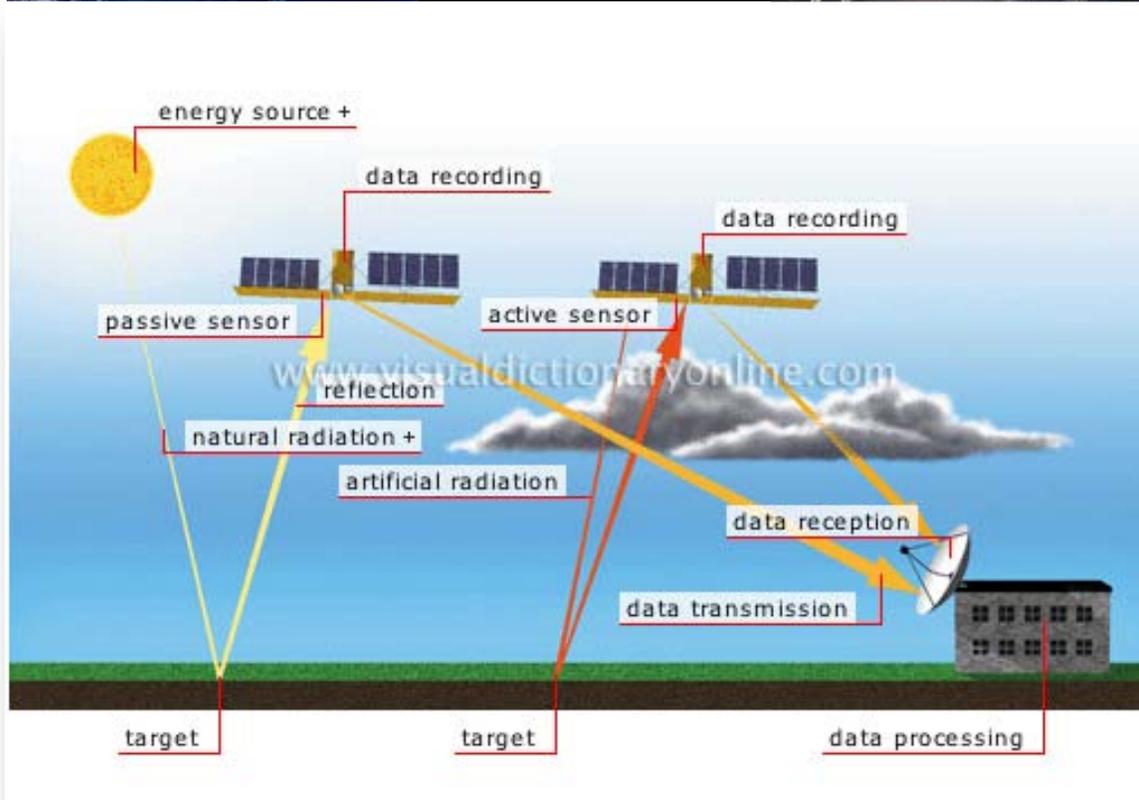
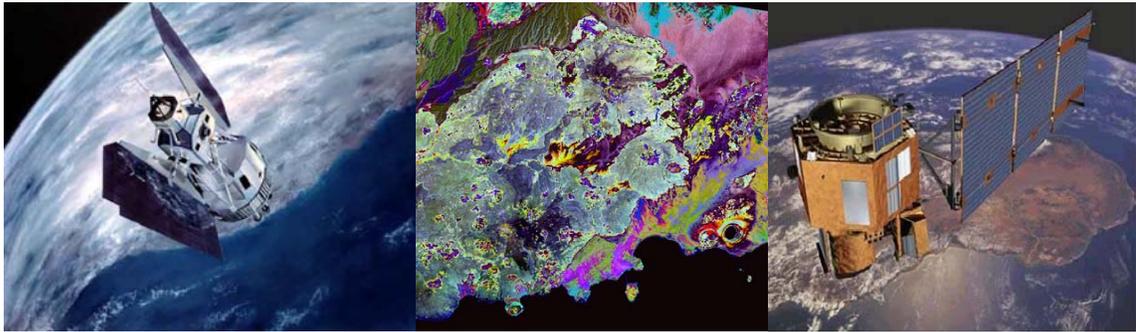


# CAPÍTULO I

## EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LAGOS Y EMBALSES USANDO LA PERCEPCIÓN REMOTA



## 1.1 Antecedentes de percepción remota y procesamiento digital de imágenes

### *SÍNTESIS HISTÓRICA SOBRE EL ORIGEN DE LA PERCEPCIÓN REMOTA*

La percepción remota ha estado presente a través de los tiempos con una presencia mayor a la que podríamos pensar. No es un tema del cual se tengan evidencias a partir de la época de la miniaturización, del internet y de la banda ancha, sino es más bien un tema que data desde la invención de las cámaras.

Se puede decir que la percepción remota es un tema que ha tenido un gran auge en los últimos años, ya que actualmente gran cantidad de información es recibida a través de imágenes satelitales codificadas, donde las computadoras y los sistemas de transmisión de información digital pueden captar, almacenar y transmitir cada vez con una mayor fidelidad.

Se dice que las imágenes de los satélites hoy en día se pueden descomponer en "capas de diversos colores", aunque en la realidad lo que podemos hacer es captar las diferentes bandas del espectro electromagnético, que son transmitidas o reflejadas por los diferentes objetos.

Del uso de la cámara surge la idea de fotografiar la Tierra desde las alturas, en aquel entonces desde globos aerostáticos, con el fin de realizar un mapeo topográfico de algunas zonas, sin agregar que todas estas operaciones eran costosas, y las imágenes no tenían una buena resolución al estar un cuerpo en movimiento.

Para fines de los 1800, todas las condiciones para el desarrollo de la fotografía mejoraron, al tener menores tiempos de exposición, y poder obtener secuencias en movimiento. También se podían obtener los negativos de las

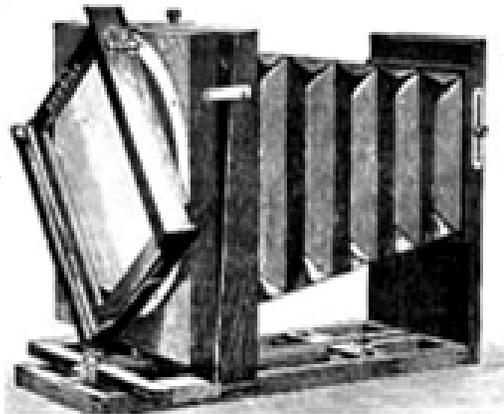


Figura 1.1 La invención de la cámara es el principal antecedente para la percepción remota. Fuente: Magazine.

## CAPÍTULO I: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LAGOS Y EMBALSES USANDO LA PERCEPCIÓN REMOTA

fotografías, manipular la abertura de los obturadores, y además las placas podían ser reveladas en otro sitio, es decir los negativos ya podían ser más fácilmente transportados, lo que condujo a que todo fuera operado con mayor facilidad y así poder ser utilizado para los fines de la percepción desde el aire.

Inicialmente, se empezaron a tomar fotografías aéreas desde globos aerostáticos, y en algunos otros casos desde papalotes, en donde la cámara era colocada para tomar algunas imágenes, lo cual se podría mencionar que era el comienzo de la fotografía aérea. Un ejemplo claro de este uso fue en 1906, cuando se trataron de ver los daños generados por el sismo de San Francisco.



Figura 1.2 La idea de fotografiar las ciudades en las alturas surge tras la utilización de las cámaras desde globos aerostáticos. Fuente: Manual TELEDET, Uruguay.



Figura 1.3 El montaje de cámaras en papalotes, entre otros dispositivos, fue importante para lograr percibir los fenómenos desde las alturas, como el caso del terremoto de San Francisco en 1906. Fuente: Manual TELEDET, Uruguay.

Para el inicio de los 1900, empieza algo también fundamental para el desarrollo de la percepción remota: la era de la aviación. Dicha era marca a través de todo el siglo XX, a un paso muy acelerado, un cambio en los dispositivos aéreos, de unos rudimentarios a otros cada vez más sofisticados, pudiendo alcanzar cada vez mayores alturas.

Así mismo, durante el siglo XX se logra la obtención de imágenes cada vez con mayor calidad, que en conjunto con las cámaras automáticas y los dispositivos para captar distintas ondas de luz y de energía (como aquellas utilizadas para obtener los distintos espectros electromagnéticos: infrarrojos, ultravioletas, la diversa gama de los colores de la luz visible) logran obtener imágenes de diferentes sitios en condiciones adversas.

Durante la época de la Primera Guerra Mundial, algunas de las cámaras aparte de haber mejorado su resolución y ser más pequeñas, fueron montadas en aviones, generando vistas aéreas de grandes superficies de terreno, lo cual para el reconocimiento de las zonas de ataque en las estrategias militares era de vital importancia.

Se llegaba a tener la descripción, a grandes rasgos, de los lugares por los que se planeaba generar algún ataque, además de evitar mandar por tierra diversas escuadrillas dedicadas a dicho fin.

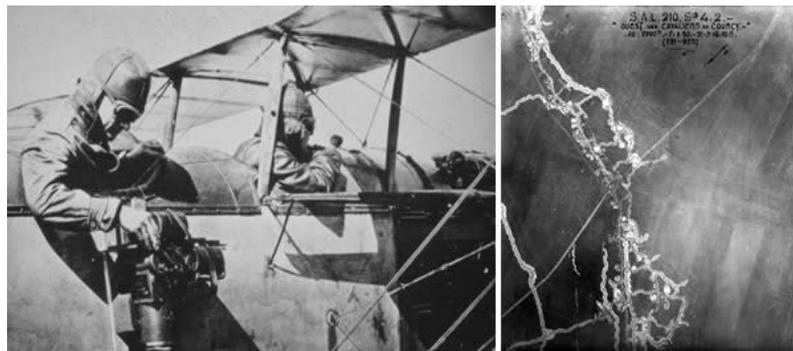


Figura 1.4 El reconocimiento de grandes superficies a través de la fotografía tuvo una gran utilidad durante la Primera Guerra Mundial. Fuente: Profesional en fotografía Cristina Arce.

La fotografía aérea adquiere importancia en el ramo de la ciencia, en el sentido que científicos dedicados a la explotación petrolera, en parte debido al auge que comienzan a tener en su demanda los combustibles fósiles, la utilizaron para la exploración visual y geológica de diversos sitios.

Ya para la Segunda Guerra Mundial, la fotografía aérea era una de las herramientas más importantes para proveer tanto de perspectivas verticales así como de perspectivas oblicuas, y llegar a tener una descripción detallada y precisa de los campos de batalla en los cuales se tenía interés. Se generaba una mayor sensibilidad de la geografía, logrando conocer detalles mucho más profundos de las zonas a investigar. Se ubicaban principalmente a través de la banda de los infrarrojos: batallones, sitios de almacenamiento de información y de armas, o en su defecto de otros fines bélicos.



Figura 1.5 Las diferentes perspectivas generadas por la fotografía aérea en la Segunda Guerra Mundial fueron importantes en el sentido de describir las zonas de ataque.

Fuente: Fotografía aérea (Word Press).

El logro de detectar elementos camuflajeados en el terreno fue un gran paso para las misiones militares. Los objetivos se volvieron más claros, generando que la penetración a la zona del enemigo fuera estudiada, disminuyendo notablemente la pérdida de elementos por parte de las fuerzas de los agresores. Así mismo, se identificaba con precisión la profundidad de aguas someras a través de las imágenes fotográficas aéreas de dos bandas. Se analizaban las bandas del espectro electromagnético y la radiancia emitida que distinguía a los diferentes materiales presentes en el medio natural.

Cabe mencionar que también existían cohetes y misiles que alcanzaban grandes altitudes llevando consigo sensores diversos, los cuales realizaban la detección de información diversa sobre los países, territorios y batallones, pertenecientes tanto a las potencias del eje como a la de los Aliados, programando así objetivos de alcance específicos para impacto.

Para fines de la Segunda Guerra Mundial, y como consecuencia de las diferencias políticas e ideológicas entre los Estados Unidos y la antigua Unión

Soviética, surge lo que se conoce como la Guerra Fría, donde los distintos conflictos entre las potencias concluyeron en una competencia:

- ✚ En lo militar, de tensiones a guerras, de propaganda, de armas nucleares y destrucción masiva, de espionaje.
- ✚ En los deportes, la educación y la ciencia, a través de un mejoramiento constante y de las técnicas, formando atletas y científicos de alta capacidad.
- ✚ La competencia tecnológica y espacial, brindando un impulso enorme en cuanto a la forma de ver y percibir a nuestro planeta, de comunicarnos, de transportarnos, de realizar procesos, y una serie de creaciones que ha fomentado el desarrollo, beneficiando a la sociedad.



Figura 1.6 La carrera espacial durante la Guerra Fría fue un impulsor para la ciencia y la tecnología. Fuente: Cortesía.

La Segunda Guerra Mundial fue un hecho lamentable y catastrófico en la historia de la humanidad, pero los avances científicos y tecnológicos generados por medio de las acciones y estrategias militares permiten hoy en día la detección de fenómenos naturales con precisión, la evaluación y conservación del entorno, la medicina, las comunicaciones de alta velocidad, etc.



Figura 1.7 Dentro de los primeros sensores se tuvieron cámaras montadas en naves espaciales dedicadas a la observación meteorológica. En esta foto se observa el TIROS – 1, lanzado en 1960 para realizar este tipo de acciones. Fuente: Cortesía.

Para la década de los años sesentas, los avances en lo que respecta a las fotografías multiespectrales, espectrómetros, radares, dispositivos de escaneo, entre otras fuentes de detección, tomaban un fuerte impulso y mejoraban en cuanto a calidad y aplicaciones que se tenían. Se realizaban mapas espectrales de grandes terrenos con fines de estudio de la geología, la mineralogía y los suelos. Los avances más relevantes están determinados por el lanzamiento de la nave espacial Sputnik, de la URSS y el lanzamiento de satélites artificiales por parte de los Estados Unidos, junto con el programa Apolo.

Los programas espaciales de ésta década permitieron generar imágenes multiespectrales desde el espacio, tener un programa de detección de fenómenos meteorológicos, un desarrollo importante en cuanto a tecnologías de comunicación y de detección a través de sensores, e incluso tener en cuenta un programa espacial experimental sobre los recursos naturales. Éste programa permitió la llegada a los seres humanos a la luna, por lo que el acelerado crecimiento en todos los rubros de la ciencia, la tecnología y la investigación fue fundamental.

Actualmente la colocación de satélites en el espacio ha sido muy intensa, la toma de imágenes cada día es mejor, debido a las mejores resoluciones que se obtienen hoy en día, con un rápido avance. Los sensores detectan espectros más amplios, con una mejor evaluación de parámetros, lo que ha llevado a que las aplicaciones de la obtención de dichas imágenes crezcan a un ritmo acelerado.

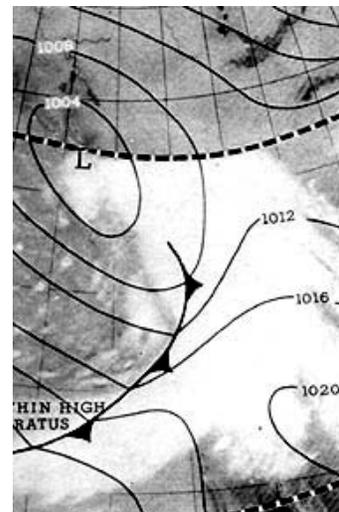


Figura 1.8 La detección de los fenómenos meteorológicos y su predicción fue una aportación de la revolución tecnológica de la época. Fuente: Cortesía.

## CAPÍTULO I: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LAGOS Y EMBALSES USANDO LA PERCEPCIÓN REMOTA

Las aplicaciones creadas, como se ejemplifican en la figura 1.9, siguen ayudando a generar acciones militares de fines bélicos, aunque crecen para fines benéficos a la humanidad, como es una mejor detección de fenómenos meteorológicos, la identificación de parámetros de crecimiento urbano, detección de parámetros topográficos, geográficos, y de manera importante a identificar los cambios que han generado las acciones humanas sobre los ecosistemas y el entorno.

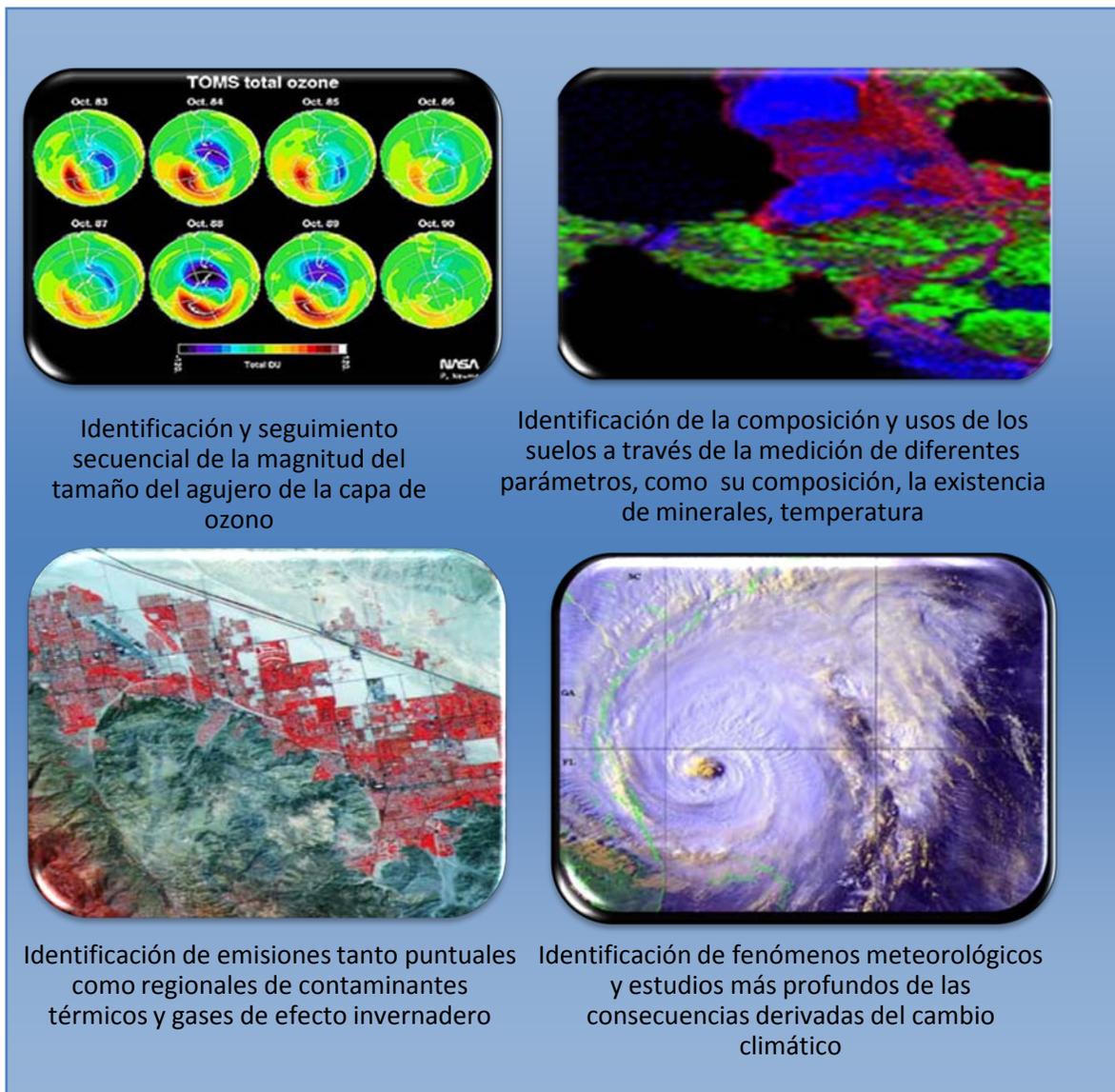


Figura 1.9: Algunas aplicaciones de la percepción remota. Fuente: The Remote Sensing Tutorial, Dr. Nicholas Short, The History Of Remote Sensing; Applications of Remote Sensing: Meteorological, Oceanographic and Earth Systems, NASA.

## LOS PROCESOS DE DETECCIÓN Y TOMA DE IMÁGENES

La percepción remota ha estado a través de los tiempos con una presencia mayor a la que suponemos. Como se comentó anteriormente, la definición de los artefactos para obtener las imágenes satelitales, los espectros detectados y



los vehículos mediante los cuales son tomados han evolucionado especialmente en los últimos 100 años de una forma sorprendente.



Los cambios generados a partir del mejoramiento de los vehículos y medios de procesamiento, almacenamiento y codificación de la información han sido claramente una gran ayuda para obtener mejores imágenes, las cuales son transmitidas a una mayor velocidad, por medios electrónicos más precisos y confiables.

Igualmente, en nuestros días las comunicaciones y la transmisión de datos son fundamentales para el crecimiento de nuestro mundo, un mundo globalizado donde las actividades de las personas tienen su base en el análisis detallado de la información proveniente de cada una de las regiones y localidades del planeta.

Figura 1.10 Los cambios en los vehículos y medios de procesamiento de información ha sido intensa en los últimos 100 años. Fuente: Cortesía.

La información está caracterizada por ser inmediata, amplia y suficiente para mantener conectada y articulada a prácticamente todas las personas que viven en la Tierra.

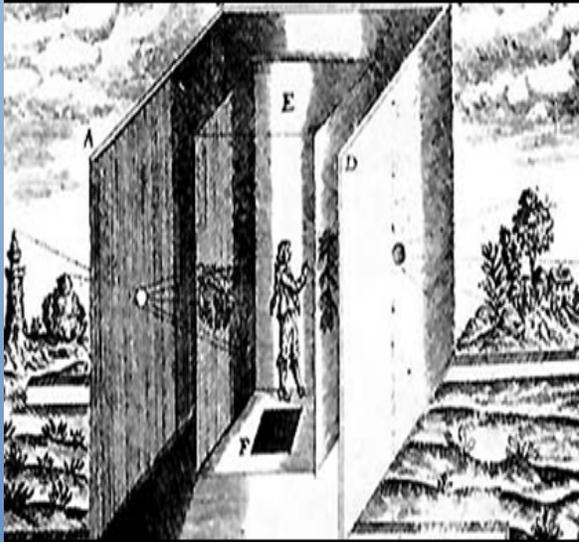
*LA EVOLUCIÓN DEL PROCESAMIENTO DE LAS IMÁGENES*

El procesamiento de las imágenes ha tenido un proceso de evolución muy rápido, ya que día a día todo cambia, la tecnología y la investigación avanzan a un ritmo acelerado, impulsado por el aspecto de la mejora de la calidad y por la miniaturización de los dispositivos utilizados para las actividades de los seres humanos.

Así mismo la utilización para la mayoría de los aspectos de las herramientas computacionales y la digitalización de la información han sido una gran ayuda para que todo lo que captamos y percibimos de nuestro entorno sea almacenado más fácilmente, con una mayor claridad y gran nitidez, con detalles que con nuestra simple vista no podemos observar.

Sin embargo el que actualmente se tengan avances e importantes fuentes de información no fue posible sino a través de un desarrollo en estudio de los fenómenos luminosos y su espectro, la captura y su almacenamiento.

Algunos antecedentes de relevancia que se destacan por ser grandes aportaciones a lo que es el proceso y obtención de imágenes se describen a través de una breve cronología como se muestra a continuación:



En 1816, el físico francés Nicéphore Niépce consigue una imagen mediante la utilización de la cámara oscura y un procedimiento

La luz y las imágenes han sido objeto de estudio desde hace algunos siglos, por ejemplo con Leonardo da Vinci y Alberto Durero, renacentistas muy destacados que aportaron entre otras cosas la primer cámara oscura, estudiaron a detalle algunos efectos provocados por la luz, etc. Este adelanto fue rápidamente difundido en Europa, ya que era una gran ayuda para captar sobre alguna superficie la luz derivada de los objetos del exterior.

fotoquímico, aunque no permanece grabada por mucho tiempo. En 1831 Daguerre realiza las primeras fotografías en planchas recubiertas con una capa sensible a la luz de Yoduro de Plata, la cual se exponía un gran tiempo y el positivo era revelado con mercurio. La imagen se degradaba y acababa desapareciendo. Al poco tiempo se logró el fijado de las imágenes a través de un fijador de sal común.



Figura 1.11 (superior izquierda) La cámara oscura creada por Da Vinci y Durero tuvo una difusión rápida e importante en Europa. Fuente: Cortesía.

Figura 1.12 (izquierda) Inicialmente las imágenes fotográficas eran de baja calidad y los tiempos de exposición eran muy grandes. Fuente: Cortesía.

Tallbot mediante la invención de los negativos fotográficos, logró obtener un gran número de copias de una imagen mediante placas platinizadas tratadas con ácido gálico y sales de plata, creando imágenes fijas o fotografías con un tiempo de exposición de tan solo unos segundos.

En 1871 se crea en el Reino Unido un método novedoso, donde las placas podían ser expuestas de forma sencilla sin necesidad de ser reveladas al instante. Poco después se manejaron los recubrimientos de gelatina y bromuro de plata, aunque fue pronto reemplazado por las cintas flexibles, permitiendo obtener múltiples exposiciones.

A principios del siglo XX los avances en las técnicas de exposición y revelado habían avanzado ampliamente, lo que permitió obtener una mejor calidad en las imágenes en blanco y negro. Se crean las primeras placas denominadas Autochromes por los hermanos Lumiere, las cuáles a través de cámaras de tres exposiciones, lograban obtener las primeras imágenes a color.

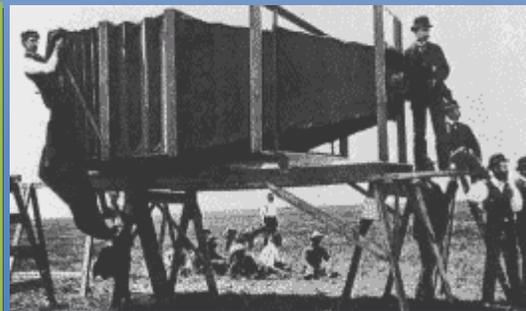


Figura 1.13: Cámara de tres exposiciones para obtener imágenes a color. Fuente: Cortesía.

Los tiempos de exposición se reducen drásticamente, y los mecanismos mecánicos se perfeccionan, de tal forma que se permite obtener imágenes por medio de objetos que alcanzaban grandes alturas.



Figura 1.14: Los tiempos de exposición reducidos y la automatización de los dispositivos, permite obtener imágenes de la Tierra desde las alturas.



A fines de la década de los 20's se crea la primera cámara de 35 milímetros. Las películas donde se grababan las exposiciones eran más pequeñas, y las cámaras al ser de bajo costo, las hizo más populares.

Para principios de la década de los 30´s se crean las fuentes luminosas, primero a través de pequeñas detonaciones de polvos de magnesio, y más tarde con la lámpara de flash, la cual tras su incremento de potencial lumínico y su miniaturización, perdura hasta nuestros días.



Figura 1.15 (superior derecha): Las primeras fuentes luminosas tenían grandes dimensiones e iluminaban gracias a pequeñas detonaciones. Fuente: Cortesía.

Figura 1.16 (centro derecha): Aplicación de la fotografía en la II Guerra Mundial. Se aprecia la vista de la ciudad de Colonia tras el bombardeo sufrido. Fuente: Cortesía.

Para la década de los 40´s, los avances en las cintas y mecanismos para la exposición y toma de fotografías a color había avanzado significativamente. Los dispositivos aunque eran costosos, se popularizaron rápidamente. Muchas innovaciones son la consecuencia de las aplicaciones militares en la II Guerra Mundial.



*Figura 1.17: La definición de las imágenes en blanco y negro a fines de los 40´s era impresionante, al igual que la potencia de las lentes; ello debido a los métodos de su fabricación, por lo que se pudieron obtener imágenes a gran altura y con una nitidez nunca antes obtenida.*



La percepción remota comienza su revolución, ya que a través de cámaras de mejor definición y los primeros dispositivos electrónicos, como lo son los amplificadores de luz (los cuales permitían obtener la luz procedente de cuerpos lejanos), se empieza a captar la tierra de diferentes formas. La percepción remota se aplicó inicialmente para fines diversos a los bélicos o militares.

A principios de los 60's se introducen en las películas fotográficas químicos como zinc y cadmio, lo que permite mejorar los costos en el de obtención de fotografías.

Simultáneamente, en aquellos años se monta el primer satélite para usos meteorológicos, un 1º de abril de 1960, con cámaras de televisión para la detección de la banda infrarroja, con el fin de escanear y monitorear grandes áreas o grandes extensiones al mismo tiempo.

El Satélite, denominado TIROS, obtiene la imagen como la que se observa en la figura 1.17, aunque a decir verdad todavía no se obtenía una buena resolución de este tipo de sensores.



Figura 1.18. Fuente: Manual de percepción remota NASA.

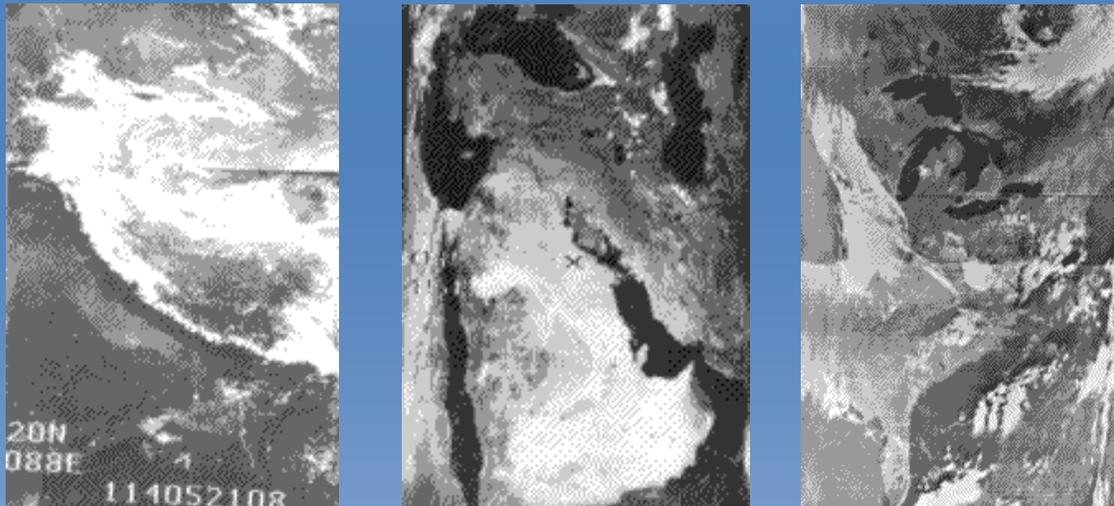


Figura 1.19: De izquierda a derecha, se puede apreciar una imagen de los montes Himalaya y el este de India, luego una vista de la península Arábiga, y finalmente de los Estados Unidos en el Este.

El avance durante la década de los 60's es muy importante en cuanto a definición tanto de las cámaras en blanco y negro como en las de color, y mejora en cuanto a objetos tomados a distancia.

Así mismo, los ordenadores de la época permiten resolver problemas matemáticos más avanzados para calcular los mecanismos y las lentes contenidas en las cámaras.

Durante los siguientes años, en las décadas de los 70's y 80's, y en general hasta nuestros días, se logra una mejora muy importante en cuanto a la detección y visualización del espectro luminoso, una mejor definición y procesamiento de las imágenes, la evolución y miniaturización de las computadoras, y la mejora en los vehículos aptos para transportar las plataformas de toma de imágenes.

Además existe un gran avance en los medios para la transmisión de datos e información; las comunicaciones se ven fuertemente impulsadas por la presión debida a la globalización y la competitividad entre las naciones.

La producción de los combustibles tiene su boom, y como consecuencia toda la industria petroquímica avanza igualmente a grandes pasos, logrando que los materiales para la fabricación y manufactura de cualquier clase de objetos cambie rotundamente.



Finalmente llega la era digital, desde finales de la década de los 80's, y con avances impresionantes en los 90's, donde aparecen las primeras cámaras digitales comerciales, pero con la característica de lograr una imagen que parezca real, sin la sensación de ver los píxeles que forman dicha imagen, y poder tener acceso a su manipulación y almacenamiento.

Figura 1.20 (página anterior derecha e inferior) y Figura 1.21 (página actual derecha). Las últimas décadas han tenido un crecimiento importante en cuanto a las aplicaciones tecnológicas. Las presiones ejercidas por la globalización y las condiciones de vida actuales han creado una revolución en la historia de la humanidad.

Fuente: Cortesía.

El inicio del Siglo XXI trae sin embargo la inercia de lo que fueron los años 90's, perfeccionando continuamente los sistemas digitales, la calidad en todos sus aspectos, y sin olvidar los avances en cuanto al almacenamiento de la información.

El software también es muy importante, ya que se tiene una interacción dinámica con los usuarios. Los programas cada vez más poderosos son capaces de captar y procesar múltiples datos, analizarlos, y correlacionarlos para obtener resultados para un análisis a detalle por parte del ser humano.

Cada vez mejorará todo aquello que nos permite percibir a nuestro mundo, tanto en el hardware como en software.

Es momento en que las aplicaciones y usos de la información se desarrollen, con el fin de poder analizar a nuestro entorno, determinar los efectos positivos y negativos de nuestras acciones, el impacto ambiental y mejorar nuestra calidad de vida.

La tecnología mejora y está disponible, por lo cual es momento de dar el uso adecuado, tratando de evitar y remendar los errores del pasado.



## 1.2 Conceptos y fundamentos de la Percepción Remota

Podría decirse que la percepción remota está presente en nosotros mismos, al detectar todos aquellos fenómenos que suceden en nuestro entorno y que podemos percibir a través de nuestros sentidos.

La vista y el oído son un claro ejemplo de los sentidos que perciben el entorno de forma remota, es decir sin estar física o químicamente en contacto con algún objeto. Estos sentidos a través de las ondas luminosas y sonoras detectan lo emitido o reflejado por otros cuerpos distantes de nosotros. El cerebro permite procesar e interpretar la información, para utilizarla en el desarrollo de nuestras actividades cotidianas.

Con ello se puede realizar una analogía entre la percepción remota con nuestro propio cuerpo, a través de los sentidos y el cerebro, lo que es a lo captado y procesado por medio de sensores y ordenadores o dispositivos artificiales.

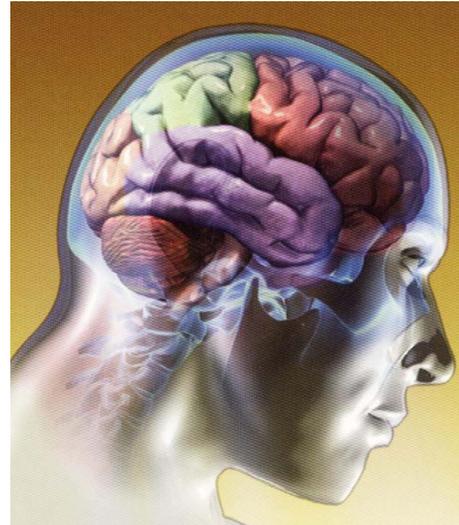


Figura 1.22 El cerebro es el procesador que interpreta todas las señales percibidas de nuestro entorno. Fuente: Cortesía.



Figura 1.23 La percepción remota involucra el cuantificar un objeto sin entrar directamente en contacto con el mismo. Fuente: Cortesía.

El término de percepción remota es utilizado por primera vez por una investigadora del Centro Naval de los Estados Unidos en los años 1950, y lo define como la ciencia y el arte de identificar, observar y medir a un objeto físico sin entrar en contacto directo con el mismo.

La percepción remota involucra el obtener información del mundo físico a través de la detección y medición de la radiación, de las partículas y los campos que emanan o son reflejados por aquellos objetos que se encuentren al alcance de los sensores, y clasificados por su tipo de composición, su distribución y su densidad, permitiendo obtener diferentes parámetros que nos

permiten analizar las propiedades de los objetos en estudio a detalle.

La percepción remota es una tecnología que permite adquirir e interpretar datos geo - espaciales no continuos, como la superficie terrestre, los océanos, la atmósfera, e incluso es aplicable para todos los cuerpos celestes dentro o fuera del sistema solar.

La percepción remota se basa en las técnicas utilizadas para la adquisición y medición de datos desde el espacio, a través de la obtención de la información espectral, espacial y física de un conjunto de "puntos objetivos" o píxeles, de una escena o imagen de nuestro planeta, captada desde cualquier punto, pero sin estar íntimamente en contacto con los objetos. La información detectada es almacenada y procesada conservando siempre el arreglo espacial o arreglo georeferenciado.



Figura 1.24 La percepción remota se basa en la adquisición de datos geo referenciados. Fuente: Cortesía.

Generalmente en la percepción remota, al existir una zona o región específica en estudio, debe de ser considerada como la imagen objetivo, con el fin de lograr a través de los instrumentos necesarios una medición adecuada de los diversos factores o patrones a tomar como son: la radiación electromagnética, los campos de fuerza existentes en la zona, la diferencia de gravedad, las ondas sonoras existentes, etc.

En resumen, la percepción remota involucra la detección y la medición de la energía electromagnética emanada y/o reflejada, de objetos distantes, compuestos por materiales diversos y presentados en forma no continua, con el fin de identificarlos y clasificarlos. La toma de las imágenes involucra la utilización de sensores y plataformas para lograr que en conjunto se integren diversas tecnologías para formar la percepción remota.

### *DEFINICIÓN DE IMAGEN EN LA PERCEPCIÓN REMOTA*

Una imagen es una representación pictórica de un lugar que emite o refleja luz visible o radiaciones electromagnéticas, que aunque el ojo humano no es capaz de percibir todo el espectro, están presentes y son factibles de ser captadas y cuantificadas a través de diferentes sensores y dispositivos electrónicos.

Las imágenes son captadas y almacenadas a través de pequeños elementos, elementos cuadrados individuales, que en conjunto conforman a toda la imagen, en un arreglo bidimensional y que son denominados píxeles.

El reconocimiento de una imagen y su nitidez involucra la existencia de una mayor densidad de píxeles por unidad de área. Los píxeles son el resultado de la codificación de una imagen, y cada uno posee diferentes calidades y características como el color y la intensidad de la energía lumínica.

El fin de una imagen es crear un efecto de continuidad y uniformidad para tener una imagen inteligible, es decir significa que los píxeles no sean perceptibles a simple vista y la imagen pueda ser fácilmente reconocida a través del ojo humano.

Cabe mencionar que los dispositivos para visualizar el color mezclan los colores como rojos, verdes y azules, para así generar un espectro de color capaz de ser percibido por el ojo humano.

Las imágenes percibidas a través del ojo humano solo pertenecen a una pequeña parte de lo que se conoce como el espectro electromagnético, es decir solo podemos percibir una zona que tenga determinadas características, como lo son la longitud de onda y frecuencia. Las células que actúan como sensores de nuestros ojos son las llamadas fotorreceptoras, las cuales tienen forma de conos y bastones.

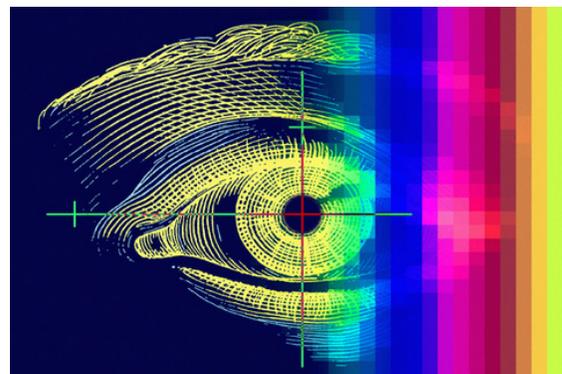


Figura 1.25: El número de píxeles o receptores de nuestra retina es 200 millones (130 millones de bastones y 7 millones de conos). Cada ojo tendría 200 megapíxeles, aunque el nervio óptico permite llegar al cerebro tan solo una resolución de imagen de 1,5 megapíxeles. Fuente: Cortesía

## *LOS FOTONES*

El principio básico de la percepción remota consiste en medir los diferentes niveles de energía que existen en un sistema, lo cual se puede visualizar a través del espectro electromagnético.

Un fotón es la partícula básica de energía con respecto al nivel atómico y subatómico. El fotón es una partícula que transmite el campo electromagnético, con la particularidad de no contener masa alguna, ni poseer carga eléctrica. Otra de las peculiaridades de los fotones es que se mueven a la velocidad de la luz, que en términos redondos equivale a 300,000 km/s.

En el espectro electromagnético, los fotones hacen posible analizar el campo electromagnético y su distribución en un sistema a través de puntos que poseen energía en una magnitud cuantificable, dependiendo del tipo de sensores utilizados.

Los fotones son partículas que transmiten las radiaciones de la materia cuando se somete a diversos procesos: los térmicos, los radiactivos de fusión y fisión, los luminosos o cualquier otro tipo de radiaciones que emanen o sean reflejadas por los cuerpos.

La energía de los fotones puede ser expresada en Joules, y está sujeta a parámetros como el tamaño de la onda y la frecuencia. Las radiaciones electromagnéticas comprendidas desde los bajos niveles energéticos hasta los más altos niveles de energía componen al espectro electromagnético.

Las radiaciones captadas en los puntos específicos de un cuerpo contienen fotones de diferentes magnitudes energéticas que coinciden finalmente en un rango de valores discreto. El analizar diferentes puntos de un sistema o someterlo a algún cambio, generará que se puedan cuantificar cantidades radiométricas diferentes y valores de energía puntuales distintos, permitiendo así generar un estudio de las propiedades de las componentes con que está formado dicho sistema. Se puede decir que es la firma espectral de los materiales que lo integran.

Los fotones han sido objeto de discusión en el sentido de que actúan como ondas y como partículas, por lo que la dualidad de su comportamiento suele describirse como un comportamiento de "onda – partícula". Las partículas subatómicas como los electrones pueden presentar el mismo comportamiento y expresarse matemáticamente como ondas, aunque los electrones contienen masa, y la característica de los fotones es que carecen de ella.

## COMPORTAMIENTO DE LOS FOTONES

El comportamiento y la existencia de los fotones se ha estudiado desde la época de Albert Einstein, en 1905.

Los fotones viajan por el espacio en forma de ondas, sin la necesidad de contar con un medio de propagación, es decir pueden viajar por el vacío, como el espacio.

El movimiento de los fotones se puede describir por medio de la función trigonométrica seno, y en dos dimensiones se puede visualizar como en la figura que se observa en el recuadro.

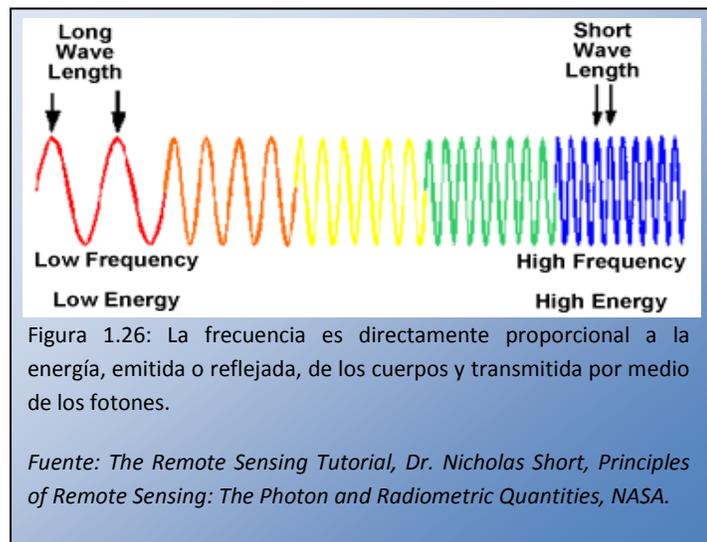


Figura 1.26: La frecuencia es directamente proporcional a la energía, emitida o reflejada, de los cuerpos y transmitida por medio de los fotones.

Fuente: *The Remote Sensing Tutorial, Dr. Nicholas Short, Principles of Remote Sensing: The Photon and Radiometric Quantities, NASA.*

Los fotones en realidad viajan en el espacio tridimensional con dos componentes, la eléctrica y la magnética. Ambas componentes viajan en planos perpendiculares, con la misma amplitud de onda y con sus máximos y mínimos en el mismo punto, es decir viajan con la misma frecuencia.

*Frecuencia: número de ondas que pasa por el mismo punto en un segundo.*

*Longitud de onda: Distancia que existe entre dos crestas adyacentes de onda.*

*Amplitud de onda: distancia entre la cresta de la onda y el eje coordenado imaginario por donde se describe la función seno y actúa como la intersección entre las componentes de los fotones.*

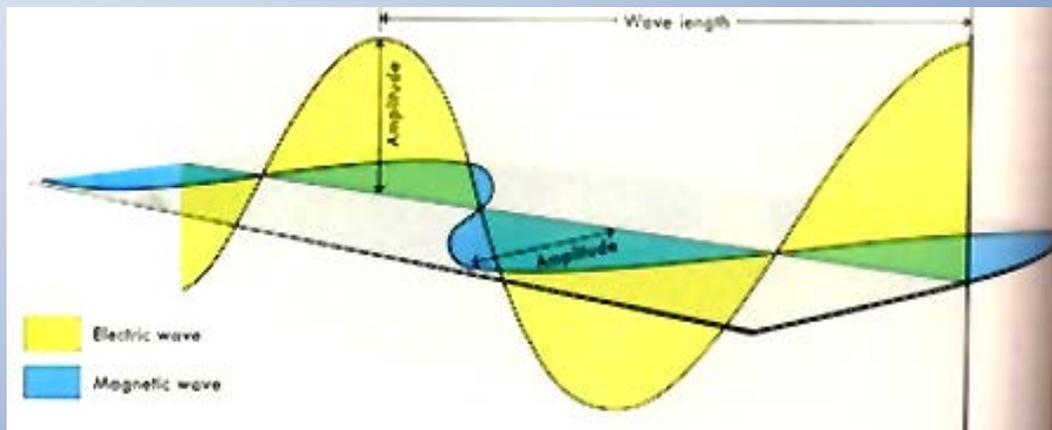


Figura 1.27: Los fotones viajando en el espacio tridimensional cuentan con la componente eléctrica y la magnética.

Fuente: *The Remote Sensing Tutorial, Principles of Remote Sensing: The Photon and Radiometric Quantities, NASA.*

### ENERGÍA DE LOS FOTONES

Los fotones son factibles de cuantificar a través de la cantidad de energía que poseen en un determinado rango de valores.

La cantidad de energía contenida en ellos se puede determinar a través de la ecuación general de Planck:

$$E = h \nu$$

en donde:

*E = la energía que posee el fotón expresada en Joules*

*h = es la constante de Planck, que equivale a  $6.626 \times 10^{-34}$  Joules · segundo*

*$\nu$  = la frecuencia determinada en ciclos por segundo o Hertz ( 1 / seg )  
(un Hert = un ciclo / segundo)*

La longitud de onda es una relación inversa con la frecuencia, es decir a frecuencias más altas, corresponde a longitudes de onda más cortas y viceversa, y dado que existe una relación establecida de:

$$c = \lambda \nu$$

en donde:

*c = una cosntante que equivale a la velocidad de la luz*

*$\lambda$  = longitud de la onda*

*$\nu$  = la frecuencia con que viaja la onda*

Por lo que finalmente podemos poner a la frecuencia en términos de c y de  $\lambda$ :

$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

Y expresar así finalmente la energía de los fotones como:

$$E = h \frac{c}{\lambda}$$

### *EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO*

La radiación de otros cuerpos percibida a través de diferentes sensores, es policromática, es decir tiene fotones los cuales cuentan con una variedad muy grande de niveles de energía.

La cuantificación de la energía presente en los fotones permite realizar una distribución de éstos y expresarlos en función de un rango denominado espectro.

La radiación electromagnética es energía dinámica que interactúa con la materia y los campos de fuerza que en ella se ejercen, transmitida por medio de los fotones. De hecho, es producto de generar un cambio en magnitud o sentido del campo eléctrico, magnético o ambos, en algún medio físico. Entre mayor sea la energía que se le aporte a los cuerpos, mayor va a ser la frecuencia de las ondas de propagación debido a los efectos producidos. Por ejemplo: los rayos X emanados de los átomos por partículas altamente energizadas producen que los electrones que se encuentran en los átomos se muevan hacia las órbitas más externas y lejanas, para finalmente regresar a su estado basal.

Bajo la influencia de las radiaciones electromagnéticas externas, los átomos individualmente o en su conjunto pueden llegar a una transición de un estado energético a otro y ocurre cuando el campo electromagnético irrumpe con la energía potencial de un sistema. La transición produce evidencias claras al buscar el sistema pasar del nuevo estado al estado original o a un valor intermedio, con una emisión de radiaciones que oscilan en alguna frecuencia.

La energía emitida por los campos electromagnéticos derivada de las radiaciones en la transición a otros estados energéticos, corresponderá a un valor el cual es posible medir mediante la frecuencia de las ondas, y su distribución del espectro corresponde a los niveles energéticos que de ellos se emane.

Para ello el espectro electromagnético es la expresión gráfica de la radiación electromagnética distribuida a través de una escala policromática continua de las diferentes gamas de energía de los fotones.

Se ha logrado llegar a una simplificación de lo que es el espectro electromagnético y reducirlo a lo que son los valores importantes dependiendo de la frecuencia de las ondas, y su inverso que es la longitud, por lo que se presenta en la figura 1.28 el espectro y las longitudes de onda correspondientes a los diferentes valores de la frecuencia:

CAPÍTULO I: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LAGOS Y EMBALSES USANDO LA PERCEPCIÓN REMOTA

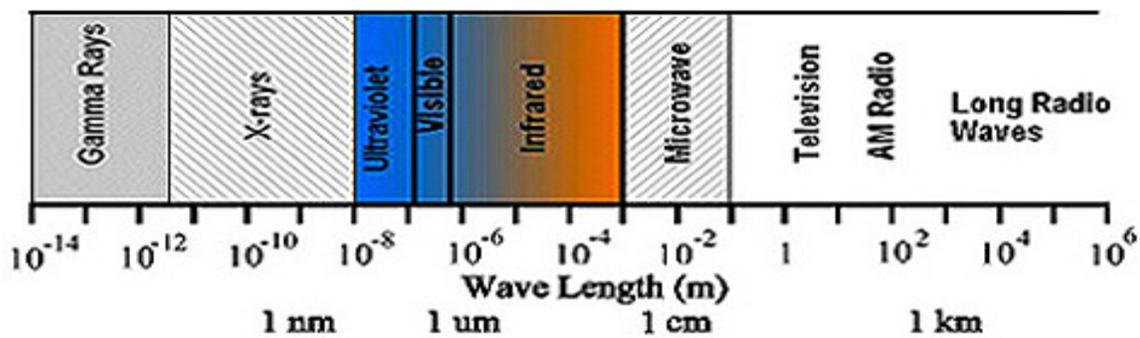
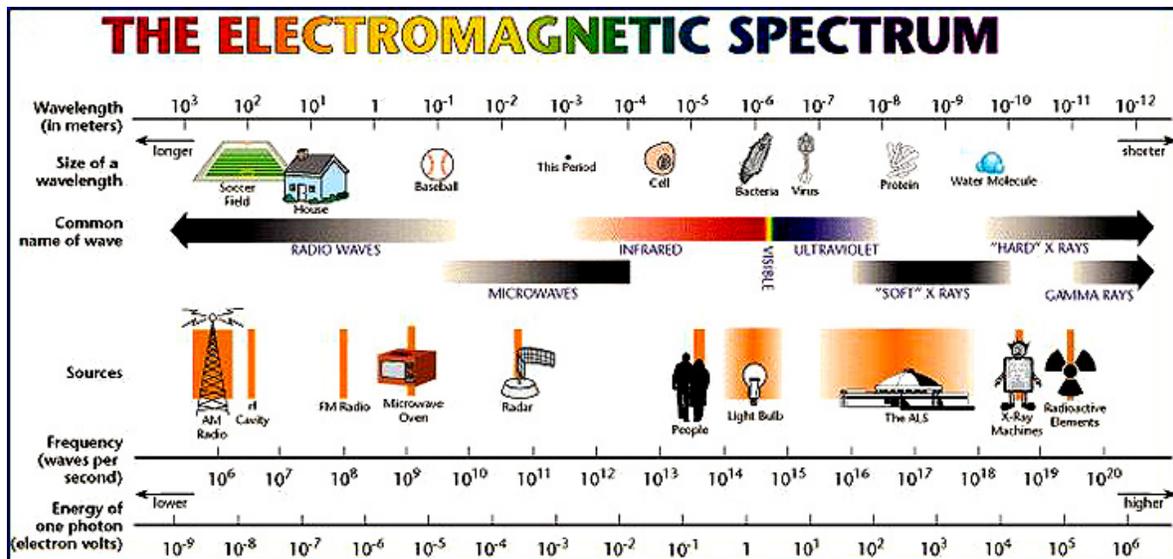


Figura 1.28: El espectro electromagnético y las equivalencias de las ondas con sus usos. Fuente: The Remote Sensing Tutorial, Dr. Nicholas Short, Electromagnetic Spectrum: The Distribution of Radiant Energies, NASA.

### *LA PERCEPCIÓN DEL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO*

En la percepción remota de la Tierra generalmente se utiliza la energía reflejada o emitida por los cuerpos en ciertos rangos del espectro como lo es la luz visible y los infrarrojos.

La información recibida de las diferentes bandas del espectro electromagnético se analiza generando imágenes con tonalidades que representan las diferentes intensidades de los fotones, asociados a un rango de valores de longitud de onda captada por los sensores. La percepción de los diferentes rangos de las ondas electromagnéticas captadas en las tomas se conoce como percepción remota multiespectral.

Las imágenes que se utilizan como la representación de las señales provenientes de las diferentes partes que componen el objetivo muestran variaciones cuando son mostradas en tonos de grises, blanco y negro, y en colores (por ejemplo la saturación, la intensidad y la gama policromática en la que la imagen se encuentra).

Para cualquier cuerpo en análisis, la cantidad de radiación solar que se refleja, absorbe o transmite varía con respecto a la longitud de onda. Cuando las variaciones se visualizan a través de diferentes rangos del espectro, los puntos característicos correspondientes a cada tipo de material o composición en un punto del sistema se denomina la firma espectral.

Si un sistema es heterogéneo, es decir que está compuesto en sus diferentes partes por materiales en diferentes cantidades y composiciones, se puede obtener, para dichos puntos del sistema, la firma espectral de sus componentes, para así analizar a fondo cada una de sus partes.

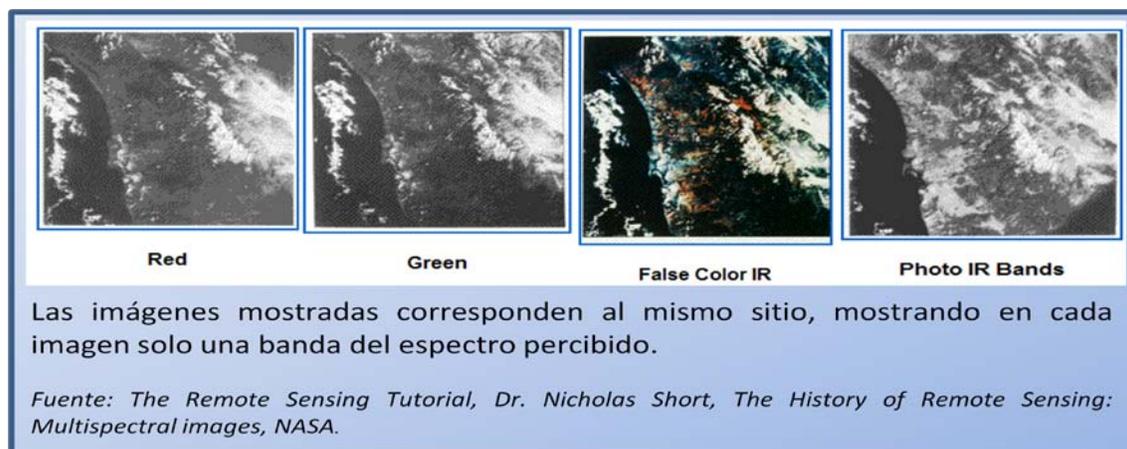


Figura 1.29 Espectro electromagnético de un sitio

INTERACCIÓN DE LAS RADIACIONES CON LOS MATERIALES DE LA SUPERFICIE TERRESTRE

La radiación solar que incide sobre un objeto o sobre un cuerpo de la superficie terrestre puede interactuar de tres formas fundamentalmente, pudiendo ser:

- ✚ Reflejada
- ✚ Transmitida
- ✚ Absorbida

Es decir que la energía que incide se fracciona en varios componentes.

Así mismo, la dependencia con la longitud de onda determina que proporción de energía es reflejada, absorbida o transmitida para las diferentes longitudes de onda.

Se puede decir que dos objetos pueden ser indistinguibles entre sí en un dado rango espectral, pero pueden ser distinguibles dentro de otro rango. Cada material provocará este fenómeno en diferente proporción, dependiendo de su composición.

Todo ello cumple con la ley de la conservación de la energía, pudiéndose expresar para este caso de la siguiente manera:

$$Energía_{incidente} = Energía_{reflejada} + Energía_{transmitida} + Energía_{absorbida}$$

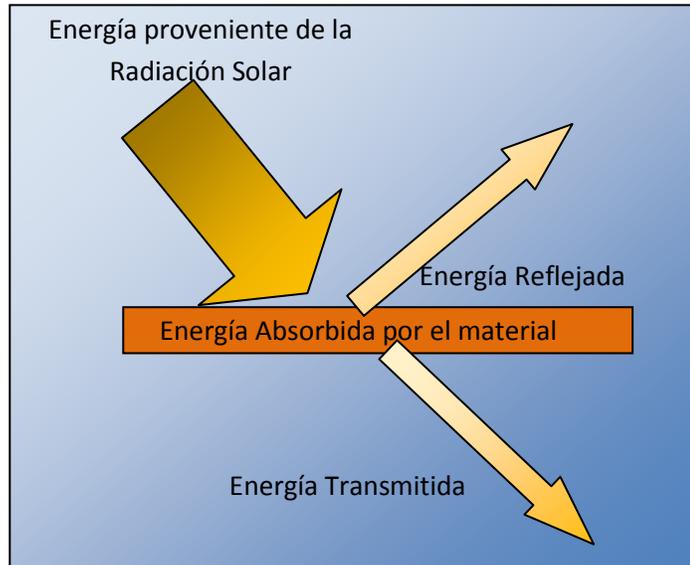


Figura 1.30 Componentes en que la radiación solar puede ser descompuesta. Fuente: Autor.

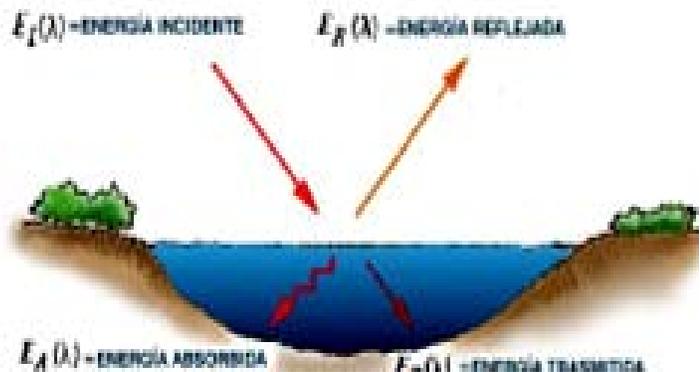


Figura 1.31 Componentes en que la radiación solar puede ser descompuesta. Fuente: Cortesía.

### 1.3 Sensores y Plataformas

#### EL PRINCIPIO PARA EL FUNCIONAMIENTO DE LOS SENSORES

La representación pictórica de los objetivos en diferentes regiones espectrales se logra a través de la utilización de diferentes tipos de sensores, generalmente filtros de bandas, cada uno con la característica de aceptar y procesar las frecuencias de onda propias de la región en estudio.

Los sensores por lo general están sintonizados para captar y procesar las frecuencias de onda percibidas de los objetos, pertenecientes a una región del espectro electromagnético, distribuyéndose en patrones de colores preestablecidos.

La mayoría de los sensores conocidos están diseñados para percibir a los fotones. El principio fundamental para ello es el efecto fotoeléctrico, proceso mediante el cual los fotones que inciden en una placa de material fotosensible cargada negativamente produce un flujo de electrones. Los electrones que fluyen a través de la placa son transportados y contados como un impulso eléctrico. La magnitud de la corriente eléctrica producida es directamente proporcional a la intensidad luminosa que se perciba de los objetos.

Los cambios de la corriente eléctrica que se producen después del paso de los electrones por la celda fotosensible es una medida de la variación de los fotones en cuanto a número, produciendo entonces la medición de la intensidad luminosa.

La energía cinética de los fotoelectrones, cuantificada mediante los electrones liberados por la incidencia de los fotones en la placa fotosensible, varía con respecto a la frecuencia o longitud de onda de las radiaciones. Existen diferentes materiales que reaccionan ante los diferentes intervalos de

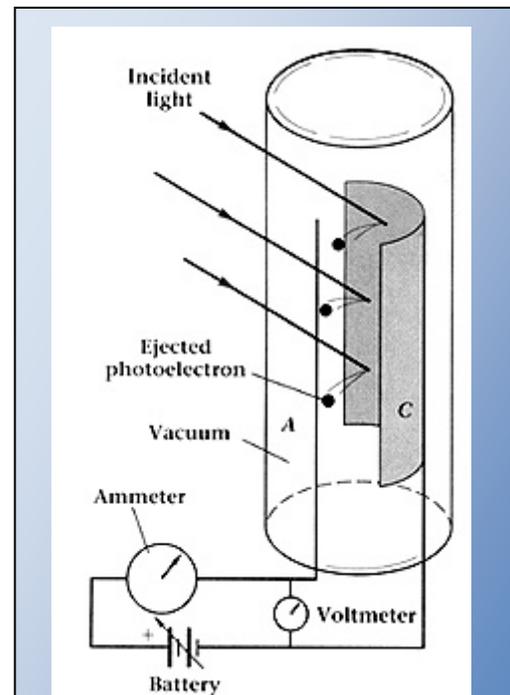


Figura 1.32 Mediante el experimento realizado por Albert Einstein se logró observar por primera vez como la incidencia de los fotones en una placa liberaban los electrones contenidos en ella.

Fuente: Artículo Radiometric Quantities for Remote Sensing, NASA

longitudes de onda, permitiendo obtener una medición de la parte del espectro electromagnético para el cual el sensor está diseñado.

Existe una amplia gama de sensores, cada uno en función de algún parámetro o en una combinación de ellos:



Figura 1.33 Parámetros determinados por las diferentes gamas de sensores. Fuente: Autor.

La combinación de ellos puede arrojar información muy importante, como es para la percepción remota las imágenes espectrales e imágenes radiométricas (determinando la intensidad de la fuente luminosa).

### *PARTES FUNDAMENTALES DE LOS SENSORES ÓPTICOS*

El funcionamiento de un sensor óptico – eléctrico requiere de componentes que le permitan funcionar y procesar la información. Los sensores están compuestos generalmente por varios sistemas, cada uno capaz de realizar un proceso.

Cada uno de los sistemas por los cuales se compone un sensor cumple con alguna función fundamental para llegar a obtener la información requerida, agrupándose en tres partes, como se muestra en la siguiente figura:



Figura 1.34 Grandes sistemas en los que los sensores son clasificados. Fuente: Autor.

### *LOS DIFERENTES TIPOS DE SENSORES*

En la percepción remota generalmente se utilizan los sensores de tipo óptico, detectando la intensidad y la longitud de onda de luz. Los sensores más ampliamente utilizados se describen a continuación:

- ✚ Los radiómetros son dispositivos que normalmente realizan la medición cuantitativa del espectro electromagnético, especialmente en cuanto a la intensidad del espectro. Cuando las radiaciones detectadas únicamente involucran al espectro visible del ojo humano se le denomina fotómetro.
- ✚ El espectrómetro es un dispositivo que cuenta con un prisma, el cual permite descomponer las radiaciones de luz, permitiendo así cuantificarlos en secciones con valores de longitud de onda discretas.

- Los espectralradiómetros son los dispositivos que reciben en bandas las radiaciones de los objetos, y que perciben en una composición la intensidad y la longitud de onda del espectro electromagnético radiado por los objetos en estudio.

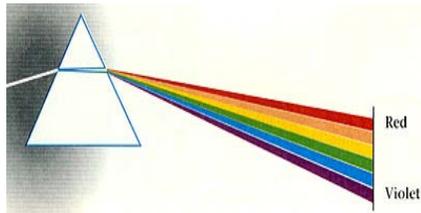


Figura 1.35 El espectralradiómetro contiene un prisma, que facilita la descomposición de las radiaciones.

Fuente: TELEDET.

Así mismo, existen otros dos rubros importantes para los sensores, los cuáles involucran la forma de tomar los datos y cómo son percibidos por los sensores. Existen para ello dos tipos de sistemas:

### Sistemas de cuadro

- Los sensores de este sistema miden las radiaciones de los objetos a través de cuadros que se generan en el instante. Ejemplo de ello son los ojos, la cámara fotográfica.
- En estos sistemas el tamaño del cuadro está determinado por la apertura y el tamaño de los lentes con que cuenta el sensor

### Sistemas de Escanéó

- Las escenas u objetivos son percibidos punto por punto, es decir aquello equivalente a pequeños cuadros tomados progresivamente sobre líneas sucesivas.
- La mayoría de los sensores instalados y que operan desde diversas plataformas constan de este tipo de sensores.

## LAS PLATAFORMAS

Las plataformas son aquellas estructuras que albergan o almacenan a los sensores. Las plataformas se encuentran en movimiento siempre, lo que permite que puedan obtener información de múltiples sitios – objetivos.

Entre las estructuras que ejemplifican a las plataformas, y son las más utilizadas en la percepción remota de la Tierra, se encuentran:

- ✚ Jets y aviones de gran altitud
- ✚ Satélites
- ✚ Naves espaciales
- ✚ Estaciones espaciales

Existen plataformas que monitorean desde pequeñas alturas a nuestro planeta (como los globos aerostáticos, los pequeños aeroplanos, los helicópteros, entre otros), sin embargo la tecnología avanza y deja atrás estos artefactos para ser sustituidos con plataformas capaces de contar con mejores sensores, de mayor precisión, de georreferencia, entre otras características.

Las plataformas modernas pueden encontrarse dentro en lugares cada vez más lejanos dentro de nuestra atmósfera.

Los Satélites y la estaciones espaciales, son puestas en órbita a través de cohetes espaciales a combustión.

La combustión se realiza a través de un proceso de mezclado de oxígeno (generalmente), con el combustible, todo ello almacenado en tanques para lograr una combustión más eficiente y controlada.

El poner en órbita una plataforma y lograr que se mantenga circulando alrededor de nuestro planeta involucra que se mantenga a cierta velocidad constante. La velocidad de las plataformas deberá ser la adecuada para que se sustente en la órbita y no llegue a una velocidad tan baja que la fuerza de gravedad de nuestro planeta se superponga a la de la sustentabilidad de la plataforma, ni tan grande que ésta salga hacia el espacio exterior, es decir no

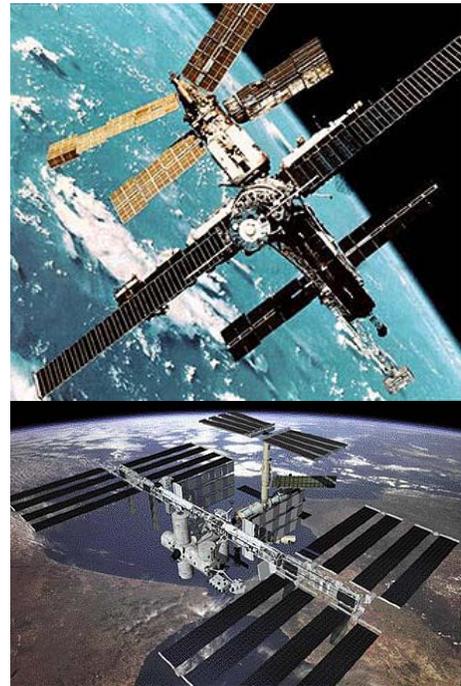


Figura 1.36: La Estación Espacial Internacional (la cual se encuentra en proceso de construcción), en su proyecto involucra la participación de diversas Naciones. Fuente: NASA & the ISS Project.

debe de disminuir la velocidad de los 27,350 kilómetros por hora, ni sobrepasar los 40,000.

Existe igualmente una gran variedad de vehículos dedicados a poner en órbita a las plataformas, aunque existe la diferencia de su tamaño debido a sus objetivos, ya sea llevar alguna estructura de tamaño reducido, o bien lograr albergar tripulación abordo.



Figura 1.37: Vehículos que sirven como medios de transporte para poner en órbita a las plataformas. Fuente: Fuente: NASA & the ISS Project.

## **1.4 Procesamiento de Imágenes Satelitales**

El aprovechamiento de la información y la habilidad con que ésta se procesa no solo depende de los adelantos tecnológicos de los sensores, sino depende también de la forma en que los datos son procesados con el fin de convertir los valores obtenidos en imágenes o parámetros tangibles para el ser humano.

Las interpretaciones que se aportan son algo fundamental, ya con base a ello se tendrá la posibilidad de desarrollar nuevas aplicaciones y modelos útiles de aplicación de la percepción remota.

La asimilación de la información satelital comprende datos de los sensores montados en plataformas y de los derivados de la visualización del espacio en estudio físicamente. La interpretación de las imágenes en sus diferentes aspectos, por mencionar la intensidad luminosa, el espectro y el espacio captado es importante para generar un análisis de los alcances que se pueden lograr a través de la realización de estudios en campo.

El análisis de la información del espectro electromagnético correspondiente a los puntos sensados es fundamental para generar una comparativa con el muestreo de campo, y determinar los factores que producen las variaciones de medición en dicho espectro. Como se había mencionado anteriormente, cada material o cada compuesto tiene una curva característica identificada con el espectro electromagnético, por lo que la definición de los componentes en sitio y su análisis espectral generará y determinará los valores de los parámetros a estudiar en el sitio.

Los sensores instalados en plataformas espaciales no cuantifican todo el espectro electromagnético, sino realizan un barrido rápido de las zonas para producir una curva espectral continua, dividida en intervalos o bandas correspondientes a las diferentes zonas que componen el espectro electromagnético. Cada una banda contiene los valores de las curvas espectrales variando en intensidad.

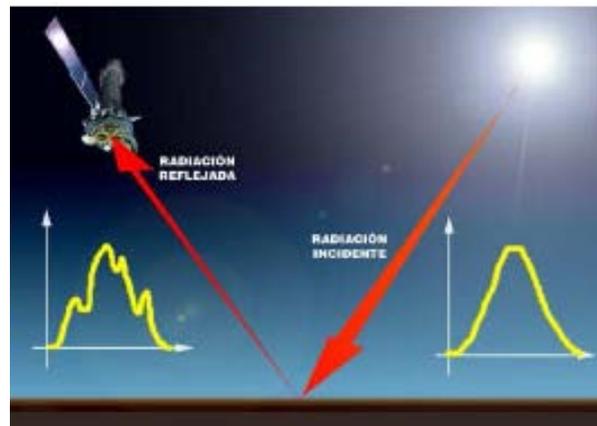
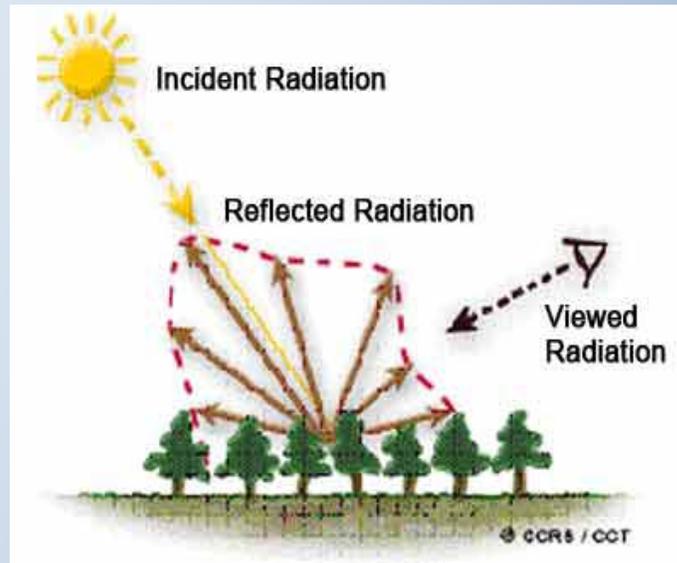


Figura 1.38: El análisis de la información consiste principalmente en determinar las firmas espectrales o curvas características de cada uno de los parámetros evaluados en campo a través de la correlación de los datos. Fuente: Fuente: NASA &

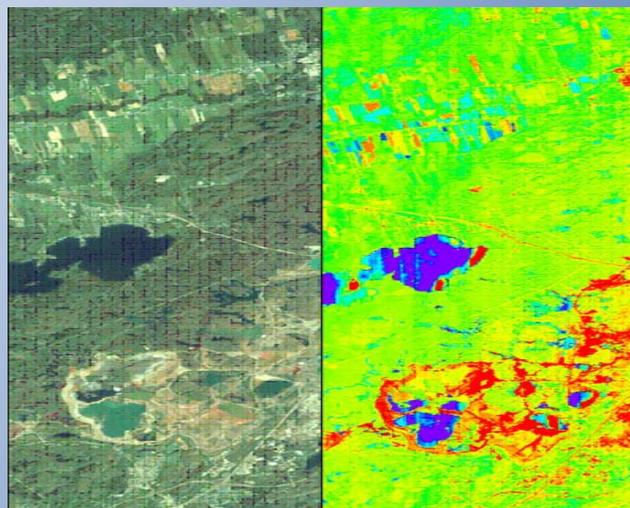
Las mediciones espectrales representadas en los grupos de bandas dependerán de las interacciones que se generan entre las radiaciones incidentes y las estructuras de los átomos o moléculas presentes que componen al objeto en estudio.

Las interacciones entre los materiales y la energía luminosa genera diferentes reflejos, que son posibles de cuantificar a través de los diferentes sensores, y ello constituye la firma espectral de cada uno de los objetos que componen el medio.

Sucede que en muchos casos, al analizar un medio completamente heterogéneo que varía con respecto al tiempo, las ondas reflejadas de algunos puntos de muestreo previamente seleccionados se convierten en puntos estándar de análisis. Dichos puntos ayudan a generar una comparativa entre los diferentes parámetros obtenidos en sitio y los resultados obtenidos a partir de las imágenes o espectros recibidos por medio de sensores.



*Figura 1.39: Las interacciones entre los materiales y la radiación solar permite que parte de dicha radiación sea reflejada, y esta a su vez es factible de ser cuantificable por medio de los sensores. Fuente: Canada Centre for Remote Sensing, Advanced Radiative Transfer Modeling for Information Extraction.*



La cuantificación continua de los parámetros obtenidos en sitio y la intensidad de las radiaciones en las diferentes bandas del espectro electromagnético, permiten obtener una comparativa de los diferentes valores a estudiar, cómo varían y la forma en que dichas variaciones pueden estar relacionadas. El fenómeno anterior produce que matemáticamente se genere un modelo que correlacione los valores físicos cuantificados en sitio y los valores del espectro cuantificados a través de los sensores de las plataformas.

El modelo generado es resultado de un análisis estadístico, y se pone a prueba a través de las variaciones en el tiempo de los parámetros que se obtienen físicamente con pruebas en sitio y aquellos derivados de las mediciones radiométricas de los sensores.

Al determinar la correlación y aproximación de los resultados de ambos datos, significa que el modelo está calibrado para realizar la predicción de los diferentes parámetros únicamente a través de los datos obtenidos por los sensores.

La aplicación de los modelos permitirá el estudio de las regiones con una mayor facilidad. Será fundamental el desarrollo de pruebas de campo al inicio de los estudios, pero al generarse el modelo matemático – estadístico el trabajo se simplificará significativamente.

Finalmente, se puede decir que el medio ambiente y sus factores tanto bióticos como abióticos, podrán ser cuantificados y analizados a través de la generación de diversos modelos fundamentados en los datos obtenidos por medio de la percepción remota.

El proceso se puede simplificar como sigue:



Figura 1.40: El proceso para la predicción de los factores bióticos y abióticos del medio ambiente puede ser determinado a través de la percepción remota, siguiendo los pasos que se ilustran. *Fuente: Elaborado por el autor.*

## 1.5 Evaluación de la Calidad del Agua mediante Percepción Remota

Los cuerpos de agua continentales, como lo son los ríos, los lagos y los embalses, son importantes ecológicamente, y son un factor importante en el desarrollo socioeconómico de las regiones.

Los cuerpos de agua son sistemas que permiten generar desarrollo dentro de una región, permitiendo obtener recursos a través de actividades como la pesca, o bien con su aprovechamiento con fines agropecuarios, industriales o para consumo humano directo.

La forma y la finalidad con que el agua se utiliza modifica en diversas formas los ecosistemas, alterando la calidad original del agua mediante la adición de contaminantes al medio que sustenta. Los contaminantes afectan a los organismos presentes en el bioma, alterando su salud y rompiendo las cadenas tróficas existentes.

La protección al medio ambiente y el mantenimiento de la calidad del agua es uno de los objetivos principales para garantizar un desarrollo sostenido y sustentable.

El mantenimiento de la calidad del agua de los cuerpos existentes es un factor muy importante para garantizar la salud de las comunidades o zonas urbanas aledañas o en la cual ejerce influencia.

El agua es un medio que permite el desarrollo biológico, pero con la característica de la calidad determinará la salud de los biomas y organismos que habiten en ella.



Figura 1.41: La utilización del agua o la alteración de los ecosistemas ejercen una influencia sobre la región, pudiendo dañar la salud de los organismos presentes y las zonas dependientes de dichas aguas. Fuente: Cortesía.

## CAPÍTULO I: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LAGOS Y EMBALSES USANDO LA PERCEPCIÓN REMOTA

---

La calidad del agua está basada en parámetros estándar registrados en normas y reglamentos, los cuales se refieren a las características físicas, químicas y biológicas del agua, de acuerdo al uso para la cual esté destinada.

Los parámetros han sido cuantificados y registrados por medio de los análisis realizados en sitio y laboratorio de las muestras obtenidas en la zona de estudio. Este método tradicional de estudio resulta costoso, ya que involucra muchos recursos en cuanto a horas de trabajo, el desplazamiento al sitio y los recorridos en la zona de estudio.

El método tradicional de muestreo representa en muchas ocasiones una gran desventaja. El muestreo al ser costoso y no existir recursos suficientes, económicos o humanos, provoca que los estudios de una zona no se concluyan satisfactoriamente. Solo se hace factible el análisis de algunos cuerpos de agua en un determinado momento.

El monitoreo de la calidad del agua es determinante para la generación de acciones de mitigación de riesgos a la salud de las personas y del medio ambiente. El análisis constante y confiable de la calidad del agua generará las condiciones para el mantenimiento de los estándares de higiene y sanidad del medio ambiente.

En los últimos años la percepción remota ha sido una herramienta muy útil para el estudio de los ecosistemas, ya que es una tecnología alternativa en el estudio y monitoreo constante de la calidad del agua. La percepción remota es una herramienta potencial, debido a que el monitoreo se puede realizar en grandes áreas o grandes espacios a través de laspasos relativamente constantes de tiempo.



Figura 1.42: La utilización de la percepción remota permitirá mantener bajo vigilancia constante los ecosistemas, y proveer así medidas de mitigación de impacto ambiental u obtener información puntual del sitio en general. Fuente: *Manual de muestreo del agua*, SEMARNAT.

La obtención de la calidad del agua a través de la percepción remota provee información amplia en un pequeño lapso de tiempo, y al realizar el análisis de costos, resulta ser más viable esta tecnología.

En la percepción remota, las propiedades ópticas que se obtengan a través de los satélites dependerá de factores primordialmente como la materia orgánica disuelta, las partículas suspendidas, y compuestos generalmente compuestos de fósforo y nitrógeno presentes en el agua.

Los estudios realizados a diversos cuerpos de agua a nivel internacional por parte de diferentes centros de investigación, como el Centro de Investigaciones de Canadá para la Percepción Remota, el Centro de Administración de Recursos Naturales en Texas, Universidades diversas, por mencionar algunos, han realizado en los últimos años un trabajo extenso con el fin de determinar la relación que existe entre la calidad del agua, es decir los parámetros físico - químicos presentes en ella, y los datos que se pueden obtener a través de los sensores satelitales.

Así mismo, el proyecto que se presenta tiene como finalidad de evaluar y generar un modelo que permita evaluar constantemente la calidad del agua en la Presa de Valle de Bravo, y tomar acciones que permitan evitar el deterioro de este ecosistema.