces.

Por medio de sensores remotos los hidrólogos pueden localizar acuíferos útiles y pueden estimar el volumen superficial y subterráneo del flujo de agua. Los oceanógrafos pueden hacer confeccionar mapas de los movimientos de las corrientes oceánicas, organismos marinos y contaminadores de agua. Igualmente, estudiar en detalle los cambios diarios y estacionales en las mareas, líneas costeras y el estado del mar. Los geógrafos pueden analizar los patrones de uso de la tierra en amplias áreas y estudiar la acción recíproca del clima, topografía, vida vegetal, vida animal y actividad humana en un área específica. Los ingenieros que planifican grandes proyectos de construcción tales como carreteras, aeropuertos y represas pueden obtener datos acerca de la forma de terrenos, materia rocosa, suelos, tipo de vegetación y condiciones de drenaje. Sin duda, usar sensores remotos en las diversas partes del espectro es de imponderable valor para quienes confeccionan mapas y en cuanto a las necesidades de identificar las características del terreno y localizarlas con precisión.

Las primitivas fotografías aéreas, algo más de un siglo atrás, tenían las deficiencias de las cámaras y emulsiones y de la necesidad de usar vehículos inestables tales como globos y cometas haciendo de plataforma. Actualmente, el conjunto de equipo de percepción remota disponible puede llenar casi cualquier necesidad. Sin perjuicio de cual sea la plataforma-helicóptero, aeroplano o satélite -la cámara puede ser montada de tal manera que quede estabilizada contra balanceos, pendientes y desviaciones y aislada contra vibración. Las aberraciones de las lentes de las cámaras han sido grandemente reducidas de tal modo que en general puede obtenerse imágenes definidas.

Películas de gran estabilidad dimensional han reemplazado casi totalmente a las placas emulsionadas. Diversos tipos de películas en color se hallan disponibles para complementar o reemplazar la película en blanco y negro, tanto en la parte visible o en la parte infrarroja del espectro.

Equipos de Sensores Remotos.

Entre los numerosos tipos de equipo desarrollados para percepción remota, seis de ellos muestran el mayor valor o posibilidad para su uso en el inventario de recursos naturales. Se trata de: la cámara aérea convencional, la cámara panorámica, la cámara multi - banda, el explorador óptico mecánico, el radar oblicuo aerotransportado y el espectómetro de rayos gamma.

Una cámara aérea convencional tiene 4 componentes básicos: un chasis, un mecanismo propulsor, un cono y una lente (ver ilustración en la parte superior de la página 58). El chasis es la caja hermética que sostiene la película. Generalmente puede ser extraído del resto de la cámara fotográfica. La película se halla ordinariamente en forma de un rollo continuo de 9/2 pulgadas de ancho y 200 pies de largo. Ese rollo podrá tener unas 250 exposiciones de 9" cuadradas cada una.

El mecanismo propulsor consiste en una serie de excéntricas, engranajes y árboles diseñados para mover la película desde el carrete de alimentación al carrete de recogida. Al mover la película, los rodillos la llevan frente a la parte delantera de una placa localizadora. Uno de los rodillos está diseñado para medir la cantidad de película que debe pasar, entre exposiciones, desde el carrete alimentador al de recogida, dando de este modo un espaciamiento correcto al rollo de película.

Durante la exposición se crea succión tras la placa localizadora por medio de un tubo venturi o un aparato de cilindro al vacío y pistón insertado en la cámara. La succión transmitida a la película a través de pequeñas perforaciones y ranuras en la placa de localización, sujeta la película en forma plana contra ella en el momento de la exposición.

De esta manera las distorsiones, que pudieran causar algunas arrugas en la película en el momento de exposición se minizan.

El cono es una unidad a prueba de luz que sujeta el lente en relación correcta con la película. El largo del cono se gobierna por la amplitud focal del lente, que es esencialmente la distancia del centro del lente a la película. No es raro que una cámara tenga conos intercambiables para acomodar las lentes de diferentes amplitudes focales. La mayoría de las fotografías aéreas que se hacen para inventario de recursos naturales usan amplitudes focales de 6,81/4 o 12 pulgadas.

La lente es compuesta, diseñada cuidadosamente para dar una imagen no distorsionada sobre un trozo grande de película. Las cámaras aéreas, generalmente, tienen lentes de foco fijo, con el foco en infinito, la cámara se usa tan lejos que sobre la tierra tal foco proporciona una imagen definida de todos los objetos del terreno. En la mayoría de las cámaras aéreas el obturador se halla entre los elementos del frente o de atrás de la lente. El mecanismo propulsor de la cámara automáticamente vuelve el disparador a su sitio después de cada exposición.

La cámara panorámica (ver ilustración al pie de la página 58) hace posible fotografiar una gran área en una sóla exposición, en una alta resolución, llegando a un alto grado de precisión de la imagen en cada parte de la fotografía. La cámara llena una necesidad pero crea algunos problemas especiales. Para obtener una imagen definida al fotografiar áreas extensas, paradójicamente se necesita un estrecho campo angular para minimizar las aberraciones del lente. Tal campo se proporciona, en la cámara panorámica, por una pequeña ranura en una separación opaca cerca del plano focal de la cámara. La ranura es paralela a la línea de vuelo de la plataforma de la cámara. Con esa ranura, sin embargo, se puede fotografiar solamente una estrecha faja de terreno, a menos que el tren óptico sea movible, o pueda ir de lado a lado, mientras avanza el avión. El tren óptico de la cámara panorámica está diseñado para hacer esos movimientos. Por otra parte, para que la cámara panorámica mantenga un foco uniformemente claro mientras se mueve el tren óptico, el marco del film debe sostenerse formando arco, en vez de ser mantenido plano como en una cámara convencional. Con la película arqueada la es-

cala fotográfica se hace progresivamente más pequeña mientras la distancia a los objetivos del terreno aumenta a la izquierda y a la derecha del sendero de vuelo. En algunas aplicaciones los problemas de escala sobrepasan las ventajas de un campo panorámico de visión, de modo que resulta preferible usar una cámara convencional.

Aparatos Similares.

La cámara multibanda hace fotografías en varias bandas del espectro simultáneamente. En esencia, proporciona diversas combinaciones de lentes, filtros y películas, cada una diseñada para obtener una maximun de información acerca de una banda determinada. Una cámara típica puede tener nueve de estas combinaciones (ver ilustración página 59). Las lentes juntas dan a la cámara la capacidad de percibir ondas entre 4 y 9 micrones, lo cual significa a través de todo el espectro y en infrarrojo muy cercano. Los 9 disparadores funcionan simultáneamente, de manera que salen 9 fotos, cada una con los valores tonales que son característicos de su parte del espectro. El estudio de los valores tonales característicos en 9 fotografías de un área capacita al técnico en fotografías para determinar la "rúbrica tonal" de cada tipo de objetivo. Como resultado él obtiene mucho más información acerca de los recursos naturales del área de lo que podría obtener de cualquiera de las fotografías individuales.

El "explorador" óptico mecánico llena la necesidad de un aparato que perciba más en el infrarrojo en lo que se llama comúnmente región infrarroja térmica. La película fotográfica corriente no es sensible a las longitudes de onda en la región calórica infrarroja. Sería posible bañar la película en material sensible a tales longitudes de ondas pero se crearía el problema de proteger la película de la energía calórica de la cámara misma. Del mismo modo en que la cámara convencional tiene que ser una caja hermética a la luz para impedir que la película sensible a la luz se vele, una cámara térmica infrarroja debería tener una caja hermética al calor para mantener la película sensible al calor sin que se vele. En realidad la caja debería ser científicamente enfriada casi a cero absoluto, lo que es prácticamente imposible para un gran aparato de percepción aerotransportado.

De este modo una "cámara" que traduzca la energía térmica directamente en la película está fuera del asunto. Es posible, sin embargo, obtener imágenes fotográficas de energía térmica indirectamente, y eso es lo que el explorador óptico mecánico hace. El aparato usa un detector que consiste en un baño de material sensible al infrarrojo, tal como germanio, con un revestimiento de cobre u oro sobre la punta de un conductor eléctrico. El material ocupa un área no mayor que una cabeza de alfiler. Es enteramente posible, aún en un sistema aerotransportado, enfriar este pequeño detector con nitrógeno líquido para captar longitudes de onda de 3 a 6 micrones y con helio líquido para mayores longitudes de onda.

Un espejo giratorio dirige al detector la energía que emana del terreno.En cualquier momento el espejo inspecciona un pequeño segmento del terreno. Los fotones al golpear el detector generan una señal eléctrica que varía en intensidad de acuerdo a la cantidad de energía térmica que emana de la porción de terreno que se examina por el espejo. La señal al convertirse en un rayo de electrones, puede generar luz visible, tal como el de la mancha luminosa movible en el haz de un tubo de rayo catódico. La mancha se hace más brillante o difusa en proporción directa a la fuerza del rayo de electrones. Se registra una imagen de la luz en película fotográfica y el analista obtiene la que es, efectivamente, un mapa térmico.

El explorador no está limitado a la percepción en la región térmica infrarroja del espectro. Puede proporcionar imagenes en multibanda, en cualquier banda desde el ultravioleta cercano, a través de las regiones fotográficas visibles al infrarrojo y en infrarrojo térmico. Más aún en "fotos" hechas por el instrumento la forma general de las características del terreno es esencialmente la misma, de tal manera que las imágenes pueden superponerse o si no compararse rápidamente.

El radar oblicuo aerotransportado, comunmente llamado SLAR, da a la percepción remota atributos valiosos tales como utilidad con todo tiempo, o de cualquier hora y la capacidad de penetrar una cubierta de vegetación. A causa de que el radar opera en longitudes de ondas mayores que los otros equipos ya descritos, presenta dificultades para obtener alta descomposición. Las últimas mejoras tales

como el SLAR equipado con un sistema sintético de abertura han traído como consecuencia grandes progresos en la calidad de la imagen obtenida por radar.

En el sistema SLAR una antena de transmisión en el avión envía una leve vibración de energía microonda por un lado del avión. La energía golpea un área circular del terreno, y una antena receptora colecta la energía devuelta al avión. A mayor distancia a cualquier parte del objetivo, más tiempo necesita la señal para volver. Midiendo exactamente el tiempo ocupado, el SLAR diferencia los ecos que vuelven a él por varios pequeños anillos concéntricos. Cada anillo representa el locus de todos los puntos, dentro del gran círculo, que son aproximadamente equidistantes del avión.

Dentro de todos los anillos hay un sitio justamente opuesto al avión que se mueve a la misma velocidad que éste. En cualquier momento dado, la distancia desde el avión a todos los otros puntos del anillo, está, ya sea, aumentando o disminuyendo. Aquí se realiza el efecto Doppler: la frecuencia de la señal reflejada cambia si el aeroplano se aproxima a un punto dado o si se aleja de él. Como resultado, la energía microonda devuelta al avión desde aquellos puntos difiere en frecuencia de la energía que les fue transmitida. El receptor está diseñado para aceptar energía de aproximadamente la misma frecuencia del avión inicial y para rechazar frecuencias significativamente diferentes.

A causa de los dos efectos discriminativos-uno dependiente del tiempo empleado y el otro en el efecto Doppler- el receptor de radar acepta en cualquier instante dado sólo la energía que cumple dos condiciones: que sea del estrecho anillo dentro del cual la demora es tal que la energía está en ese instante golpeando la antena receptora, y que sea en la parte específica del anillo que es directamente opuesto al avión - la parte que casi no tiene velocidad relativa con respecto al avión, no presentando de ese modo el efecto Doppler. Juntas las dos características distintivas proveen la apertura sintética. Las técnicas mejoran grandemente la resolución espacial del sistema.

Las imágenes de radar se transforman en imágenes fotográficas de la misma manera que las imágenes fotográficas se producen por el

el explorador óptico-mecánico. La energía microonda se convierte en un haz de electrones que opera un tubo de rayo catódico y la luz es registrada en la película. La densidad de cada parte de la película expuesta está en proporción de la brillantez de la señal de radar que viene desde el punto correspondiente del terreno.

El espectómetro de rayos gamma funciona con longitudes de ondas muy pequeñas, un millonésimo de micron o menos, comparado con el billón de micrones o más en que operan el radar y otros sensores de microonda. El espectómetro es excelente para localizar sustancias radioactivas, aún cuando se opere a altitudes de varios miles de pies sobre la tierra. Por tanto, es útil para prospeccionar minerales, más aún un espectómetro de rayos gamma puede ser dedicado a operar en 400 canales diferentes, o bandas de longitudes de onda, de tal modo que el instrumento tenga considerable capacidad para diferenciar.

Análisis de datos.

La percepción remota de recursos naturales se apoya en el hecho de cada característica del terreno emite o refleja energía electromagnética en longitudes de onda específica y característica. El analista no puede esperar lograr mucho en la forma de interpretar los datos, sin embargo, hasta que toma el tiempo para determinar que patrón de respuesta espectral, que señal de tono multibanda, esperar de una característica dada. El mejor medio de lograrlo es establecer un sitio-control, en el cual cada tipo de característica que va a ser identificada por percepción remota se halle presente. Estudiando las imágenes multibanda obtenidas del sitio control el analista se provee para reconocer por sus patrones exclusivos de respuesta espectral, las características que le interesan en su misión de percepción. En forma ideal al menos uno de tales sitio-control debería incluirse en cada vuelo de percepción con el propósito de calibrar.

Eventualmente puede ser posible identificar cada característica en un área dada. La técnica de percepción en una variedad de longitudes de ondas promete aumentar el progreso hacia el objetivo. A medida que aumenta el número de bandas espectrales usadas en percepción remota se hace más completo y más realizable la identificación

del patrón de respuesta.

Al mismo tiempo el aumento de las bandas espectrales percibidas significa que la tarea de análisis de datos se hace mayor. Puede llegar a ser inmanejable a menos que el analista tenga el equipo que le ayude a correlacionar las imágenes de multibanda. El problema es que el confronte diversas imágenes en blanco y negro, cada una con valores tonales diferentes para características peculiares. El puede confundirse si interpreta una imágen, sigue con otras, se refiere a la primera, y así continúa con número de imágenes indefinidas. Una forma de tratar el problema es reconstituir las diversas imágenes multiespectrales en blanco y negro en una sola imagen de color. La técnica usual es proyectar cada imagen en blanco y negro a través de un filtro coloreado. Una batería de proyectores se usa de manera que todas las imágenes puedan ser superpuestas simultáneamente sobre la pantalla.

En tal reproducción compuesto el tono o brillantez de una característica del terreno como aparece en cualquier banda espectral se usa para gobernar la intensidad de uno de los colores usados en la composición. Al variar la selección de filtros coloreados el analista puede cambiar el contrast de color de la composición. A menudo por este medio el encuentra que una combinación de filtros proporciona la mejor interpretabilidad de otras características. Las dos ilustraciones de abajo en la página 64 son imágenes compuestas hechas de esta forma.

Una segunda manera de correlacionar imágenes de multibanda es usar una batería de sensores fotoeléctricos para explorar todas las imágenes blanco y negro simultáneamente. Los sensores registran grados de luminosidad. Para punto detectado los sensores automáticamente determinan un tono señal, que en teoría será identificable con alguna señal establecida en el sitio-control. Por este medio el analista puede identificar qué características detectó el equipo de percepción remota en el terreno.

En su forma final la técnica consistirá en una cinta impresa indicadora de los objetivos y condiciones enfrentados en cada sitio en la reproducción de multibanda.

El método no ha sido desarrollado hasta ese grado, pero aún en su estado actual de desarrollo está capacitado para proporcionar suficiente análisis automático de las imágenes para reducir considerablemente la cantidad de trabajo hecho por el analista. Las ilustraciones de la derecha muestran los resultados de una exploración fotoeléctrica de una fotografía aérea.

En una tercera técnica el sistema multibanda de percepción registra en cinta magnética, en vez de película fotográfica, la fuerza de la señal de cada objetivo en cada banda espectral. Por tanto el procedimiento es esencialmente el mismo que en la técnica de exploración fotoeléctrica. El tercer método provee un inventario completo solo momentos después que los sensores remotos han volado sobre las áreas de interés. También posibilita un análisis de las fuerzas de señal que emanan directamente de los objetivos percibidos, mientras que el segundo método, el análisis se hace sobre señales que pueden haber sido aminorado en el proceso de formación de las imágenes multibanda de los objetivos.

Algunos Usos.

Junto con el cuadro de equipo de percepción de técnicas de análisis que se han descrito es posible considerar con mayor detalle algunas de las formas en las cuales la percepción remota puede contribuir a la administración de recursos naturales. Muchas de las posibilidades se ilustran en la fotografía de la página 55, que fue hecha por la nave Gemini V y muestra una gran área de Australia Central. Las principales características del área están identificadas por letras en las reproducciones en blanco y negro de la fotografía de la página 57.

La parte sur de la Cordillera Range (fotografía página 57) tiene capas minerales paralelas con alturas y bajos que los geólogos reconocerían como indicativo de la presencia de rocas sedimentarias plegadas que varían en dureza y en susceptibilidad a la erosión. Las características de la parte Norte de la Cordillera sugerirían el geólogo que las rocas allí son ígneas o metamórficas. Hay evidencias de fallas en el borde lineal que va a través de la parte Norte de la Cordillera. La característica de la Cordillera Waterhouse (B en la ilustración) sugiere rocas sedimentarias que mucho tiempo atrás fueron

/plegadas

por una estructura anticlinal o levantada y desde entonces ha sido erosionado en diversos grados. Un estudio cuidadoso de los detalles de la sombre en vecindad de la estructura circular conocido como el Risco de Gosse revela que es una porción visible de rocas en forma cóncava que probablemente resultó de un impacto de un gran meteorito.

Aún de esta cruda interpretación de la fotografía un cateador mineralógico sería capaz de deducir que algunas de las mejores indicaciones de la presencia de minerales se encontrarán a lo largo de las líneas de falla perceptible en la Cordillera Mac Donneld. El geólogo petrolero se interesaría en la plegadura anticlinal de la Cordillera Range. Es igualmente significativo que los buscadores tanto de minerales como de petróleo a menudo pueden eliminar casi el 90% de la vasta área mostrada en una fotografía de escala pequeña como que no merece prospecciones mineralógicas o petroleras. Depósitos importantes de cualquiera de esos dos tipos se encuentran escasamente en áreas que muestran poca evidencia de su presencia.

La fotografía de la Gemini también es de utilidad para señalar los recursos de suelo de un área. Por ejemplo puede suponerse que la mayor parte de la región central (D) tiene terrenos aluviales profundos porque cerca se encuentran cordilleras de montañas de donde pueden provenir los depósitos aluviales, ya que el patrón de corrientes indica que una considerable cantidad de acción de deslave ha tenido lugar a pesar que el área ahora parece árida y porque las características geológicas de las planicies de deslave han quedado tan profundamente enterradas, presumiblemente por tierra de depósito, como para ser imperceptible. En la parte superior izquierda de la fotografía (E) la presencia de terreno arenoso se sugiere por patrones de tipo duna, que continúa apreciablemente más allá del borde (ángulo) de la fotografía.

Un lecho de lago seco puede tener tierras muy gredosas.

La fotografía es de mayor utilidad para determinar los recursos de vegetación del área. Aunque la escala fotográfica es pequeña, se puede ver diferentes límites de vegetación. Uno de considerable significación (N) muestra dos tipos de césped: Pasto Mitchell a la izquierda y Spinifex a la derecha. Las áreas de pasto Mitchell son mu

cho mejores que los otros pastizales para mantener ganado. Más aún, ellos normalmente son indicativos de los más fértiles terrenos en un área, punto de gran importancia si el propósito es encontrar un terreno para darlo al arado.

Al confeccionar los mapas de los límites de vegetación, la falta de detalles precisos en una fotografía tal como las de Gemini puede ser útil. Este hecho se hace evidente al mirar el área marcada G en la fotografía de Gemini y en las fotografías aéreas oblicuas correspondientes que aparecen al pié, izquierda de la página 56. El límite está entre mulga (un tipo de acacia) y spinifex. En la fotografía de Gemini el límite está claro; en la fotografía oblicua es difícil determinarlo aunque hay mayor cantidad de detalle.

Recientemente acompañé a Ray Perry de la Organización de Investigación Científica e Industrial del Reino Unido en un control del terreno mostrado en la fotografía de Gemini. Hicimos la fotografía aérea oblicua que aparece en la página 56. La comprobación demostró que las interpretaciones previamente hecha de la fotografía de Gemini eran correctas.

Yo me he ocupado mucho de esta fotografía de Gemini para encontrar todas sus posibles capacidades de la fotografía en nave espacial en la percepción remota de recursos naturales. Dado que el total de un área tan grande como Australia puede ser representada en un tiempo corto con unas pocas fotografías espaciales, las posibilidades de la técnica son enormes, especialmente para las grandes áreas del mundo que están por desarrollar. Australia es el caso de ejemplo gracias a los científicos australianos, virtualmente todas las características significativas geológicas, de terreno y de vegetación encontradas en aproximadamente el 70% de las regiones áridas del continente están representadas en la fotografía de Gemini que he descrito. Parece evidente que una de las mejores maneras de producir aceptables mapas de reconocimiento para el resto no desarrollado de Australia y para otras áreas subdesarrolladas del mundo podrían ser a través del uso de la fotografía espacial, suplementada con fotografías aéreas de larga escala y con comprobaciones de terreno.

Aplicaciones adicionales.

El catálogo de usos para percepción remota es extensivo. En ciencia forestal, por ejemplo, es posible en fotografía en pequeña escala, tal como de aquellas del espacio, para delinear el territorio de madera, de arbustos y de pasto en un área silvestre. Con filtro y película apropiada es posible diferenciar los tres tipos más importantes de madera: madera dura, madera blanda y mezcla de madera. En la fotografía de escala mayor uno puede determinar el tamaño de los árboles, la densidad de crecimiento y el volúmen de madera. Los ingenieros forestales también usan fotografías aéreas para detectar árboles que están enfermos o infectados con insectos. Las fotografías aéreas pueden ser usadas para ayudar a planificar los caminos entre bosques y los medios para combatir los fuegos forestales.

La administración de tierras cordilleranas está auxiliada por la percepción remota. De las fotografías laser puede conocer las especies de vegetación en un área, junto con sus volúmenes y su valor en forraje. Las fotografías también revelan otros datos concernientes a la administración de serranías, tales como aguadas, tierra salobre, plantas que son venenosas para el ganado, terrenos altamente erosionables y áreas que necesitan siembras.

Los administradores de vida silvestre pueden usar fotografías aéreas para los censos de los diversos tipos de animales y de peces. La información es importante para determinar el impacto de la caza, pesca y de los trabajos humanos sobre los peces y las especies silvestres.

Los administradores de programas agrícolas necesitan información acerca del tipo de grano que está en desarrollo en cada campo de un área grande, el vigor de cada grano y el probable rendimiento.. Donde los granos muestran falta de vigor el agricultor desea saber cual es la falla. Toda esa información puede obtenerse a travpes de la interpretación de fotografías aéreas que hayan sido hechas en condiciones apropiadas, incluyendo la escala, el tipo de filtro y de película y el estado de desarrollo del grano acorde con la estación del año.

El trabajo ya hecho en esos aspectos han indicado que la clasificación de cultivos y el uso de la tierra en seis categorías bastará para la evaluación preliminar de casi cualquier área agrícola. Las categorías de productos hortícolas, vinícolas y de arbustos de hileras, de plantas contínuas (tales como alfalfa y cereales) empastadas regadas y tierra de barbecho. Cada una de estas categorías puede ser reconocida por un intérprete de fotografías experimentado, usualmente el puede hacer identificaciones más avanzadas de tipos específicos de sembrados dentro de las seis categorías.

Consideremos el asunto del vigor de las siembras un poco más. La primera evidencia fotográfica de pérdida de vigor debido a polvillo negro en trigo y avena od de tizón en papas se encuentra en la parte casi infrarroja del espectro, donde los fenómenos de reflexión más que los de emisión son de primera importancia. En las impresiones positivas hechas de fotografía infrarroja las plantas no saludables presentan tonos anormalmente oscuros. La técnica es exitosa aún con fotografías hechas desde el espacio. Más aún, el tiempo nebuloso no interfiere apreciablemente con la técnica porque las nubes se penetran facilmente con las amplias longitudes de ondas que se usan para hacer la fotografía infrarroja.

Los recursos de agua son susceptibles hasta un cierto grado de administración a través de la percepción remota. La fotografía aérea puede señalar el área y profundidad de los bloques de hielo en importantes cursos de agua en las diversas partes del año. Siguiendo los cambios estacionales en los bloques los hidrólogos pueden regular más inteligentemente la liberación y despeje de agua en los depósitos. Los administradores de vertientes necesitan también mantener vigilancia sobre la vegetación para estimar la pérdida de agua por las plantas.

Grandes áreas oceánicas, acerca de las cuales queda mucho por conocer, pueden prospeccionarse por percepción remota especialmente desde el espacio. Por ejemplo, una cámara en un satélite orbitando la tierra puede fotografiar una franja de 3.000 millas de largo en 10 minutos de manera que es posible mantener vigilancia sobre enormes riquezas en el océano. Entre los fenómenos que pueden seguirse tenemos las crecidas de las corrientes, el curso de marejadas y los movimientos de animales marinos, algas e icebergs.

Se me ocurren muchos otros usos de la percepción remota, pero solamente puedo mencionarlos. Numerosos sitios arqueológicos han sido descubiertos a través de fotografías aéreas convencionales; es probable que la fotografía espacial revele aún más de esos sitios. Las autoridades que imponen tributos podrán usar la fotografía aérea para poner al día los mapas en cuanto al uso de la tierra y localizar esfuerzos tendientes a cambiar el uso de la tierra no investigada como por ejemplo dedicar las tierras maderas a las siembras dejando una franja de bosque paralela a la ruta probable que un tasador movilizado por tierra debería seguir, Las violaciones de la ley a menudo se detectan en fotografías por ejemplo descubriendo explotación ilegal de minas o bosques en áreas remotas, contaminación de aguas a través de fábricas de materiales que contribuyen al smog, y la pesca en aguas donde esté prohibida. El análisis de desastres tales como inundaciones, incendios, huracanes pueden ser investigados por el estudio de datos de percepción remota, y la información así obtenida puede ser usada al tomar decisiones de emergencia y en el combate contra futuras catástrofes de naturaleza similar.

Las técnicas de percepción remota están en un plano bastante primario de desarrollo. Muchas d las aplicaciones que he sugerido están todavía por ser realizadas en la práctica. Su éxito y el logro de otras explicaciones más dependerá grandemente en la investigación futura en los tipos de datos que pueden ser obtenidos de la percepción remota, el conocer, por ejemplo, donde aparecería más claramente, en el espectro una cierta enfermedad de las plantas. Mis colegas y yo hemos considerado útil establecer el inventario de recursos naturales y fotografías desde sitios altos, pero fijos, tales como torres de agua y picachos de acantilados. El trabajo ayuda a determinar económicamente y bajo condiciones controlables, las bandas del espectro que puedan usarse con mayor éxito en percepción remota para encontrar los mismos recursos.

Perspectiva.

Puedo prever la posibilidad de que las técnicas de percepción remota evolucionarán hacia una operación altamente automática, en la cual un satélite no tripulado llevará equipo multibanda de percepción junto con un computador. El satélite así equipado podría, para algún

área particular, hacer inventario de los recursos y producir un impreso que equivaldría a un mapa de recursos del área. El computador podría entonces usar los datos de inventario, junto con los factores programados (tales como que razón costo-beneficio resultaría probablemente de las distintas prácticas administrativas de los recursos) y podría llegar a una decisión acerca del óptimo administrativo de los recursos en esa área. La decisión sería enviada por telemetría a la tierra para cualquier acción que pareciese necesario. En ejemplo simple: los sensores del satélite podrían detectar un incendio en un gran bosque. Su computador podría entonces enviar información acerca de la ubicación y extensión del incendio y podrían evaluar factores tales como el tipo y valor de la madera, la dirección del viento y el medio de llegar al fuego. Sobre la base de la tasación el computador enviaría a la tierra una recomendación para combatir el fuego.

Las capacidades de este tipo no están limitadas a las emergencias. Muchos problemas de rutina se resuelven actualmente en forma manual, por el administrador de recursos podrían hacer automáticamente por señales de control electrónico. Algunos ejemplos podrían ser abrir la compuerta de riego cuando la percepción remota muestra que un campo se está secando demasiado y cerrándola cuando unas pocas órbitas más tarde, el satélite detecta que el campo ha sido suficientemente regado. Un satélite con tales capacidades puede parecer ahora, una perspectiva algo lejana, Después de unos pocos años de desarrollo de las técnicas de percepción remota tal perspectiva puede muy bien ser realidad.