

Aportes de la percepción remota para construir la paz con desarrollo sostenible: éxitos y limitaciones en los últimos 25 años¹

Contributions from Remote Sensing technologies in the construction of peace and sustainable development: successes and limitations in the last 25 years

Laurent Polidori²

“Cómo citar este artículo: Polidori, L. (2017). Aportes de la percepción remota para construir la paz con desarrollo sostenible: éxitos y limitaciones en los últimos 25 años. *Análisis Geográficos*, 52, 17-34.

Quisiera agradecer al Instituto Geográfico Agustín Codazzi y al comité organizador por la invitación, y por haber escogido un título muy estimulante. Podemos pensar que no existe relación entre las técnicas de percepción remota y la paz, y que una conferencia sobre las evoluciones de la percepción remota en los últimos veinticinco años solo va a presentar algoritmos recientes de procesamiento de imágenes. Sin embargo, acepté este título porque existen relaciones entre la percepción remota y la paz. Primero, porque las innovaciones tecnológicas se hacen al ritmo de los ciclos de guerra y paz. Segundo, porque las herramientas geográficas en general y la percepción remota en particular, después de haber sido dedicadas a la descripción del mundo físico, han empezado a interesarse por la sociedad hasta con métodos cuantitativos para finalidades tan importantes como la salud y la paz.

La única parte de este título que yo mismo propuse es la referencia al período de los últimos veinticinco años, porque estuve aquí en Bogotá a finales de los años

ochenta y trabajé en el IGAC y el CIAF durante dos años, así que estoy volviendo después de veinticinco años, y la percepción remota de hoy es diferente de lo que era veinticinco años atrás.

Una de las principales tareas de los geógrafos, desde siempre, es descifrar las escrituras que la naturaleza y la sociedad dejaron en la superficie de la Tierra. Para leer estas escrituras, es preciso tener ojos, y justamente existen sensores para tomar imágenes en todas las escalas y en todas las longitudes de onda (inicialmente la fotografía aérea, y hoy sensores ópticos, térmicos, radar y muchos otros).

Considerando la evolución del conocimiento del territorio en los últimos siglos, hubo inicialmente una cartografía muy limitada en la cual la verdad científica estaba contaminada por leyendas. Además, los mapas eran secretos, no eran publicados: la información geográfica no se compartía, mientras que a finales del siglo XX teníamos una perspectiva por satélite casi gratuita.

¹ Texto de la conferencia magistral dictada el 10 de agosto en el marco de la Semana Geomática 2015, organizada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

² Director de la École Supérieure des Géomètres et Topographes y Director del Laboratorio de Géodésie et Géomatique de Paris, Francia. Correo: laurent.polidori@esgt.cnam.fr.



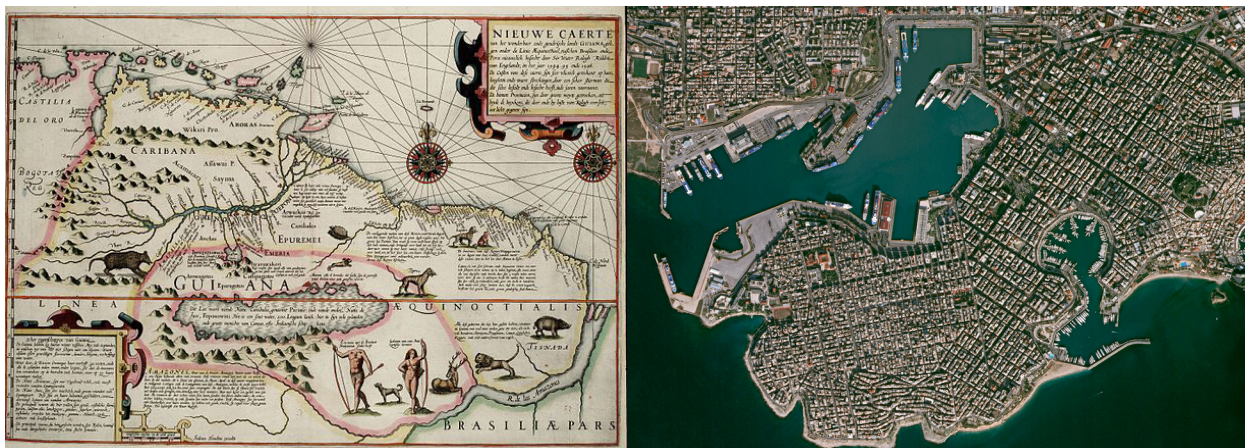


Figura 1. Evolución del conocimiento del territorio en los últimos siglos: a la izquierda, un mapa de la provincia española de Guayana, elaborado por Theodore De Bry en 1599; a la derecha, una imagen satelital de Atenas, Grecia, tomada por Pléiades en el 2011

Fuente: David Rumsey Historical Map Collection (izq.); CNES, Distribution ASV / Spot Image S. A., 2012 (der.).

La evolución de las herramientas geográficas fue siguiendo los avances de la tecnología. Pero no fue una historia lineal y continua, y la historia de las ciencias y técnicas muestra que hubo una época de intenso movimiento con muchas invenciones, y que estas revoluciones intelectuales eran separadas por largos períodos de calma.

Hoy en día, tal vez estamos en el final de una revolución tecnológica que corresponde más o menos a la segunda mitad del siglo XX, y me parece que el anterior período de revolución fue el Renacimiento, es decir, el siglo XVI. Considerando solo los descubrimientos que tuvieron un impacto sobre nuestra actividad como cartógrafos, podemos mencionar:

- La perspectiva, que relaciona las coordenadas 3D de un punto en el espacio con sus coordenadas 2D en un plano de proyección, y el tratado sobre

la perspectiva publicado por el pintor alemán Albrecht Dürer (1471-1528), que puede ser considerado como la base teórica de la fotogrametría.

- El heliocentrismo, que fue la gran idea del astrónomo polaco Nicolás Copérnico (1473-1543), que colocó la Tierra en su posición correcta en el sistema solar.
- El telescopio, que hasta entonces era sólo un juguete: Galileo (1564-1642) fue el primero que lo usó para aplicaciones científicas y fue realmente una revolución para la física, y particularmente para las ciencias geodésicas.
- Otro ejemplo sumamente importante para los cartógrafos es la geometría analítica difundida por Descartes (1596-1650), una geometría que sustituye un punto por sus coordenadas, un objeto por su ecuación y un problema de geometría por un problema de cálculo.

Saliendo de la esfera estrictamente científica, podemos mencionar, también en la época del Renacimiento, la invención de la imprenta, que permite la difusión de los conocimientos, el fin de la época feudal que llevó a reconsiderar el asunto de la propiedad de la tierra, y para los europeos, las grandes expediciones marítimas que empujaron los límites del mundo conocido que debía de ser mapeado.

Después, pocas innovaciones técnicas ocurrieron hasta el fin de la Segunda Guerra Mundial, o sea, hasta la segunda mitad del siglo XX. Considerando de nuevo las invenciones que tuvieron un impacto sobre nuestro trabajo de cartógrafos, la década de 1950 fue una revolución. Aparecieron en pocos años el satélite, el computador, el láser. La transmisión por radio y el radar ya existían y se desarrollaron, así como la aviación había “despegado” durante la Primera Guerra Mundial.

También podemos mencionar invenciones más recientes como el GPS, el internet y la fotografía digital, pero aunque nuevas, tienen sus bases en conceptos de los años cincuenta y sesenta.

Así, si consideramos la historia de la percepción remota por satélite, que es una historia de medio siglo, el aspecto de las imágenes es muy diferente entre la década de 1960 y la década de 2010, pero no ocurrió ninguna revolución tecnológica y los conceptos que están detrás de las imágenes más recientes, ya existían cincuenta años antes.

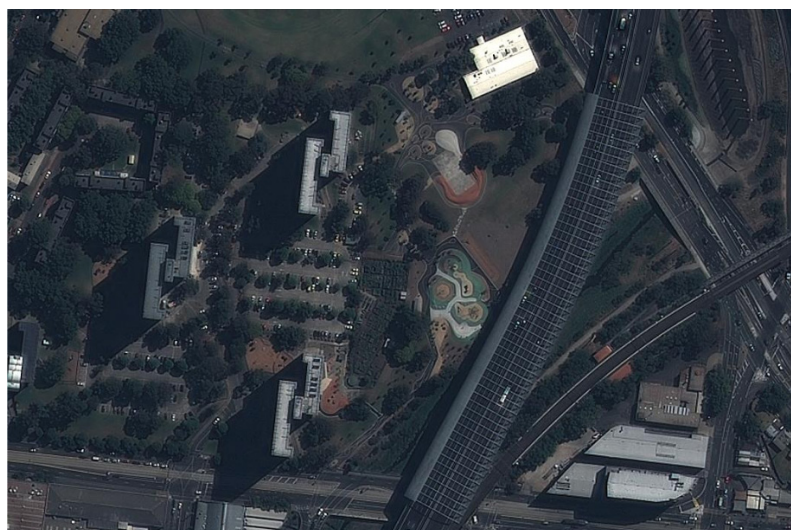
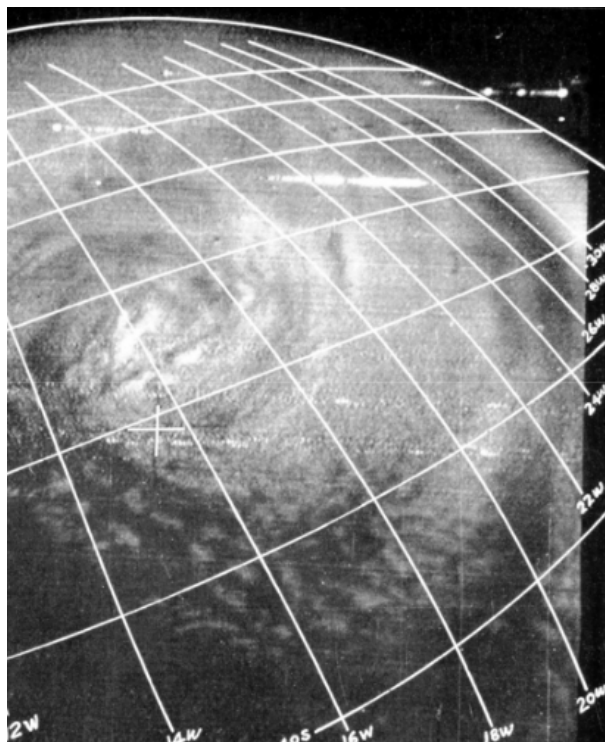


Figura 2. De Tiros a Pléiades: medio siglo de percepción remota por satélite

Fuente: Luque, 2010 (arriba); Astrium GEO-Information Services, 2012 (abajo).



Volviendo al título de esta conferencia, que habla de los últimos veinticinco años, y ahora que dije que no ocurrió nada nuevo en los últimos cincuenta años, ¿será que se acabó la charla? Claro que no, porque en los últimos veinticinco años la industria y la investigación no se quedaron sin hacer nada, la tecnología se desarrolló y su uso se diversificó. Traté de identificar las evoluciones más importantes y les propongo una lista de cinco.

1. Cantidad de datos: en la década de 1990, ya sabíamos bastante del potencial y de las limitaciones de los diferentes tipos de sensores, pero todavía teníamos pocos datos. Un laboratorio de investigación podía tener cinco estudiantes de doctorado trabajando en la misma imagen y se hacía mucho trabajo de campo en la misma área para saber acerca de todo del territorio observado. Dos cosas han

cambiado: más programas de observación de la Tierra por satélite y más oportunidades de acceso a las imágenes.

La consecuencia es que los cinco estudiantes del laboratorio ya tienen diez, cien o mil imágenes para trabajar.

Otra consecuencia es la disponibilidad de series temporales, muy útiles para el estudio de fenómenos dinámicos como la evolución de la cobertura vegetal con índices de vegetación o el monitoreo de deslizamientos por interferometría de radar.

Sin embargo, existen desigualdades en la cobertura mundial, que estadísticamente es menos densa en las regiones tropicales, como se ve en este mapa de la cobertura mundial del satélite SPOT-5 dos años después de su lanzamiento.

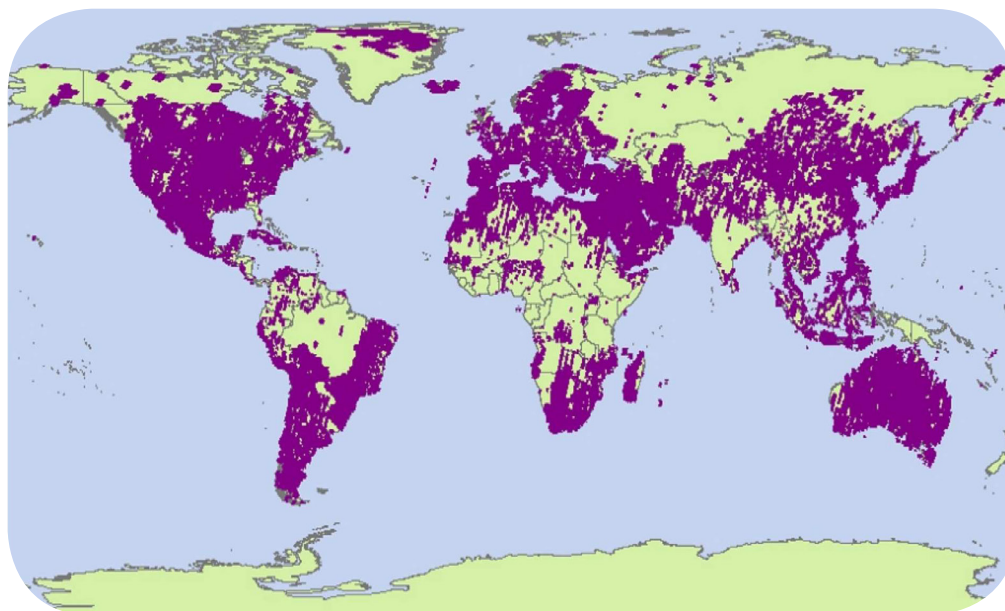


Figura 3. Mapa de cobertura mundial del satélite SPOT-5
Fuente: U.S. Geological Survey, imágenes SPOT-5, 2004.

La misma desigualdad existe con las imágenes disponibles de forma gratuita en internet. Ya que estas imágenes son financiadas por la publicidad comercial, es claro que tendremos una mejor calidad y una actualización más frecuente de los datos en áreas que ofrecen una mayor oportunidad de publicidad, típicamente aquellas áreas famosas o turísticas.

Inicialmente, estuvimos un poco desorganizados con esta cantidad de datos porque no estábamos preparados. Durante un tiempo, la primera solución que tuvimos para resolver el problema fue aumentar la capacidad de los discos de almacenamiento y la velocidad de los computadores. Finalmente, hace poco tiempo que se introdujo un poco de inteligencia en el proceso, con el concepto de Big Data y el desarrollo de algoritmos de búsqueda más y más poderosos.

Con el aumento de la cantidad de datos, hubiéramos podido pensar que el modelo económico de la percepción remota cambiaría (el modelo económico, o sea la manera de financiar el costo del sistema). Por ejemplo, el sistema Landsat, que había demostrado su capacidad de observación del medio ambiente, fue presentado a partir del Landsat-5 como un sistema comercial, que debía financiarse vendiendo las imágenes. Eso fue hace treinta años. Pero, en realidad, la mayor parte de las imágenes fueron compradas con presupuestos públicos, y hasta ahora una realidad que no ha cambiado es que

los sistemas espaciales de observación de la Tierra son financiados por agencias públicas, o sea por los gobiernos.

2. La segunda evolución es el desarrollo de nuevas soluciones de adquisición de datos, y quisiera mencionar dos casos, dos grupos de soluciones.

El primer caso es el encuentro de sensores existentes con plataformas existentes (mejor dicho, plataformas o vehículos que no habían sido usados para percepción remota todavía, o tal vez en experiencias muy limitadas). Por ejemplo, los vehículos aéreos no tripulados (drones) y los vehículos terrestres (carros) en los cuales fue relativamente fácil colocar sensores para ofrecer imágenes con perspectivas nuevas. En el caso de las plataformas satelitales, la industria estuvo vacilando entre dos estrategias de concepción. Por un lado, plataformas pesadas y caras, por ejemplo el satélite europeo Envisat, del peso y del tamaño de un autobús, que funcionó hasta el año pasado llevando a bordo más de diez sensores científicos diferentes, y por otro lado, plataformas pequeñas y especializadas, más baratas, como los satélites que fueron lanzados a partir de la década del 2000 con sensores de alta resolución.

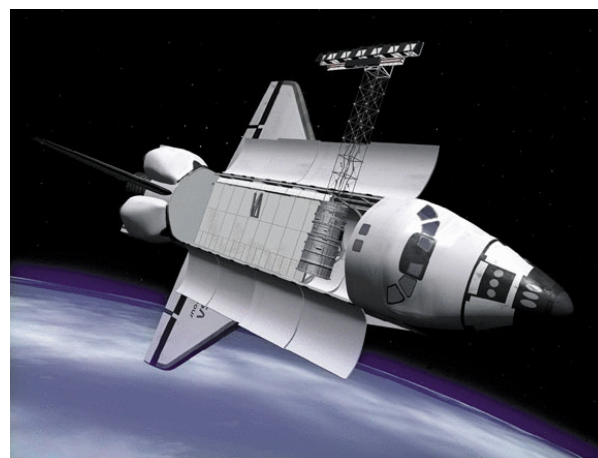
El segundo caso es el mejoramiento de sensores existentes para hacerlos más adecuados a las necesidades de las aplicaciones, y quisiera ilustrarlo con el ejemplo del desarrollo de capacidades esteoscópicas.





Figura 4. Nuevas posibilidades estereoscópicas en la década del 2000: a la izquierda, fotogrametría *along track* con dos cámaras (SPOT-5 / HRS); a la derecha, interferometría con dos antenas (SRTM).

Fuente: Infoterra SGSA, 2016 (der.); National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2016 (izq.).



Dos técnicas (la fotogrametría digital, con algoritmos de correlación automática de imágenes ópticas, y la interferometría, que procesa la información de fase en imágenes de radar) fueron inventadas hace mucho tiempo para la cartografía en 3D del relieve terrestre, a partir de imágenes tomadas con configuraciones estereoscópicas.

Justamente hace más o menos veinticinco años llegaron las imágenes ópticas del SPOT y las imágenes de radar del ERS-1, que tenían la configuración geométrica adecuada y se hizo la demostración de su capacidad para la cartografía del relieve. Pero en los dos casos, el satélite llevaba a bordo un sensor único, y para tomar un par estereoscópico de imágenes tenía que volver después de un tiempo que

podía ser de varias semanas o hasta varios meses. La consecuencia es que el paisaje observado podía cambiar bastante debido a la lluvia, a la nieve, a las cosechas... Así que estas dos técnicas, en muchos casos, no funcionaban.

Para resolver este problema, era preciso llevar dos sensores en la misma plataforma. Se logró en la década del 2000: el transbordador espacial fue preparado para una misión con dos antenas de radar (la misión Shuttle Radar Topography Mission [SRTM]), que produjo el primer modelo digital de terreno casi mundial, y en el 2002, al satélite SPOT-5 le fue añadido el sensor High Resolution Stereoscopic (HRS) de dos cámaras, que aumentó mucho la capacidad del sistema para la cartografía del relieve.

3. Otra evolución en los últimos veinticinco años fue el desarrollo de los sistemas de información geográfica (SIG). Yo no voy a definir lo que es un SIG en este congreso de especialistas, pero quisiera hacer algunos comentarios sobre el papel particular de las imágenes de percepción remota dentro del conjunto más ancho de la información geográfica. El SIG es el marco en el cual la percepción remota proporciona sus productos, y ayuda para combinar diferentes imágenes y administrar su geometría.

Hace más o menos veinticinco años (de nuevo), se desarrolló el mercado de la ortofoto u ortoimagen digital, que es exactamente la forma que la imagen de percepción remota debe tener para desempeñar su papel en un SIG y se volvió un producto estándar en muchos proyectos de desarrollo.

¿Cuáles son las características de la imagen de percepción remota con respecto a

las otras capas de información contenidas en un SIG?

Es una información espacialmente densa: una consecuencia práctica es el volumen de datos, mucho más importante que para cualquier otra capa.

- Es una información de múltiples usos: no es una información temática, no es filtrada de acuerdo con una aplicación temática (ya que tengo que hablar del desarrollo y de la paz, creo que el hecho de reunir a todos los usuarios alrededor de la misma información es un detalle interesante).
- La imagen de percepción remota no depende de la estructura del paisaje, y eso le permite superar una limitación grave del SIG. Al SIG, en su concepción clásica, le gustan los paisajes estructurados, donde las parcelas tienen límites discontinuos y un contenido homogéneo, así que pueden ser

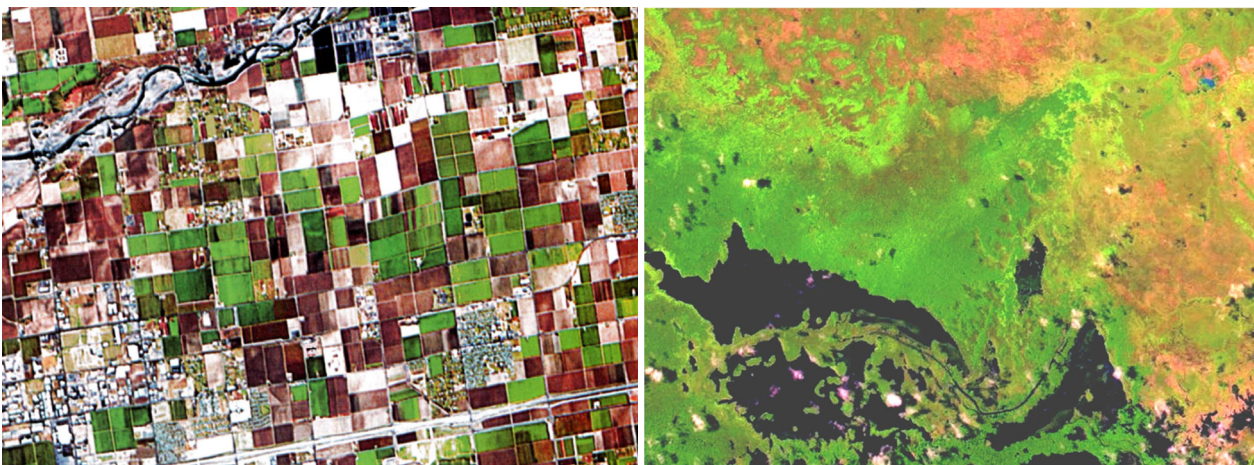


Figura 5. Imágenes de percepción remota: a la izquierda, una imagen con contenido homogéneo; a la derecha, una imagen de un paisaje natural.

Fuente: ArcMap, 2017.



consideradas como objetos con sus atributos. Eso es ideal para paisajes de agricultura extensiva y mecanizada (por ejemplo en la imagen izquierda de la figura 5), pero no funciona para paisajes naturales donde uno pasa, sin percibirlo, de un ecosistema al otro (a la derecha en la figura 5).

- Y finalmente, es accesible para todos, o sea que al contrario del mapa tradicional, que está lleno de símbolos y necesita una cultura técnica sólida, la imagen puede ser leída por cualquier persona, hasta por un niño o por alguien que no habla el idioma oficial del país. Y frente a la necesidad de concientizar a la población sobre los asuntos ambientales, esa es una ventaja muy grande.

4. Otra evolución importante de las técnicas de percepción remota es lo que podemos llamar un cambio de escala, debido a un mejoramiento espectacular de la resolución.

Mirando la evolución de la resolución de los sensores remotos a lo largo del tiempo, hubo un mejoramiento continuo, sin ruptura, o sea que no ocurrió ninguna revolución tecnológica. En realidad, aparecen dos tendencias que podemos llamar *innovación* y *tradición*. Vamos a hablar de innovación cuando una agencia se aprovecha de cualquier novedad tecnológica para mejorar siempre la resolución de cada nuevo satélite. Vamos a hablar de tradición cuando se mantiene la misma resolución, porque es más seguro, porque los usuarios ya están acostumbrados y porque eso permite alimentar observatorios del medio ambiente con series temporales homogéneas.

Cuando se habla de desarrollo sostenible, puede ser interesante preferir la continuidad en vez de estar jugando siempre con las técnicas nuevas. Parece que en los últimos años los sistemas de resolución métrica han reunido la innovación y la tradición porque las imágenes que están disponibles ahora por satélite, por primera vez, son parecidas a las imágenes que desde siempre eran proporcionadas por sensores aéreos. Tienen las mismas características técnicas, y la única diferencia que existe ahora entre imágenes aéreas y satelitales es el tiempo que el usuario tiene que esperar para recibirlas, sobre todo si precisa de muchas imágenes para hacer un mosaico.

Es muy interesante poder mejorar la resolución, y el hecho de ver más cerca realmente ofrece nuevas posibilidades. Pero hay peligros o efectos secundarios, como se dice, para los remedios.

- Se volvió más y más difícil mejorar la resolución de los sensores debido a limitaciones físicas, y en esta situación es muy importante que el usuario sepa de qué se está hablando, y que no se confunda entre la resolución, que es el verdadero desafío tecnológico, y el tamaño del pixel que puede ser reducido sin ninguna dificultad. Es común comprar una imagen con un pixel de 80 cm y una resolución de 1,50 m, y creer que estamos con una resolución de 80 cm.
- Otro problema es la vigilancia ambiental sobre períodos de 30 a 40 años porque se hace con resoluciones que han cambiado mucho. Entonces, ¿cómo puedo concluir que el medioambiente se transforma si el ojo que está mirando también está cambiando?



Finalmente quería llamar su atención sobre lo siguiente: es que con el cambio de escala los objetos geográficos cambian de nombre. En la figura 6, a la izquierda, mirando de cerca, yo veo casas, y mirando de lejos yo veo un barrio residencial: tengo que usar otro nombre para hablar de la misma cosa. En este cuadro de Archimboldo (figura 6, derecha), mirando de cerca yo veo legumbres, y mirando de lejos yo veo el retrato de un hombre.



Figura 6. La percepción cambia con la escala: a la izquierda, una imagen Pléiades de una zona céntrica de Madrid, España; a la derecha, una pintura de Archimboldo (1591).

Fuente: CNES, Distribution ASV / Spot Image S. A., 2012 (izq.); Wikimedia Commons (der.).

Hace tiempo que hacemos mapas temáticos con imágenes de satélite usando algoritmos de clasificación, y el hecho de hacerlo ahora con imágenes de alta resolución exige teóricamente una redefinición del nombre de las clases. Pero muchas veces no lo hacemos.

Hasta las conclusiones de los análisis cambian cuando se mejora la resolución,

y lo muestro con este ejemplo donde un modelo digital de terreno es usado para mapear el riesgo de erosión (figura 7).

En rojo están representadas las áreas donde la pendiente es mayor que 20°. Aparece claramente que la mejor resolución nos lleva a concluir que el riesgo es mayor. Muchas veces hemos cambiado de escala sin tener cuidado.



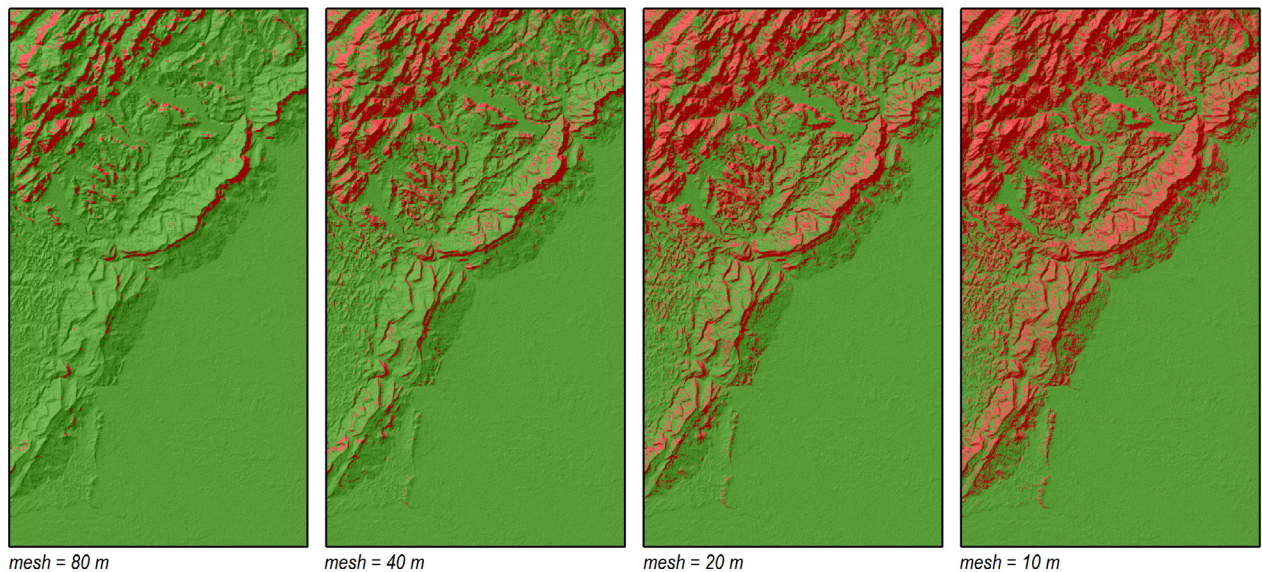


Figura 7. Modelo digital de terreno usado para mapear el riesgo de erosión
Fuente: IGAC, 2017.

5. Evolución de los métodos de interpretación. Recuerdo que cuando empecé ya existían muchos métodos de procesamiento para la interpretación de las imágenes, con algoritmos de filtraje, de clasificación, de análisis de textura, de reconocimiento de formas y muchos otros. Hubo muchos trabajos de investigación para mejorarlos, pero también aparecieron sus limitaciones, y creo que fueron superadas introduciendo enfoques nuevos. Por ejemplo, se hizo un uso mayor de las herramientas matemáticas de modelización de los objetos que habían nacido anteriormente, como la lógica borrosa o difusa (Zadeh, 1965), la geoestadística (Matheron, 1970) o la geometría fractal (Mandelbrot, 1975), que poco a poco se integraron en la geomática.

También acabó la ilusión de que el valor radiométrico del pixel permite definir una firma capaz de identificar cualquier objeto.

Es una creencia muy fuerte, y muchos esfuerzos fueron hechos para mejorar la calibración de las mediciones o desarrollar sensores de alta resolución espectral, pero este enfoque se queda muy limitado porque el valor del pixel es un flujo de energía; ¿y cómo hago, a partir de un flujo de energía, para identificar un valle, una ciudad, un barrio rico o un barrio pobre? Esta limitación fue superada, en algunos casos, introduciendo la noción de firma indirecta, que usa la correlación entre una variable no observable (como la densidad de población) y una variable observable (en la figura 8 se muestra un índice de textura calculado a partir de una imagen de Landsat clasificada donde aparecen los edificios en la ciudad de Belém, Brasil).

Las firmas indirectas han permitido la cartografía de variables geográficas que no son definidas directamente por el color o la geometría.

Entonces, los cinco ejes de evolución que acabo de describir muestran que durante los últimos veinticinco años no hubo ruptura tecnológica, pero las técnicas de percepción remota se volvieron más maduras, sus limitaciones fueron parcialmente superadas a medida que empezaban a acompañar la concientización de todos los problemas ambientales, y esta concientización es una de las grandes novedades de los últimos veinticinco años.



Figura 8. Índice de textura calculado a partir de una imagen de Landsat clasificada en Belém, Brasil

Fuente: U. S. Geological Survey & Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2017.

Ahora quisiera volver al título de la conferencia y a esta pregunta inicial: ¿cuáles son los aportes de la percepción remota para construir la paz? Podemos definir la paz como la seguridad de la humanidad, o sea la ausencia de agresión. Pero hoy en día sabemos que no es posible definir la paz o buscarla sin incluir el medio ambiente. Me gusta mucho un cuadro del pintor español Goya, donde dos hombres están peleando (figura 9).

Esta pintura simboliza el conflicto entre dos partidos en la época del pintor (los liberales y los absolutistas), pero en realidad hay tres actores en esta escena, ya que los dos hombres están hundiéndose en el barro, o sea que la naturaleza, aunque no haya firmado ninguna declaración de guerra, está disponible para entrar en el conflicto.





Figura 9. *Duelo a garrotazos*, de Francisco de Goya (1822)
Fuente: Museo del Prado, 2017.

Finalmente, podemos considerar tres tipos de agresión, y en los tres casos la percepción remota permite observar, localizar y analizar.

1. Agresión de la naturaleza sobre la sociedad

Son los desastres naturales, y la percepción remota siempre ha ayudado bastante para entender los fenómenos y administrar sus consecuencias, como en el caso

de las erupciones volcánicas, los deslizamientos, los huracanes, los terremotos, los incendios y las inundaciones.

2. Agresión de la sociedad sobre la naturaleza

Estas agresiones son, generalmente, más escondidas, y en los dos ejemplos se trata de acciones contaminadoras ilegales: un sitio clandestino de lavado de oro en Surinam (figura 11, izquierda) y un barco que está lavando sus tanques y dejando



Figura 10. Imágenes ópticas de desastres naturales: a la izquierda, una imagen captada por el satélite Pléiades el 24 de julio de 2012, donde se aprecia la zona quemada por el incendio, que rodea completamente del pueblo de La Jonquera, en España; a la derecha, imagen infrarroja de la misma zona, donde también se aprecian los efectos del incendio.

Fuente: CNES, Distribution ASV / Spot Image S. A., 2012.

petróleo en la superficie del mar, en forma de una línea negra, en el estrecho de Gibraltar (figura 11, derecha). Ya que son actividades escondidas, la percepción remota, en muchos casos, es la única manera de verlas; solo falta darle a las imágenes un valor jurídico más claro.

3. Agresión de la sociedad sobre la sociedad

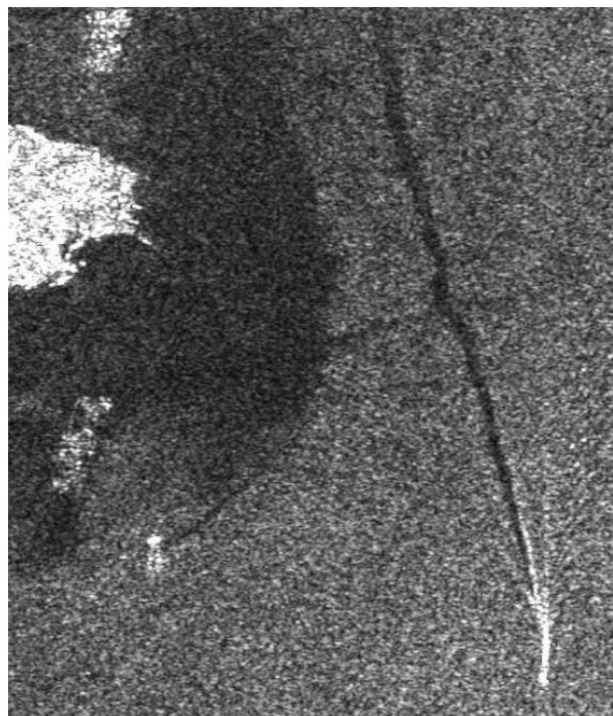
Aquí estamos en un contexto militar típico y sabemos que la percepción remota siempre fue una herramienta importante tanto para preparar agresiones como para

organizar la defensa. Pero fuera de las aplicaciones específicamente militares, las agresiones de la sociedad sobre la sociedad pueden tomar otra forma.

La pobreza es una, y las injusticias sociales no pueden ser escondidas a los detectores de un satélite, como lo nuestro aquí, comparando dos barrios de un mismo municipio en una ciudad suramericana, aunque las imágenes no sean suficientes para cuantificar el nivel de riqueza, de salud o de educación de la gente (figura 12, izquierda y centro).

Figura 11. Mina de oro en Surinam (izq.); estrecho de Gibraltar. Imagen SAR de Radarsat, del 21 de enero de 1998 a las 18:19 UTC (der.)

Fuente: Google DigitalGlobe, 2015 (izq.); Universidad Politécnica de Cataluña (s. f.).



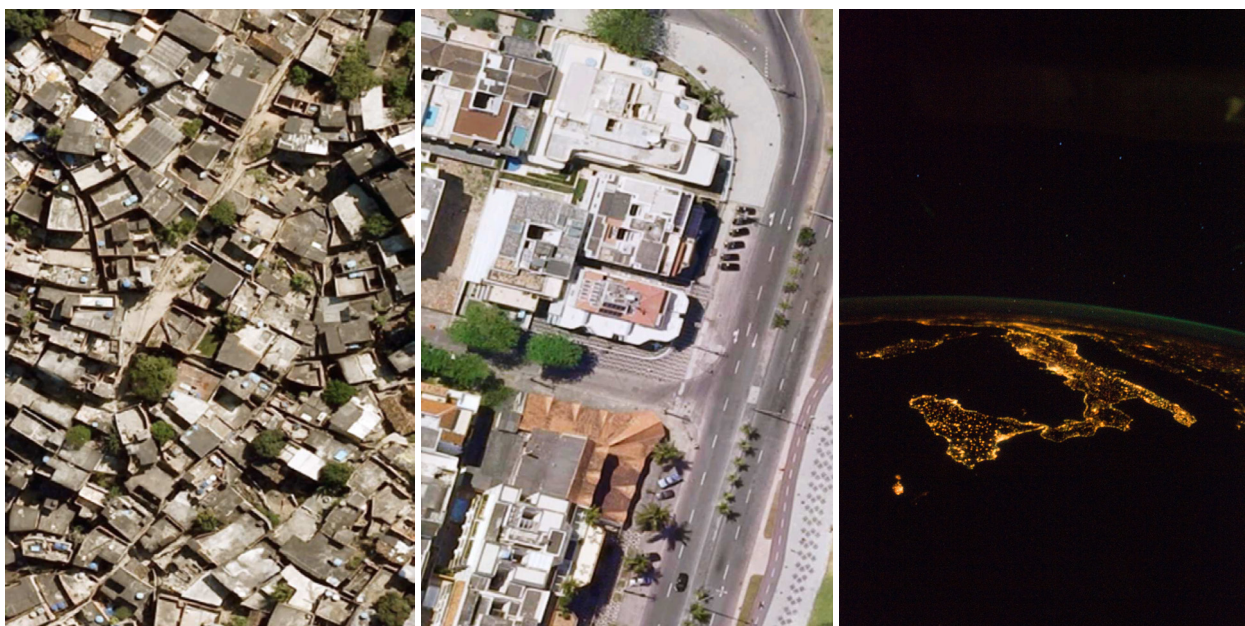


Figura 12. La desigualdad social no puede esconderse de los detectores de un satélite
 Fuente: ArcMAP, 2017 (izq. y centro); NASA, 2014 (der.).

A una escala más global también podemos observar las injusticias sociales, como en esta imagen óptica nocturna que muestra grandes diferencias espaciales entre Europa y otros países en términos de consumo de energía (figura 12, derecha).

La observación con la percepción remota de la distribución espacial de la sociedad sobre la superficie de la Tierra es un apoyo muy grande como base de información, pero también, como lo dije anteriormente, como herramienta de comunicación y de negociación, ya que todos lo pueden ver, incluso sin ninguna capacitación técnica. Y eso es muy interesante para la elaboración de catastros y la administración de tierras, que siempre han sido asuntos que generan conflictos.

Si consideramos la superficie total de tierras emergidas en el mundo y la población mundial total, ¿cuál es la superficie

media disponible para cada uno? Tres hectáreas por persona. Es mucho. El problema es que hay muchas áreas donde no es fácil vivir, la naturaleza colocó obstáculos, la historia humana colocó obstáculos. Frente a esta realidad, y aunque la solución del problema tiene que ser política, la percepción remota ofrece una posibilidad única para identificar y entender estos obstáculos.

Así, cuando una ciudad está creciendo, la geometría del tejido urbano nos muestra las áreas donde aparece la expresión de una política de propiedad de la tierra y las áreas donde los obstáculos naturales interrumpen la propagación del fenómeno de urbanización, como se ve en la imagen Landsat de la ciudad de Macapá, en Brasil (figura 13).

Y, por fin, las imágenes pueden ayudar también para asegurar la delimitación de la propiedad privada, ya que los límites

de parcelas pueden ser materializados en el campo, pero también en las imágenes; esta solución es técnicamente madura, solo falta, en cada país, darle un valor jurídico.

El último comentario que quisiera hacer sobre este asunto de la percepción remota como ayuda para construir la paz, es sobre la importancia de la cooperación internacional. En su famosa obra *Hacia la paz perpetua*, el filósofo alemán Emmanuel Kant (1724-1804) coloca las bases teóricas de una paz global que no define como la ausencia de conflictos, sino como una situación donde los conflictos son imposibles, y muestra que la paz

solo puede ser asegurada por el derecho y que este derecho tiene que ser construido dentro de una organización de todas las naciones del mundo. Y, justamente, es en el marco de las organizaciones internacionales que se definen la mayoría de los programas de percepción remota y los sistemas geodésicos, o sea que esta pregunta sobre los aportes de la percepción remota para construir la paz tiene dos razones para ser estudiada en un contexto de cooperación internacional. Además, la investigación científica es un fenómeno que se construye cada día a través de la cooperación internacional y el objetivo de la investigación es la elevación del nivel intelectual de la humanidad.

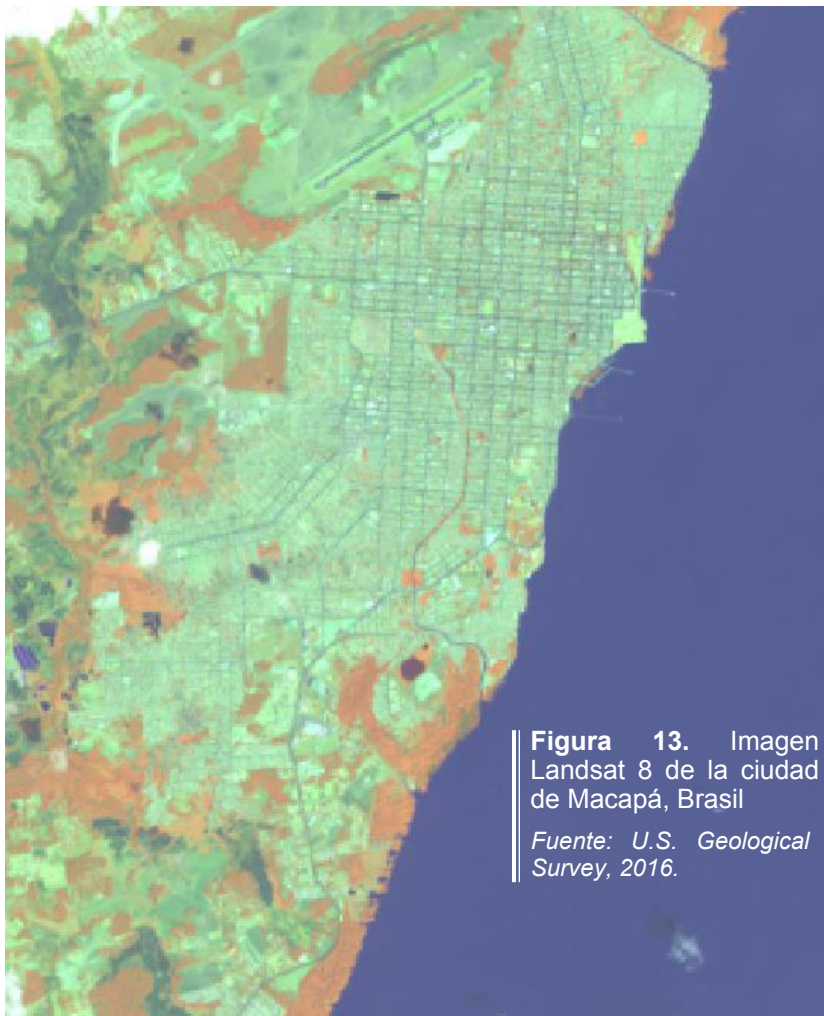


Figura 13. Imagen Landsat 8 de la ciudad de Macapá, Brasil
Fuente: U.S. Geological Survey, 2016.



¿Será que eso no es una contribución a la paz?

Para concluir, no percibí ninguna revolución tecnológica en los últimos veinticinco años, pero los métodos de percepción remota se han vuelto más maduros y estamos más lúcidos sobre sus limitaciones. No debemos ser ingenuos y creer que la tecnología puede resolver todo, pero tenemos que reconocer el poder de la percepción remota para aplicaciones como la gestión de los riesgos naturales y la administración de la propiedad de la tierra, que realmente contribuyen a la seguridad de la humanidad, así como la posibilidad de mostrar a cualquier ciudadano una imagen del mundo donde vive a través de una lectura intuitiva, que es una manera de asociar a todos a las preocupaciones ambientales. Sabemos que esa es una condición del éxito del desarrollo sostenible.

Sin embargo, esta situación nueva, que no existía veinticinco años atrás, nos da una responsabilidad grande. Para nosotros, para nuestra comunidad industrial y científica, frente a los desastres ecológicos y humanos que ocurren, ya no es posible pretender que no sabíamos.

Y si me autorizan una última frase de conclusión, quisiera decir que esta historia que les presenté en diferentes escalas de tiempo (400 años, 50 años y finalmente 25 años, que es el período que tuve la oportunidad de acompañar) es una visión personal y parcial, pero me parece importante que cada uno, y principalmente los más jóvenes, se interesen en el asunto para construir su propio entendimiento del pasado y poder inventar el futuro, ya que, como decía el filósofo Henri Bergson, el futuro no es lo que va a ocurrir, sino lo que nosotros vamos a hacer.



Bibliografía

- ArcMap (2017). *World Imagery*. Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community.
- Astrium GEO-Information Services (2012). *Pléiades Imagery User Guide*, V. 2.0. Recuperado de: <http://www.cscrs.itu.edu.tr/assets/downloads/PléiadesUserGuide.pdf>.
- CNES, Distribution ASV / Spot Image S. A. (julio 24, 2012). *Incendio en el pueblo de La Jonquera, España*. Imágenes recuperadas de <http://www.infoterra.es/image-gallery>.
- David Rumsey Historical Map Collection (S. f.). *Facsimile: Guiana by de Bry*. Recuperado de: <http://www.davidrumsey.com/luna/servlet/detail/RUMSEY~8~1~203959~3001742:Facsimile--Guiana-by-de-Bry->.
- Infoterra SGSA (2016). *Satélite SPOT 4 y 5*. Recuperado de <http://www.infoterra.es/datos-satelite-spot>.
- Francisco de Goya (2016). *Duelo a garrotazos*. Recuperado de <https://www.museodelprado.es/coleccion/obra-de-arte/duelo-a-garrotazos/2f2f2e12-ed09-45dd-805d-f38162c5beaf>.
- Giuseppe Arcimboldo (2016). *Rudolf II as Vertumnus*. Recuperado de <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Arcimboldovertemnus.jpeg>.
- Google DigitalGlobe (2015). *Gold mining in Suriname*. Recuperado de <http://amazonteam.org/maps/suriname-gold/>.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) (2017). *Modelo digital de terreno usado para mapear el riesgo de erosión*. Bogotá: IGAC, Centro de Investigación y Desarrollo en Información Geográfica (CIAF), Grupo de Percepción Remota y Aplicaciones Geográficas.
- Luque, B. (11 de mayo, 2010). *Atmósfera: cuando vimos lo que durante tanto tiempo habíamos imaginado*. *Heraldo de Aragón, Suplemento de ciencia Tercer Milenio*, 542. Recuperado de <http://www.dmae.upm.es/WebpersonalBartolo/divulgacion.html>.





National Aeronautics and Space Administration (NASA) (2016). *Shuttle Radar Topography Mission*. Recuperado de <https://www.jpl.nasa.gov/missions/shuttle-radar-topography-mission-srtm/>.

National Aeronautics and Space Administration (NASA) (Dec. 15, 2014). *Italy at Night*. Recuperado de https://www.nasa.gov/images/content/684493main_italy_boot_full_full.jpg.

Universidad Politécnica de Cataluña (S. f.). Principios de adquisición de imágenes del SAR. *UPCommons. Portal de acceso abierto al conocimiento de la UPC*. Recuperado de http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/93692/2_3_Satelites_con_SAR.pdf?sequence=10&isAllowed=y.

U. S. Geological Survey (2004). *Image SPOT 5*. Courtesy of the U.S. Geological Survey. Recuperado de <https://earthexplorer.usgs.gov/>.

U. S. Geological Survey (2016). *Imagen Landsat 8 de la ciudad de Macapá, Brasil*. Landsat 8 - 2016-12-20T09:20 - Combinación 5, 6, 4. Courtesy of the U. S. Geological Survey. Recueprado de <https://earthexplorer.usgs.gov/>.

U. S. Geological Survey & Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) (2017). *Índice de textura calculado a partir de una imagen Landsat 8*. Image courtesy of the U.S. Geological Survey (<https://earthexplorer.usgs.gov/>), processed at the IGAC, Centro de Investigación y Desarrollo en Información Geográfica (CIAF), Grupo de Percepción Remota y Aplicaciones Geográficas.

