

Landsat: breve historia en millones de imágenes I

Yasser Said López de Olmos Reyes

El 11 de febrero de 2013 se lanzó a la atmósfera la Misión de Continuidad de Datos Landsat (LDCM, por sus siglas en inglés), ahora conocida como Landsat 8. Landsat es un proyecto de la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio estadounidense (NASA), que incluye ocho misiones. Landsat lleva activo más de 40 años, ha recopilado información de casi toda la superficie terrestre

mediante la captura de imágenes desde una órbita baja.

Un proyecto tan emblemático y exitoso sólo se puede desarrollar aprendiendo. Muchas cosas han cambiado desde que se originó esta misión y gracias a este aprendizaje se han logrado mejoras claras en los productos que Landsat provee. Los sensores utilizados en el proyecto Landsat han registrado probablemente los años más vertiginosos en cuanto a la transformación de la superficie terrestre y en este sentido nos ofrecen una perspectiva histórica reciente que resume en cierta forma --a veces no tan evidente-- una gran parte de la actividad humana que han presenciado.

¿Cómo se entrega y de qué consta un producto Landsat?

Los productos del Landsat se distribuyen por internet, mediante servicios como GloVis y EarthExplorer del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés). Éstos proveen un archivo que al descomprimirse nos proporciona una serie de archivos de texto e imágenes. Los primeros son datos de las imágenes mismas conocidos como metadatos y que nos describen las condiciones en las que se produjeron las imágenes, los tratamientos que se llevaron a cabo y nos ofrecen información para posteriores procesamientos útiles para las necesidades de los usuarios finales.

El espectro electromagnético se compone de varias bandas de longitudes de onda diferentes. La luz visible es la banda o segmento espectral que un ojo humano típico puede percibir. Esta banda espectral puede dividirse a su vez en bandas más pequeñas a las que llamamos colores y que van del violeta al rojo, en un continuo que pasa por el azul, verde, amarillo y naranja. Existen otros tipos de radiaciones electromagnéticas que percibimos pero que no podemos ver como la radiación térmica u otras que captamos con aparatos especiales, como las ondas de radio. Todas estas bandas son parte del espectro

electromagnético y los sensores remotos son dispositivos tecnológicos especializados en percibir, cuantificar y registrar estas radiaciones con la mayor precisión posible en una malla de datos.

Los archivos de imagen de un sensor remoto como los del proyecto Landsat son en realidad cada uno mediciones de bandas de radiación electromagnética y, por lo tanto, no deberían verse como una imagen digital cualquiera, ya que representan la cantidad de radiación reflejada (o emitida) por la superficie terrestre en un área y un momento específicos. Cuando estos datos son registrados como imágenes digitales, a cada uno de ellos se le da un valor numérico en la unidad de la imagen digital llamada pixel; llamamos banda a cada una de las imágenes de la pila que se reparte como un producto Landsat (más detalles sobre lo que es un pixel en “Una pantalla en la retina”, de Adriana Pliego, Cienciorama, 2013). Existe, pues, una correspondencia de la malla de datos con un área de la superficie de la Tierra y a la vez con un segmento del espectro electromagnético que esta superficie refleja.

Cada banda que un sensor remoto es capaz de cuantificar representa valores diferentes porque mide bandas diferentes del espectro electromagnético, y aunque los pixeles de diferentes bandas cubren la misma área en el mismo momento, cada malla de datos proporciona información de bandas diferentes en una escala de valores que va de un mínimo a un máximo. Cuando estos valores son desplegados en un monitor, se perciben como imágenes con pixeles grises, blancos y negros, pero debemos leerlos como intensidades de radiación en una determinada banda: los pixeles blancos representan áreas con la más alta radiación de esa banda y lo opuesto ocurre con los negros, los grises son valores intermedios.

Un ejemplo (de) concreto

La Plaza de la Constitución (o Zócalo) de la Ciudad de México es considerada el corazón de la capital del país. Tiene forma rectangular y mide aproximadamente 210 x 240 m. Posee una superficie uniforme y en el centro sobresale una gigantesca bandera mexicana. Regularmente hay eventos en el Zócalo, como un concierto, una manifestación, una exposición o una obra de arte colectiva. El siguiente esquema representa la superficie del Zócalo en escala de grises:



Figura 1. Representación del Zócalo de la Ciudad de México (oscuro) y las calles adyacentes (claro)

Los pixeles en una imagen digital no tienen un área específica, un pixel puede tener un área cuando es desplegado en una pantalla, pero una pantalla de un millón de pixeles puede medir 1 m² o 300 m², haciendo que el pixel cubra diferentes áreas. Nadie puede decir cuánto mide un pixel, pero en percepción remota el sensor determina el área para la cual su medición es válida. Los especialistas se refieren a la resolución espacial como una medida de longitud que relaciona la distancia de un lado del pixel con una distancia real en la superficie terrestre. La resolución espacial en la siguiente representación del Zócalo es de 60 m.

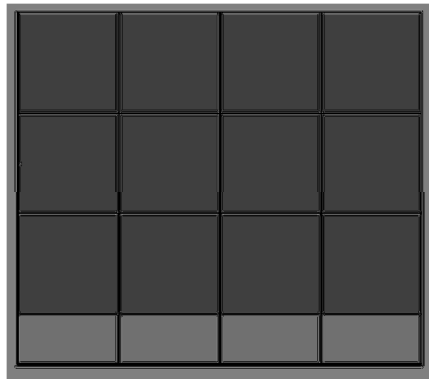


Figura 2. El Zócalo con resolución espacial de 60 m. La cuadrícula es una guía imaginaria de los límites del pixel.

En la Figura 2, aparecen pixeles de diferentes tamaños, lo cual no es válido en una imagen digital. La mitad faltante de los pixeles inferiores representa otra cosa que no es la superficie del Zócalo y el sensor promediará algo que resulte de la combinación de la radiación reflejada por el Zócalo y lo que sea que esté adyacente al mismo.

Si nos basáramos en la radiación reflejada por el Zócalo para medir su área total con resolución espacial de 60 m, contabilizaríamos 12 pixeles de $3,600 \text{ m}^2$ y concluiríamos que la superficie del Zócalo es de $43,200 \text{ m}^2$, ¿pero por qué nos harían falta metros cuadrados? Porque nos estamos basando exclusivamente en la reflectividad de los pixeles para hacer la medición y hay pixeles que no están alineados con la superficie del Zócalo y que representan áreas más heterogéneas. Es decir, la mitad de los pixeles inferiores cubren el Zócalo, pero la otra mitad abarca múltiples objetos al sur del mismo (calles adyacentes, techos de edificios, jardineras, tragaluces, etc.), haciendo que el aspecto general del pixel sea diferente al de pixeles que sólo cubren el piso del Zócalo.

En la siguiente imagen representaremos el Zócalo con pixeles de 900 m^2 :

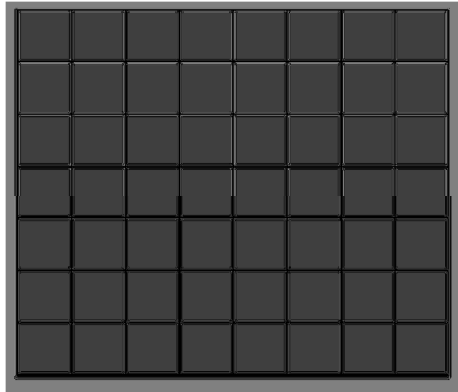


Figura 3. El Zócalo con resolución espacial de 30 m

En la imagen anterior la representación de los píxeles está perfectamente alineada con la superficie del Zócalo. Tenemos aquí que el Zócalo requiere 56 píxeles de 900 m^2 para ser representado y podemos calcular con bastante precisión una superficie de $50,400 \text{ m}^2$ basándonos en las longitudes de onda que refleja el piso del Zócalo. Como ningún píxel representa nada más allá de la superficie del Zócalo en teoría, los 56 valores deberían ser similares en estos píxeles para todas las bandas, dado que todos estos píxeles representan una superficie similar. En la siguiente imagen representaremos el Zócalo en píxeles de 15 m y veremos cómo la actividad humana puede influir en las mediciones de los sensores remotos:

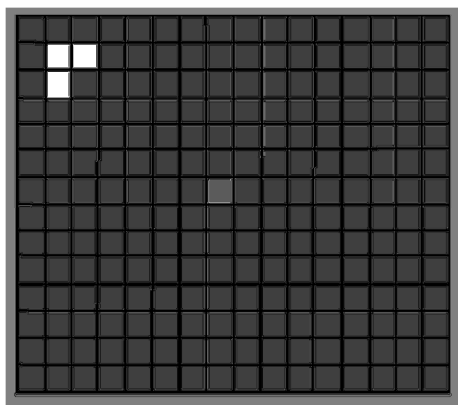


Figura 4. El Zócalo representado en píxeles de 15 m, sobresalen algunos píxeles atípicos.

Supongamos que en el momento en que el sensor remoto escaneó la Plaza de la Constitución se montaba el escenario para un festival de música y sobre éste se montó una carpa blanca de unos 135 m² que cubre tres píxeles atípicos de los 224 píxeles de 15 x 15 m que abarcarían el Zócalo. En esta resolución tan alta posiblemente pueda percibirse otro píxel atípico en el centro: la gigantesca bandera nacional influyendo en las mediciones de este píxel.

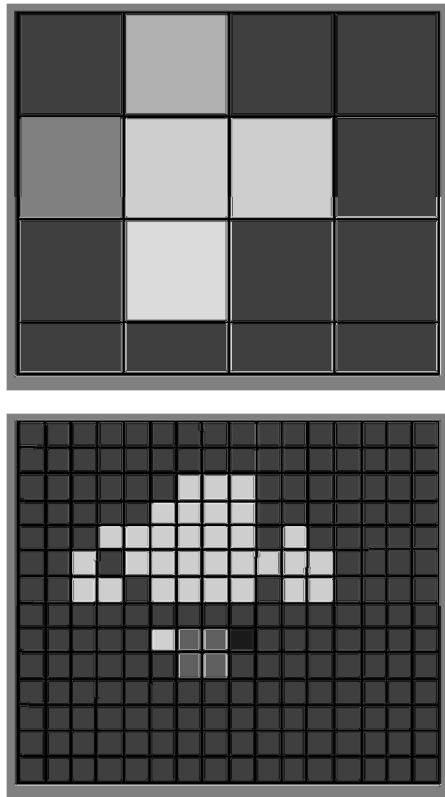
La flor de lis más grande del mundo

La Asociación de Scouts de México, tiene la tradición de construir en el Zócalo la flor de lis más grande del mundo (el emblema del movimiento scout mundial) con latas y botellas reciclables de pet y aluminio. En 2011, decidieron colorear los pétalos inferiores con colores amarillo, verde y rojo. ¿Cómo se vería esto si le tomáramos una foto desde la cima del astabandera? Algo así:



Figura 5. Representación de la Flor de Lis 2011

Bandas pancromáticas (*i. e.* bandas amplias que abarcan todo el espectro visible o más aún) con resolución espacial de 60 m y 15 m dibujarían, respectivamente, algo no muy convincente:



Figuras 6 y 7. La flor de lis en la Plaza de la Constitución, banda pancromática, 60 m y 15 m de *resolución espacial*, respectivamente

Cuando usamos una banda especializada (p. ej. un color visible) ésta no distinguirá varios colores, sino intensidades del mismo color: una banda especializada en captar el color verde, en una escala de grises en la que el blanco es el más verde y el negro es el nada verde, con resolución de 15 m, dibujaría una flor de lis resaltando los pétalos verdes con valores altos (blancos):

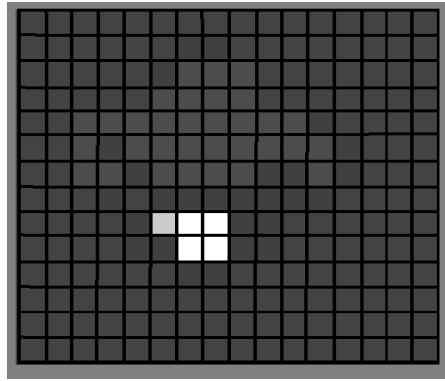


Figura 8. Flor de lis 2011 en la banda verde de un sensor remoto con *resolución espacial* de 15 m.

La imagen de la banda roja resaltaría más el pétalo pintado de rojo y sería casi incapaz de percibir las demás bandas. Recordemos que esto significa que el sensor le está dando un valor alto a lo que se representa con pixeles blancos.

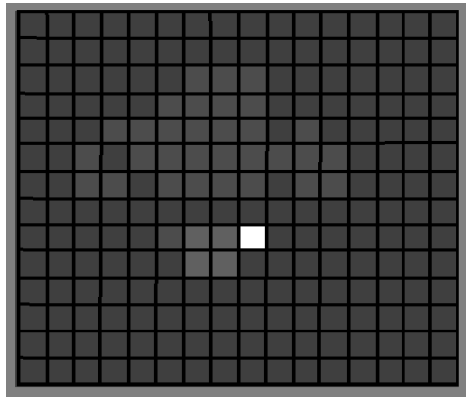


Figura 9. Flor de lis 2011 en la banda roja de un sensor remoto con *resolución espacial* de 15 m

Así, entre más bandas sea capaz de medir un sensor remoto éste tiene una mayor resolución espectral, ya que registra con mayor detalle el espectro de radiaciones reflejadas por los objetos sobre la Tierra y describe con mayor detalle su firma espectral, que en teoría podría distinguir un bosque de pino de un bosque de abeto.

Un evento virtual de ajedrez

Imaginémonos ahora que en el Zócalo habrá un torneo de ajedrez por lo que se ha pintado un inmenso tablero de ocho casillas por ocho casillas intercaladas en blanco y negro. Dado que el negro se define como la ausencia total de color y el blanco como la luz que contiene todos los colores, un sensor remoto con una amplia resolución espectral probablemente será capaz de captar el mismo patrón con intensidades similares:

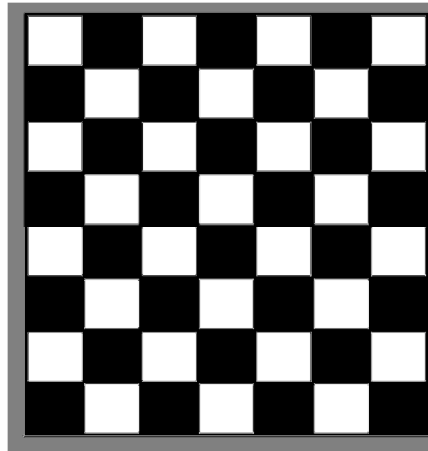


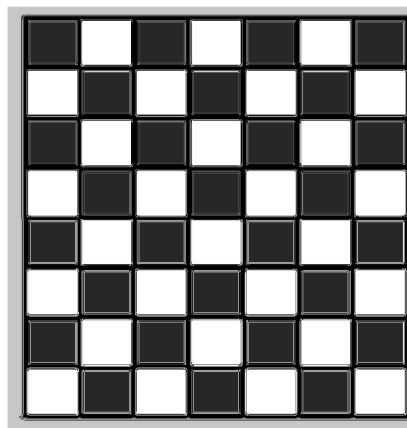
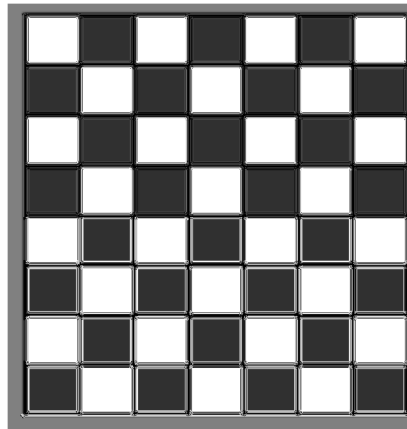
Figura 10. Tablero de ajedrez monumental, dibujado sobre el Zócalo, representado en píxeles de una imagen pancromática de 30 m de resolución espacial.

La resolución radiométrica se refiere a la agudeza del sensor para medir la radiación entrante y cobra una enorme importancia en la distinción de los componentes de la imagen. Este patrón puede ser representado en píxeles de un bit ($2^1 = 2$, dos valores, cero o uno, negro o blanco). Pero si el sensor es tan perceptivo que los píxeles son de ocho bits (2^8), entonces pueden distinguirse 256 intensidades diferentes: aparte del blanco y el negro, se distinguen 254 tonos de grises. Los sensores del Landsat 8 distinguen 4,096 tonos diferentes de rojos, 4,096 de verdes, 4,096 de azules, 4,096 de varios tipos de infrarrojos, etc., ya que sus píxeles son de doce bits (2^{12}).

No todos los tableros de ajedrez tienen que ser blancos con negro, pero

debe haber una distinción entre las casillas claras y las casillas oscuras.

Si el tablero no se pintara con los típicos colores blanco y negro, y se decidiera pintar de verde claro y rojo oscuro, entonces para distinguir las tonalidades de manera más fina, sería mejor recurrir a la imagen de la banda verde y a la de la roja. Con una resolución de 30 m, las bandas verde y roja que representarían el Zócalo pintado de verde claro y rojo oscuro, respectivamente, se verían como tableros complementarios:



Figuras 11 y 12. Tableros de ajedrez dibujados sobre el Zócalo, el primero representando la banda del verde y el segundo la banda del rojo, a 30 m de resolución espacial

Esto sería similar a que tuviéramos un tablero de ajedrez en nuestra casa con

las casillas verde claro y rojo oscuro y uno de nuestros ojos se especializara en distinguir la longitud de onda del verde y la resaltara como un objeto brillante. Si este ojo se especializara en ver la longitud de onda del rojo y la resaltara como un objeto brillante mientras más radiación roja reflejara un objeto, todo lo demás lo verían ambos ojos de una forma un tanto oscura. Al tapar el ojo que ve el rojo, el tablero se vería como en la figura 11, y al tapar el otro se vería como en la figura 12.

Pero hasta ahora sólo hemos hablado de pixeles más brillantes o menos brillantes. La característica más importante de la resolución radiométrica de una imagen satelital estriba en la capacidad de medir qué tan brillantes son los objetos de una manera bastante objetiva.

Es prácticamente imposible encontrar un consenso sobre la cantidad de colores que un humano puede distinguir. Según Mark D. Fairchild del Instituto de Tecnología de Rochester y Manuel Melgosa de la Universidad de Granada, se pueden distinguir diez millones de colores. Sin embargo, no tenemos nombres para todos esos colores y probablemente nos equivocaríamos al intentar distinguirlos porque para hacerlo entran en juego la experiencia, la cultura y el idioma, la psicología, la salud, etc.

Los sensores más recientes del Landsat pueden distinguir 65,536 tonos de los colores verde, rojo y azul. Si tuviéramos estos sensores por ojos seríamos capaces de ver en el espectro visible más de 281 billones de colores (281,474,976,710,656 exactamente). Pero no sólo eso, los sensores remotos distinguen otras bandas que no son del espectro visible y aumentan exponencialmente la cantidad antes mencionada; y por si no fuera suficiente, son capaces de decirnos cuál es cada uno de esos colores mediante un lenguaje numérico. De manera que si el encargado de la obra de pintar las casillas de ajedrez sobre el Zócalo quiere ser quisquilloso, podría darse cuenta,

con una imagen satelital, de quién le dio a su casilla una segunda mano y quién no lo hizo.

Antes de dar un paseo en imágenes a través de la historia de Landsat, recordemos que muchas propiedades físicas de los objetos están ligadas a su color. Imaginemos la diversidad de coberturas naturales y artificiales que los sensores Landsat han capturado y luego pensemos en toda la información que han aportado a lo largo de décadas, la investigación científica que encauzaron y la tremenda cantidad de decisiones que han ayudado a tomar. Sin lugar a dudas ha sido un largo error el del proyecto Landsat.

Bibliografía

1. Lira, J., "Introducción al tratamiento digital de imágenes", *Cuadernos del Instituto de Geofísica 9*, Instituto de Geofísica, UNAM. México, DF, 2002.
2. Lira, J., *La percepción remota: nuestros ojos desde el espacio*, Ciencia para todos, Fondo de Cultura Económica. México, DF, 2003.
<http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/33/htm/percep.htm>
3. Pliego, A., 2013, "Una pantalla en la retina" Cienciorama [Página web]
http://www.cienciorama.ccadet.unam.mx/articulos_extensos/140_extenso.pdf
4. National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2013, *Landsat Science* [Página web]. URL <http://landsat.gsfc.nasa.gov/>
5. United States Geological Survey (USGS), "Landsat 8", No. FS - 2013-3060, United States Geological Survey, 2013.
6. United States Geological Survey (USGS), *Landsat* [Documento web]. Landsat Missions. URL <http://landsat.usgs.gov/>, 2013.