

LA PERCEPCION REMOTA: UNA INTRODUCCION CONCEPTUAL*

Jorge Lira**

PROLOGO

La moderna ciencia de la Percepción Remota, como una metodología de observación a distancia de un sistema físico, ha cobrado importancia con el avance de la tecnología espacial principalmente. La Percepción Remota nació como una técnica más relacionada con las sondas espaciales Voyager, enviadas a planetas cercanos al nuestro, tuvo desarrollo acelerado con la prospección de los recursos naturales desde el espacio y ha culminado en una nueva rama de la ciencia con los métodos eficientes del análisis de imágenes, el diseño y la construcción de arquitecturas computacionales especiales y la fabricación de sensores remotos de alta eficiencia. En la actualidad, la Percepción Remota tiene elementos propios de análisis enmarcados en el método científicos que le permiten atacar problemas de índole diversa en la investigación experimental.

El autor ha querido presentar en esta obra una discusión de dichos elementos desde el punto de vista conceptual, es decir sin matemáticas o formalismos lógicos, sino más bien apelando a la intuición y sentido común del lector. Aún en este contexto intuitivo, se han cubierto los conceptos necesarios relacionados con la Percepción Remota, con una profundidad tal y mostrando la interrelación que hay entre ellos, que se espera y desea que el lector termine con una idea clara de lo novedoso e importante que hay en la Percepción Remota.

Muchas de las ideas vertidas en este trabajo han sido discutidas con mis colegas del Departamento de Percepción Remota: Ariel Alcántara, Martha Chávez y Juan Carlos de la Torre, a quienes estoy agradecido por su colaboración e interés. A lo largo de los cursos que he impartido en diversos niveles y ambientes mis alumnos me han retroalimentado con nuevos aspectos que han enriquecido la presente obra; vayan para ellos tam-

bién mis agradecimientos. Es mi deseo que esta contribución constituya un motivo más para impulsar la Percepción Remota tan necesaria, creo yo, en las labores de prospección de los recursos naturales de nuestro país.

1. INTRODUCCION

Los satélites artificiales, los sensores remotos y el manejo de imágenes digitales por medio de computadora, han modificado el estudio de la superficie terrestre y la evaluación de los recursos naturales.

La exploración del planeta Tierra ha sido una de las principales inquietudes del hombre desde la época prehistórica. Su atención se ha visto atraída por una poderosa necesidad de saber qué se encuentra más allá de sus dominios. En un principio el hombre exploró el medio ambiente únicamente con sus sentidos (vista y oído) que no requerían de un contacto físico con el objeto estudiado, para posteriormente continuar con un análisis directo por medio del tacto principalmente. En todo este proceder, el hombre ha empleado una serie de elementos que lo identifican no nada más como una creatura llena de interés por la investigación, sino también que lo identifican como un ser deseoso de dominar la naturaleza que lo rodea.

La curiosidad del hombre y su afán por conocer el territorio donde habita le condujeron primero a encaramarse en la copa de un árbol y posteriormente a subir a una colina o a una montaña, para de esta manera tener primeramente una visión de conjunto o bien una visión sinóptica. Aún en esta reseña esquemática de las actividades primitivas de exploración del hombre pueden distinguirse los elementos básicos (fig. 1) que componen hoy la moderna ciencia de la Percepción Remota: La Fuente de Iluminación, compuesta en este caso por el sol que emite luz o radiación solar; El Paisaje compuesto

* Este artículo forma parte del material de un libro que se publicará próximamente.
** Grupo de Percepción Remota del Instituto de Geofísica, UNAM.

* Dibujos de Selma Campos y Mauro Pérez

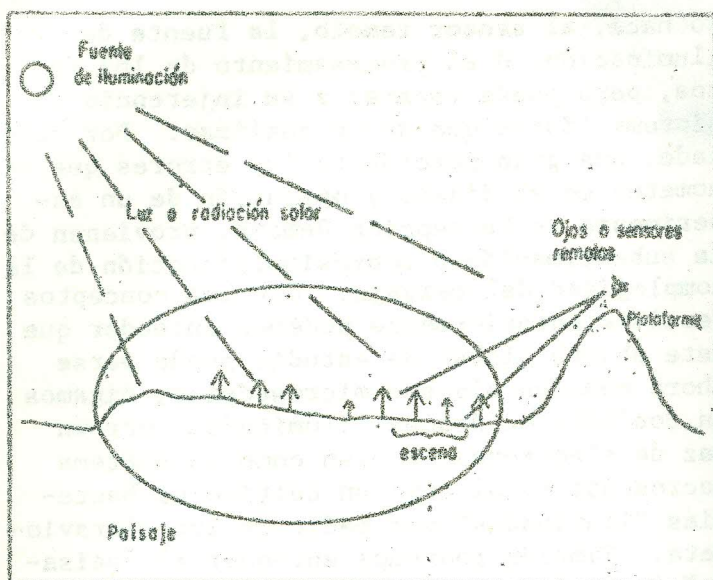


Fig.1) Representación esquemática de los elementos básicos que componen la PR

por todos los objetos* presentes en el territorio explorado por el hombre, tales como ríos, colinas, vegetación o rocas; La *Escena*, aquella sección o superficie del paisaje donde el hombre enfoca su interés, pudiendo ser la superficie de una roca o un valle completo; El *Sensor Remoto*, con el que se captura la luz proveniente de la escena y, que en este caso, permite obtener una representación visual de aquella región del paisaje que ha sido enfocada por el iris y el cristalino del ojo; La *Plataforma*, que es el lugar donde se coloca o monta el sensor remoto para obtener una visión de conjunto de la escena; El *Sistema de Procesamiento*, compuesto por el dispositivo para procesar cualitativa o cuantitativamente los datos proporcionados por el sensor remoto acerca de la escena. Tales datos analizados e interpretados en este ejemplo por el cerebro del hombre, producen información valiosa en relación al paisaje, la que es útil en la toma eventual de decisiones sobre el medio ambiente; El *Apoyo de Campo*, que consiste en la inspección directa, en varios puntos selectos de la escena, de diferentes atributos de los objetos que se encuentran en el terreno. Esto con el fin de evaluar los datos obtenidos previamente a distancia.

La distancia con respecto a la escena, a la cual se coloca la (fig. 1) plataforma permite tener una visión sinóptica a diferentes escalas del paisaje, en una sucesión de observaciones de escena tras escena hasta cubrir completamente la región deseada.

* Entendemos por objeto aquí, todo ente físico-material, formado en general por una gran variedad de elementos químicos y físicos.

Las observaciones podrán hacerse en general a diferentes horas del día, a diferentes épocas del año y muy probablemente a través de diferentes filtros de color. En este proceso, se genera una gran cantidad de datos, los que analizados adecuadamente, por medio de criterios muy bien definidos proporcionan información acerca de los recursos naturales terrestres y sienta las bases para una gestión racional de éstos.

Con el desarrollo moderno de la ciencia de la computación electrónica digital, se ha dado un auge importante a la Percepción Remota, pues la disponibilidad de estas herramientas computacionales permite la evaluación cuantitativa de un gran volumen de datos. En una simbiosis muy estrecha, las ciencias de la computación han impulsado el desarrollo de la Percepción Remota y ésta, ha generado nuevos sistemas de procesamiento digital de propósito específico, para el análisis de datos producto de las actividades en Percepción Remota.

El desarrollo de la ciencia y la tecnología ha permitido incorporar nuevos métodos y dispositivos de captura de datos a distancia lo que ha hecho que la Percepción Remota extienda su campo de acción a fenómenos muy diversos, no nada más en el mundo macroscópico sino también en el microscópico. Con la perspectiva de la ciencia y la tecnología actuales, veamos ahora cómo se identifican los elementos básicos de la Percepción Remota. La *Fuente de Iluminación*, hay sistemas en Percepción Remota que utilizan una fuente de iluminación externa, sin tener control sobre ella. Estos *Sistemas Pasivos* pueden utilizar al sol como fuente de iluminación o bien a una estrella lejana. Es claro pues que en un experimento de Percepción Remota donde se utilice al sol como fuente de iluminación, solo se podrá hacer uso de las características regulares y conocidas de éste. Es decir que en forma pasiva habrá necesidad de "esperar" a que las condiciones de iluminación sean las adecuadas para efectuar la observación correspondiente de la escena. Si se desea cubrir todo un paisaje con observaciones sistemáticas, será entonces necesario cuidar muy bien, que las condiciones de iluminación, es decir hora y estación del año, sean las que requiere el diseño del experimento correspondiente para asegurar una tasa de éxito más que razonable. Habrá experimentos que requieran de observaciones a una misma hora en la misma estación del año, o a diferentes horas en las cuatro estaciones

del año. Cualquier combinación es posible dependiendo de la aplicación deseada.

Hay sistemas en Percepción Remota que utilizan su propia fuente de iluminación y desde luego tienen control sobre ella. Este tipo de *Sistemas Activos* son los que han permitido extender el campo de estudio de la Percepción Remota a una diversidad de fenómenos donde la fuente de "iluminación" ya no emite luz visible para "iluminar" la escena. En estos casos la fuente (fig. 2) puede ser luz ultravioleta o infrarroja, rayos gamma o rayos x, o bien un haz de partículas como protones o neutrones. Con esta diversidad en

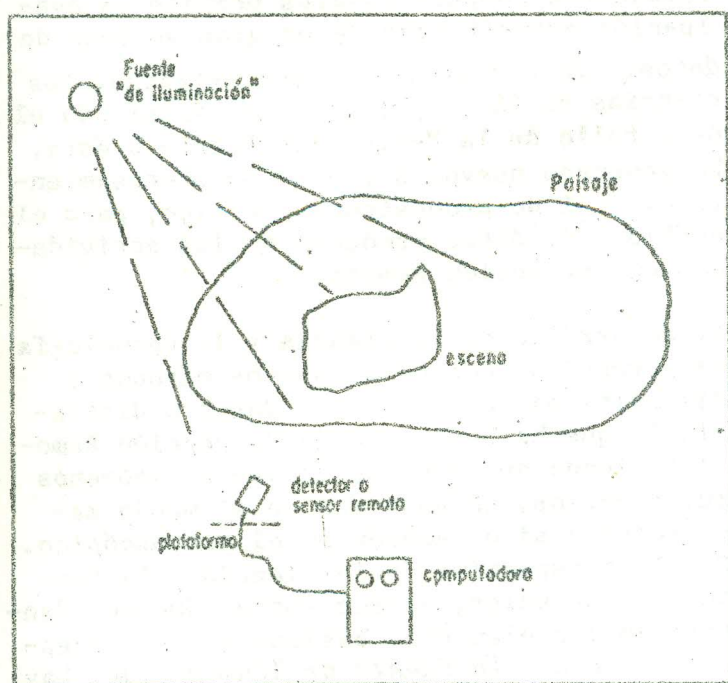


Fig.2) Diagrama de los componentes básicos de la PR representados según la investigación experimental moderna

fuentes de iluminación es posible aplicar las técnicas de la Percepción Remota no nada más en el ámbito de la Geofísica, sino también a la Medicina, la Biología, la Física Nuclear y la Industria.

El Paisaje, esta es la porción de la Percepción Remota que más retos da al investigador. Esto es así porque en primer lugar el paisaje constituye el sistema físico objeto de estudio de la Percepción Remota, en segundo lugar porque generalmente es una parte muy compleja donde intervienen muchos factores, algunos de ellos ajenos al propósito de la investigación y en tercer lugar porque sucede con frecuencia que el investigador no controla una parte, ó en algunos casos, todos los aspectos que componen el paisaje. El investigador puede controlar y de hecho

lo hace, al sensor remoto, la fuente de iluminación, ó el procesamiento de los datos, pero puede escapar a su inferencia el sistema físico que desea analizar. Por otro lado, una gran porción de los errores que se cometen en el diseño y operación de un experimento de Percepción Remota, provienen de la subestimación o sobresimplificación de la complejidad del paisaje. Con los conceptos vertidos anteriormente podemos entender que este objeto global de estudio puede verse ahora como un sistema microscópico, digamos un conjunto de átomos "iluminados" por un haz de electrones, o bien como un sistema macroscópico tal como un cultivo de bacterias "iluminadas" por medio de luz ultravioleta. También podremos entender al "paisaje" como el cuerpo humano "iluminado" por rayos x con propósitos de obtención de radiografías. Una aplicación relevante de los sistemas activos en la prospección de los recursos naturales terrestres, es el uso de señales de radar, que al interactuar con el paisaje terrestre permiten obtener datos complementarios a los que se obtienen utilizando luz visible. En otras palabras podemos afirmar que dichos sistemas activos amplían la capacidad para obtener imágenes con representación visual, las que hace algunos años no podían generarse por razones tecnológicas, conformándonos antes con el análisis de datos puramente numéricos. Esta capacidad de representación visual es la que permite a un médico el examen del sistema óseo y determinar la presencia y localización de tumores. O bien le ayuda a un biomédico en el estudio de la morfología de una bacteria con el fin de establecer su virulencia.

La Escena, es probable que este sea uno de los elementos básicos de la Percepción Remota más difíciles de entender, pues implica el manejo de conceptos lógicos, es decir de entidades no físicas. Imaginemos un plano o superficie embebidas en el paisaje y consideremos todos los objetos del paisaje que se encuentren sobre dicha superficie, de esta manera tendremos una imagen visual de una escena del paisaje. De tal forma que, variando el enfoque del lente de una cámara fotográfica, se obtienen diferentes escenas de un mismo paisaje, escenas que pueden ser plasmadas en el film fotográfico una vez que se acciona el disparador de la cámara fotográfica. Sobre la fotografía resultante quedan pues grabados en forma permanente y visible el conjunto de objetos que se encontraban sobre la escena. La fotografía resultante es por tanto una representación bi-dimensional de los objetos enfocados. En otras palabras la foto-

grafía es una imagen de la escena. Esta última consideración es de vital importancia, pues el manejo y análisis de las imágenes correspondientes a diferentes escenas, es lo que permite entender el funcionamiento del paisaje; esto con consecuencias importantes para el eventual dominio del mismo. Un ejemplo claro de estos conceptos es el de una radiografía. Un médico a la hora de enfocar su aparato de rayos x sobre una sección del sistema óseo, lo que está haciendo es seleccionar una escena del "paisaje" que en este caso es el cuerpo humano. La superficie que constituye la escena es en este ejemplo el plano sobre el que se enfoca el aparato de rayos x y los objetos son los huesos que se encuentran enfocados; la radiografía resultante es la representación visual de los huesos y su estructura. Es claro que la interpretación que hace el médico de la radiografía, le permite entender qué sucede en el sistema óseo del paciente, le permite dilucidar posibles problemas como fisuras, fracturas, debilitamiento o tumores en algún hueso y

sobre todo le permite tomar las acciones correctivas necesarias que le conducen al "dominio" del "paisaje", es decir le conducen a reestablecer eventualmente el estado de salud del paciente.

El Sensor Remoto, el desarrollo tan importante que ha tenido la tecnología en esta área de la Percepción Remota, le ha permitido al hombre ampliar (tabla 1) la capacidad visual de sus ojos. Nuevos y modernos detectores permiten ahora capturar luz invisible como la ultravioleta o la infrarroja. También permiten detectar radiación como los rayos x y gamma y partículas como electrones, protones o neutrones. Ejemplos de tales detectores son: una placa fotográfica, película fotográfica infrarroja, detectores Geiger, fotodetectores, fotomultiplicadores y cámaras de televisión. Muchos de estos detectores son baratos, de gran eficiencia y algunos de ellos proporcionan imágenes en forma cuantitativa, es decir en forma numérica, de tal manera que la información resultante puede ser almacenada en computador-

TABLA I
Algunos sensores y sus principales características.

región espectral y tipo de sensor	intervalo de longitud de onda (μm)	máxima resolución espacial (miliradianes)	capacidad de penetración atmosférica	capacidad de operación
Rayos gamma Contadores de centelleo, fotomultiplicadores acoplados a cristales como NaI y LiGe	10^{-16} a 10^{-5}		utilizable sólo en medios de muy baja densidad o a muy corta distancia del objeto	día y noche
Rayos X Contadores de centelleo y Geiger.	10^{-5} a 0.004		igual que el caso anterior	día y noche
Ultravioleta Película fotográfica con lentes de cuarzo, fotomultiplicadores	0.004 a 0.38	0.01 - 0.1	neblina	día solamente
Visible Televisión, cámaras convencionales, foto- multiplicadores	0.38 a 0.78	0.01 - 0.001	neblina y contaminantes industriales	día solamente
Infrarrojo Fotomultiplicadores, detectores de estado sólido, película sensible al infrarrojo	0.78 a 10^3	0.01 - 1.0	neblina, contaminantes humo y nubes poco espesas	día y noche
Microondas Radar con antenas emisoras y barredoras	10^3 a 10^6	2.0 - 10.0 para sistemas de apertura, real.	neblina, contaminantes humo, nubes espesas y lluvia	día y noche

ra para proceder a un análisis matemático ulterior. Todos estos detectores han ampliado enormemente la capacidad de observación en Percepción Remota y pueden proporcionar actualmente imágenes de gran calidad de paisajes tan remotos como las lunas de Júpiter o de una galaxia distante. También han establecido la capacidad de observación de "paisajes" microscópicos como un virus detectado por medio de un microscopio electrónico. Sistemas o paisajes internos como son los órganos del cuerpo humano o los defectos interiores de una pieza de metal son ahora capturados utilizando detectores de rayos x. En particular y de consecuencias socio-económicas, le han proporcionado al hombre un conocimiento más diversificado de su medio ambiente para la evaluación y manejo de los recursos naturales terrestres.

La Plataforma, a medida que la plataforma de observación se coloca a una distancia mayor de la escena, la visión de conjunto es mayor también, no así el detalle o grado de discernimiento, el que se hace menor. Discernir objetos relativamente pequeños o muy próximos entre sí, requiere de detectores de alta resolución*, las que son indispensables para la utilización de plataformas colocadas a una gran distancia de la escena. Las plataformas colocadas a gran altura sobre la superficie terrestre son muy útiles en la prospección de los recursos naturales y en general en la exploración de nuestro planeta. Para estas aplicaciones de la Percepción Remota, la plataforma espacial ha demostrado ser la más adecuada, puesto que los modernos detectores permiten obtener imágenes de la superficie terrestre con elementos de resolución de 30 m por lado, cubriendo escenas de aproximadamente 185 por 185 km², es decir una superficie de 33, 225 km². Otros sensores con plataformas espaciales también, son capaces de obtener imágenes de escenas de 100 por 100 km², con un elemento de resolución de 10 por 10 m², es decir que el área mínima de observación del sensor es de 10 m por lado. Las plataformas espaciales se encuentran orbitando a varios cientos de kilómetros sobre la superficie terrestre y esto quiere decir que el detalle y la extensión cubierta con este tipo de plataformas son muy adecuadas para aplicaciones geológicas y geofísicas. Existen

* por resolución se entiende aquí la capacidad de un sistema sensor para separar los elementos de un objeto bien definido como una sucesión de líneas equidistantes.

desde luego plataformas que pueden estar a poca altura o a corta distancia de la escena donde las aplicaciones son diferentes a las de evaluación del medio ambiente geofísico. La observación de un cultivo de bacterias se hace a corta distancia pero, la escena observada es pequeña también, por lo que de todas maneras se requiere de un detector de alta resolución para poder observar los detalles más finos de las bacterias.

Puesto que históricamente y en general el nombre de la Percepción Remota ha sido tradicionalmente asociado a la exploración del planeta, veamos con más detalle que consecuencias tiene la utilización de la plataforma espacial en la prospección geológica y geofísica. Una plataforma espacial necesariamente es de tipo satelitaria, es decir el sensor remoto se encuentra instalado a bordo de un vehículo orbital o satelitario, el que a través de celdas solares, sistemas de control y telecomunicación automatizados, proporcionan la posibilidad de una cobertura regular y repetitiva de la superficie terrestre. Las órbitas de este tipo de satélites son generalmente polares, por lo que el movimiento combinado del satélite y el de rotación de la tierra (fig. 3) hacen que la

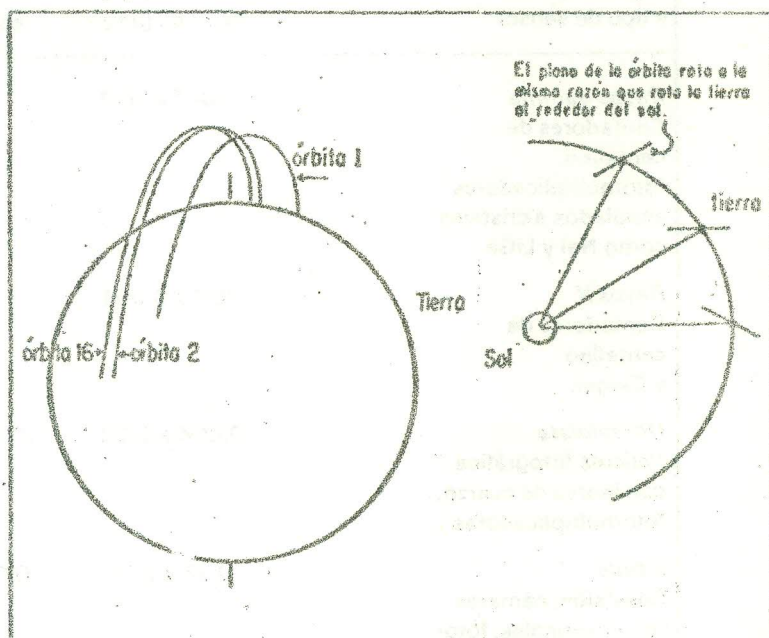


Fig.3) Cubrimiento terrestre por un satélite de PR con órbita polar

superficie de ésta, sea cubierta totalmente en periodos de entre 2 y 3 semanas. Además, la órbita del satélite está ajustada de tal manera que la observación de una misma región se hace a la misma hora del día: 10:00 hrs local aproximadamente. Esto deja como única variación en las condiciones de ilumi-

nación de la escena, a las variaciones debido a las estaciones del año, sobre todo en latitudes cercanas a las polares, donde el ángulo de elevación solar varía considerablemente de verano a invierno para una misma hora del día. Otra ventaja de este tipo de satélites, es que el envío de datos se hace inmediatamente a la estación terrestre más cercana, por lo que en principio las imágenes resultantes pueden quedar disponibles en un lapso de tiempo de algunos días.

El Sistema de Procesamiento, los sensores remotos actuales son capaces de producir imágenes de alta calidad en forma analógica o digital, es decir pueden proporcionar una representación continua o discreta de la escena. Una imagen continua es aquella donde la variación de tonos de gris o color se presenta sin discontinuidades, sin líneas, o fronteras, aparte de las que pudiera tener la escena misma. Una imagen discreta es aquella que está compuesta por elementos definidos y diferenciados como puntos o cuadrados. Una escena es siempre continua, no así la imagen respectiva. En realidad una representación o imagen continua es una idealización de lo que realmente sucede. Una fotografía podrá verse continua, pero al ser amplificada podrán apreciarse una colección de pequeños puntos de diferentes tonalidades, que son los que componen la imagen en forma similar a un rompecabezas. En general diremos que una imagen será entonces catalogada o discreta dependiendo del grado de resolución que tenga el sensor y del detalle que se desee discernir. Solo las imágenes ópticas podrán considerarse siempre como continuas. Daremos el nombre de digital a aquellas imágenes discretas donde cada punto que la compone está dado no por una tonalidad sino por un número, asignando por ejemplo el 0 al tono más oscuro y 127 al más claro. Debido a esta representación numérica de una escena es que es posible el manejo por computadora de la imagen digital correspondiente, con las consecuencias evidentes en rapidez y volumen en el análisis de una gran variedad de imágenes. La disponibilidad de computadoras digitales ha hecho que ahora se puedan analizar imágenes digitales de gran dimensión y complejidad, lo que ha dado a la percepción remota un impulso notorio en los últimos 10 años. Más aún, este desarrollo de la Percepción Remota ha demandado recursos computacionales cada vez más importantes, llegando a ocurrir que los especialistas en ciencias de la computación, hayan consagrado un esfuerzo considerable al diseño y construcción de arquitecturas y

lenguajes computacionales con el propósito específico de analizar imágenes digitales principalmente y esto ha dado un impulso aún mayor a la Percepción Remota. Los sistemas computacionales cuentan actualmente con un rango muy amplio de algoritmos* para el análisis de imágenes, los que a través de sistemas de despliegue (fig. 4) de color de alta resolución, permiten desplegar la imagen digital y proporcionan al usuario una comunicación de tipo interactivo con la computadora en donde residen los mencionados algoritmos de análisis. Esta comunicación interactiva produce información, resultando de dicho análisis, que puede ser canalizada a bancos de memorias en la misma computadora y de donde puede ser extraída, representada o manipulada lo más adecuadamente posible para la toma de decisiones acerca de uno o varios aspectos del paisaje. A esto último se le llama sistema de información y convierte a la toma de decisiones en un proceso cuantitativo y de rápido apoyo a la gestión de un recurso específico del paisaje.

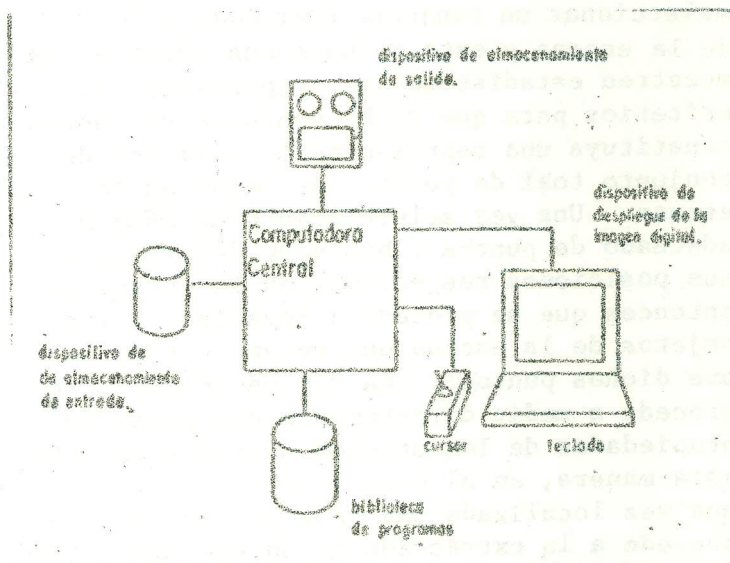


Fig. 4) Sistema computacional aplicado a una pantalla de despliegue para el análisis interactivo de imágenes digitales

El Apoyo de Campo, las técnicas de apoyo de campo se refieren a la inspección cualitativa y cuantitativa de lugares selectos del paisaje. Estas técnicas son resultado de los métodos de muestreo estadístico y de me-

*Un algoritmo es una sucesión lógica de instrucciones, las que traducidas por medio de un lenguaje de computadora como FORTRAN, proporciona al sistema computacional las órdenes necesarias para ejecutar una tarea específica.

didadas de propiedades físicas y químicas de los objetos que se encuentran en la escena. Es claro que no es posible ni tiene sentido hacer una evaluación exhaustiva de todos los objetos de la escena, pues además de que esto sería costoso y de gran consumo de tiempo, dejaría de lado a la Percepción Remota, es decir, ya no tendría razón de ser la observación a distancia desde una plataforma particular. Sin embargo, la observación directa de ciertos puntos de la escena es necesaria para la correcta validación de las observaciones hechas por Percepción Remota. Esto es así porque las medidas hechas por un sensor remoto son en general relativas al sensor mismo, a la metodología usada y pueden estar distorsionadas por una gran variedad de aspectos no controlables por el experimentador; tales como interferencia atmosférica si se trata de una plataforma satelitaria, o interferencia de los tejidos blandos si se trata de obtener una radiografía. A partir de los hechos arriba mencionados, se desprende la necesidad de seleccionar un conjunto adecuado de puntos de la escena y esto se hace con técnicas de muestreo estadístico que proporcionan los criterios para que dicho conjunto de puntos constituya una representación realista del conjunto total de puntos que componen la escena. Una vez seleccionados un número adecuado de puntos y habiendo determinado sus posiciones respectivas en la escena es entonces que se procede a localizar a los objetos de la escena que se encuentran sobre dichos puntos y una vez hecho esto, se procede a medir directamente una serie de propiedades de los objetos en cuestión. De esta manera, en el caso de una radiografía, una vez localizada una zona sospechosa, se procede a la extracción de un poco de tejido para someterlo al análisis de laboratorio cuyos resultados determinarán la acción correctiva a tomar. En el caso de estudios de silvicultura desde una plataforma satelitaria, se procederá a inspeccionar un cierto número de árboles, determinando propiedades como área foliar, diámetro mayor del tronco o estado de salud, en caso de que los árboles se encuentren infestados por una plaga. Todos estos datos son retroalimentados al sistema computacional, el que correc-

tamente programado dará la localización y extensión de un tumor, o proporcionará las zonas de árboles enfermos. Desde luego habrá ocasiones en las que el apoyo de campo no es posible o es demasiado costoso, en cuyos casos las inferencias que se hagan sobre la escena y el paisaje tendrán que ser indirectas. Este es el caso de regiones de difícil acceso en el planeta o de cuerpos celestes muy alejados. Aquí es muy importante puntualizar que ni la Medicina, ni la Astronomía se han convertido en Percepción Remota o esta en Astronomía y Medicina, sino que la Percepción Remota es una metodología científica multidisciplinaria cuyas técnicas y métodos son de aplicación en diversas áreas del conocimiento científico.

El nombre de Percepción Remota aparece inicialmente durante las primeras misiones interplanetarias de sondas espaciales no tripuladas, a bordo de las cuales se instalaron cámaras de televisión para la captura y envío a la tierra de imágenes correspondientes a regiones selectas de la superficie de otros planetas. El desarrollo de la ciencia de la Percepción Remota, por su aplicación novedosa a la geología y a la geofísica, se ha visto involucrado tradicionalmente al estudio de la superficie planetaria terrestre. De aquí que la Percepción Remota se ha definido en su desarrollo histórico, como la obtención de información acerca de una superficie o escena, utilizando luz visible e invisible, por medio del análisis automatizado de datos obtenidos a distancia por un sensor remoto. Esto con fines de evaluación del medio ambiente en general y en muchas ocasiones con el objeto de apoyar las labores de prospección de los recursos terrestres, lo que constituye una herramienta valiosa para el bienestar de la humanidad. El avance que ha tenido la tecnología asociada a la Percepción Remota ha hecho que el método propio de esta moderna ciencia sea aplicable a una gran variedad de escenas y paisajes y la evaluación no se restringe ya al medio ambiente sino que se realiza a una diversidad de sistemas físicos.

* * * * *

