

Libros de **Cátedra**

Teledetección y sistemas de información geográfica

Fundamentos teóricos y ejemplos
de aplicaciones para las ciencias naturales

Sandra E. Torrusio - María R. Derguy
Anabel A. Lamaro (coordinadoras)

n
naturales

FACULTAD DE
CIENCIAS NATURALES Y MUSEO


EDITORIAL DE LA UNLP



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA

TELEDETECCIÓN Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y EJEMPLOS DE APLICACIONES PARA LAS CIENCIAS NATURALES

Sandra E. Torrusio
María R. Derguy
Anabel A. Lamaro
(coordinadoras)

Facultad de Ciencias Naturales y Museo



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA



Agradecimientos

Las coordinadoras agradecen enormemente a los y las colegas que han contribuido con toda su experticia y dedicación a nutrir esta obra en cada uno de los capítulos y anexos, sumando saberes, información y transmitiendo su pasión por la ciencia, la tecnología y la enseñanza.

Un gracias muy especial al Dr. Conrado Franco Varotto, uno de los principales artífices del desarrollo espacial en nuestro país, por prologar nuestro libro con todo su entusiasmo habitual, es realmente un honor tenerlo en estas páginas.

Gracias a las y los estudiantes que han pasado por la asignatura ya que han sido la principal fuente de inspiración para esta obra, y un gracias a futuro para aquellos/as que recurran a este trabajo para aprender, crear y aplicar estas herramientas a su labor.

Muchas gracias a la UNLP que a través de la Convocatoria hemos podido concretar nuestro primer “Libro de Cátedra” y así llegar a ustedes, y a la Facultad de Ciencias Naturales y Museo por todo su apoyo.

*Consideramos que es una certeza que la tierra, encerrada entre polos,
está limitada por una superficie esférica.*

Copérnico (1473-1543)

Índice

Introducción	7
Prólogo	10
Capítulo 1	
Introducción a la Teledetección Espacial	12
<i>Sandra E. Torrusio, María R. Derguy y Anabel A. Lamaro</i>	
Anexo 1	
Fundamentos de LiDAR	55
<i>Daniel Del Cogliano y Mariana Mora</i>	
Capítulo 2	
Introducción a los SIG	62
<i>Natalia S. Morales, Anabel A. Lamaro y Betina I. Zucchini</i>	
Anexo 2	
Primeros pasos en Google Earth Engine (GEE)	80
<i>María del Rosario Iglesias</i>	
Capítulo 3	
Infraestructura de Datos Espaciales y Geoportales	85
<i>Betina I. Zucchini, María R. Derguy y Sandra E. Torrusio</i>	
Anexo 3	
Desarrollo de Capacidades para la IDE	106
<i>Luis Reynoso</i>	
Capítulo 4	
Introducción a la Cartografía	115
<i>Sandra E. Torrusio, Betina I. Zucchini y Natalia S. Morales</i>	
Anexo 4	
Sistemas de Navegación Global por Satélite	140
<i>Mauricio Gende</i>	

Capítulo 5

Modelo de datos vectorial _____ 145

Anabel A. Lamaro, María R. Derguy y Natalia S. Morales

Anexo 5

Datos con componente espacial en salud _____ 168

Betina I. Zucchini y Juliana Pisonero

Capítulo 6

Modelo de datos ráster y su tratamiento _____ 177

María R. Derguy, Sandra E. Torrusio y Anabel A. Lamaro

Anexo 6

Estimación de temperatura superficial del suelo _____ 207

Ana A. S. Seguel

Anexo 7

Recursos web, la información geoespacial y listado de acrónimos _____ 214

Anexo 8

Generalidades de la asignatura Sensores Remotos _____ 277

Los/as autores/autoras _____ 230

Introducción

Hoy en día, hablar de satélites y sensores, tecnología espacial, *GPS*, de mapas disponibles en la *web*, accesibles desde dispositivos móviles y de escritorio, de coordenadas de un lugar o persona, de *software* libre, de acceso a información geoespacial, ya forma parte de conversaciones cotidianas. Esto tiene lugar no solo entre el sector científico-académico y organismos tecnológicos-operativos que usan muchas de estas herramientas, sino también entre el público general que las incorpora a su rutina. Tales conceptos, que serán guías en este libro, confluyen en esta nube de palabras (Figura 1).

Figura 1

Nube de palabras con los términos principales que atraviesan la obra



Conocer en detalle el alcance de los términos mencionados y otros conceptos teórico-prácticos vinculados, sus aplicaciones para el medioambiente, el ordenamiento territorial, el patrimonio cultural, las emergencias y la salud, las actividades productivas, entre muchos otros ejemplos, es el eje central de esta obra. Se trata de un abordaje que busca brindar conocimientos básicos sobre los aspectos científicos-tecnológicos comunes que se integrarán a los saberes específicos según la disciplina en donde se apliquen.

Las principales líneas temáticas que se irán desarrollando a través de los capítulos que conforman este Libro de Cátedra incluyen: la teledetección espacial de la superficie terrestre, los Sistemas de Información Geográfica (SIG), la Infraestructura de Datos Espaciales (IDE), los

fundamentos de cartografía y de los Sistemas Globales de Navegación Satelital (GNSS). Además, se anexan aportes sobre: ejemplos de aplicación (en geología, salud, medioambiente, entre otros), estado del arte de cada una de ellas a nivel nacional e internacional, enlaces para acceder a datos, información, *software* y contenidos; y anexos específicos escritos por expertos/as en temas tales como LiDAR (*Light Detection And Ranging*), GNSS, IDE y herramientas de análisis en la nube como Google Earth Engine (GEE).

Dada la experiencia colectada por las autoras (y docentes de la materia) en muchos años de trabajo, dentro y fuera del aula, se busca generar un material que permita a estudiantes, profesionales e investigadores/as conocer y aplicar las herramientas que abarcan la gestión de la información geográfica mediante tecnologías, en términos generales, la geomática. Se presenta el contenido de forma amena, y con un lenguaje si bien técnico y específico, no tan complicado de entender, promoviendo el interés hacia otros contenidos de avanzada para una segunda etapa futura.

Los/las receptores primarios de este trabajo son los/las estudiantes que cursan la asignatura de Sensores Remotos, sean estos/as de grado o de posgrado, de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo, o de cualquier otra Casa de Estudios de la Universidad Nacional de La Plata (como las Facultades de Ciencias Agrarias y Forestales, Ciencias Exactas, Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Humanidades y Ciencias de la Educación, entre otras, que suelen tomar la materia), como aquellos/as provenientes de otras universidades y entidades del ámbito público como ministerios y organismos afines. También se ha pensado como material de apoyo para aquellos/as docentes y estudiantes de Maestrías y Especializaciones que por su temática específica pueden encontrar en esta disciplina transversal una verdadera aliada. Otro sector destinatario importante lo constituyen los/las profesionales graduados y personal técnico de apoyo que ejercen su actividad en variados ámbitos, no siempre académicos, que se valen de la teleobservación y los SIG, y necesitan del marco teórico para comprender acabadamente el uso de imágenes satelitales, el análisis espacial, *software* específicos y accesos a los datos.

La obra está dividida en capítulos y anexos. Los capítulos concentran en su mayoría los contenidos teórico-prácticos referidos a los ejes troncales de la asignatura; y los anexos, vinculados a dichos capítulos, son aportes por parte de expertos/as en las temáticas:

Capítulo 1: Teledetección espacial y el Anexo 1: Fundamentos de LiDAR a cargo del Dr. Daniel Del Cogliano y la Ing. Mariana Mora (Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP).

Capítulo 2: Introducción a los SIG y el Anexo 2: Primeros pasos en Google *Earth Engine*, a cargo de la Dra. María del Rosario Iglesias (Centro de Estudios Parasitológicos y de Vectores-CEPAVE, UNLP- CONICET).

Capítulo 3: Infraestructura de Datos Espaciales y Geoportales y el Anexo 3: Desarrollo de Capacidades para la IDE, a cargo del Dr. Luis Reynoso (Facultad de Informática, Universidad Nacional del Comahue).

Capítulo 4: Introducción a la Cartografía, y el Anexo 4: Sistemas de Navegación Global por Satélite, a cargo del Dr. Mauricio Gende (Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata).

Capítulos 5 y 6: Están dedicados a los dos principales modelos de datos y sus modos de trabajo, que se utilizan en geomática: vectorial y ráster, acompañados de ejemplos variados, sumando el Anexo 5, de las Lic. Betina I. Zucchini y Juliana Pisonero (Ministerio de Salud de la provincia de Buenos Aires), y el Anexo 6, de Ana A. S. Seguel (Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata), con ejemplos de aplicaciones en salud y ambiente respectivamente.

Se suman hacia el final de la obra dos Anexos: el nro. 7 con un listado de accesos (enlaces *web*), incluyendo múltiples recursos de interés y un exhaustivo listado de acrónimos vinculados a los temas tratados en la obra, y el Anexo 8 sobre las características generales de la asignatura Sensores Remotos de la FCNyM, UNLP.

Prólogo

Cuando la Dra. Sandra Torrusio me solicitó que prologara el presente Libro, quedé asombrado por la reiterada expresión de modestia de Sandra, a quien conozco y que ha sido pilar de la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) desde hace más de 25 años.

Trataré de explicitar los motivos de dicho asombro.

Cuando en la CONAE elaboramos en 1994 el Primer Plan Espacial Nacional, definido (y mantenido) como “Política de Estado”, quedó claramente explicitado como “Objetivo Primario del Plan” que el mismo debía tener un impacto directo y mensurable en el desarrollo socio-económico de nuestro país, esto es, desarrollar Ciencia y Tecnología de avanzada que consecuentemente fuere de aplicación a diversas áreas del quehacer científico-tecnológico y productivo de nuestro país. No podía ser de otro modo por cuanto la CONAE tiene el carácter de agencia especializada y por ende aplica planificación inductiva.

Habida cuenta de lo anterior y tratándose de “Actividades Espaciales”, ello implica necesariamente la Observación de la Tierra y su correlato de hacerlo en forma remota mediante instrumentos que en la jerga denominamos Sensores Remotos.

Las áreas científico-académicas, tecnológicas, de patrimonio cultural, de salud humana y animal, ambientales, de emergencias, de seguridad y productivas que se benefician del sensoramiento remoto, y a su vez lo realimentan, son tantas como podemos imaginar, habida cuenta que, en este campo, la realidad siempre supera la imaginación. Testigos de ello son los grandes y pequeños gerenciadorees en esas áreas beneficiadas y que hoy día se sentirían prácticamente mancos si no dispusieran de la información provista por la teleobservación.

Si hay algo que muestra este libro, en modo magistral y didáctico, con ejemplos explícitos, es precisamente esa correlación y realimentación mencionadas en el párrafo anterior.

Y ahora creo estar en condiciones de mostrar a los lectores el motivo de mi asombro expresado en el primer párrafo de este prólogo. Es que soy un convencido que esta Obra no solo será relevante en los países hispanoparlantes, sino que habrá de trascender a muchos otros.

Antes de terminar quisiera hacer mención muy especial, además de Sandra, a los/las profesionales que han intervenido en la redacción de esta Obra.

Me honra decir que Sandra es una de las personas clave de la “Escuela de Sensoramiento Remoto argentina”. Y lo mismo puedo decir de los/las demás colaboradores/as, algunas han interactuado conmigo y otros/as son producto precisamente de las enseñanzas de personalidades de la teledetección tales como el Dr. Gagliardini, el Dr. Fea (italiano de origen que contribuyó muchísimo en nuestro país y la región), la Dra. Serafini, la Dra. Frulla, el Dr. Platzack, el Dr. Scavuzzo, el Dr. Milovich, el Ing. Soldano... y debo parar. Simplemente mencioné los primeros que me vinieron a la mente. Seguro que he dejado de hacerlo con profesionales tan o más relevantes que los explicitados.

Y dejo este prólogo con una simple “Recomendación” tanto para los principiantes científicos como para los/las profesionales avanzados en el tema de los sensores remotos: Téngalo como libro de cabecera para su tarea profesional.

¡Felicitaciones a todo el equipo!

Dr. Conrado Franco Varotto

CABA, marzo 2023

CAPÍTULO 1

Introducción a la Teledetección Espacial

Sandra E. Torrusio, María R. Derguy y Anabel A. Lamaro

Conceptos básicos

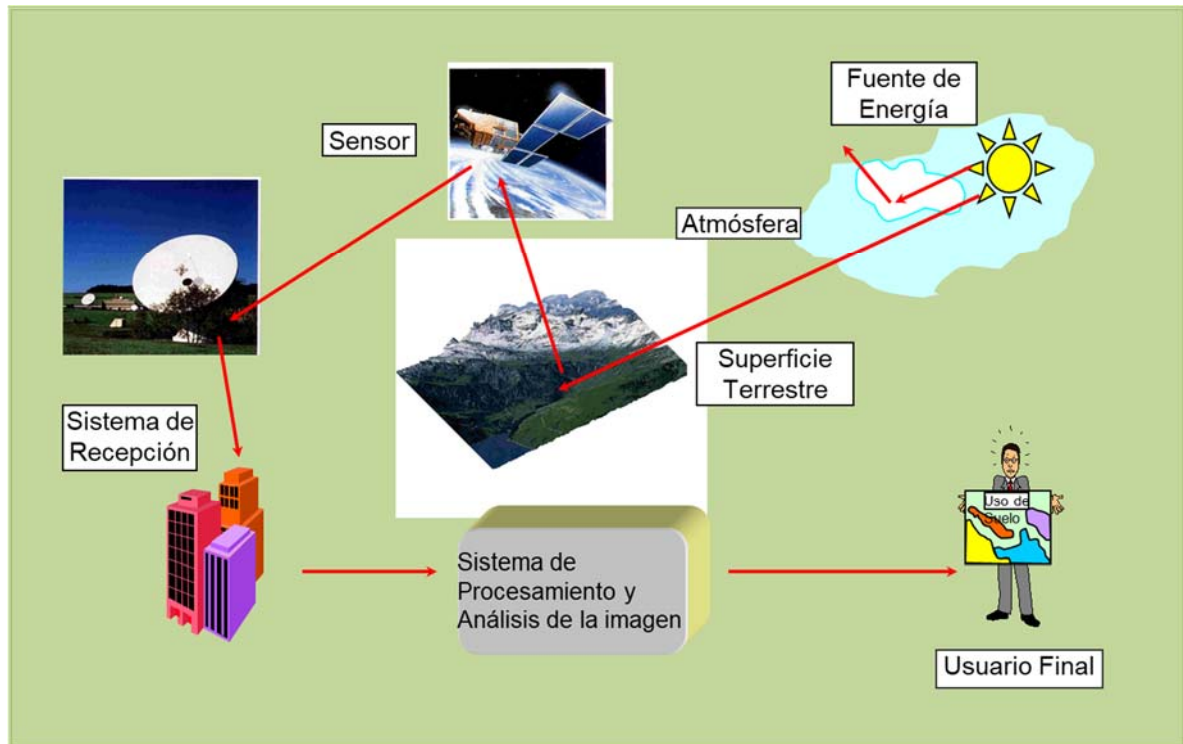
El término teledetección (o sus sinónimos, Teleobservación o Sensoramiento Remoto), en general, hace referencia a un conjunto de técnicas que permiten estudiar, analizar, obtener información de un objeto, superficie o fenómeno a distancia sin entrar en contacto con el mismo. De este modo, un grupo particular de sensores remotos o dispositivos como cámaras ópticas, térmicas, radares, etc. a bordo de globos, aviones, plataformas satelitales, drones captan datos de variación de la energía electromagnética (Olaya, 2017), mientras otros grupos de instrumentos registrarán, por ejemplo, variaciones en las ondas sonoras o del campo magnético. En esta obra nos concentraremos en el primer grupo de instrumentos a bordo, más específicamente de plataformas satelitales, es decir, a la teledetección espacial.

En la Figura 1.1 se aprecia de forma esquemática los elementos o componentes básicos de un Sistema de Teledetección Espacial que incluye:

- a) Una **fente de energía**, que podrá ser el Sol o en otros casos el mismo satélite que emite la radiación.
- b) Esa energía emitida por la fuente se propagará a través de **la atmósfera** y llegará a la superficie terrestre, al tiempo que ésta también reflejará o emitirá una parte de esa energía que se retransmitirá a **la atmósfera** llegando finalmente al sensor.
- c) **El sensor** a bordo de la plataforma satelital, que recibirá la energía proveniente de la superficie terrestre (reflejada y/o emitida) y también parte de la energía dispersada por la atmósfera en su camino desde la fuente hacia la Tierra y de ella hacia el sensor.
- d) **La superficie terrestre**, que interactuará con la energía que le llega.
- e) **Un sistema de recepción**, que permitirá la descarga y almacenamiento de los datos colectados por el sensor y archivados en la plataforma satelital.
- f) **Un sistema de procesamiento**, que permitirá generar información a partir de los datos satelitales recibidos.
- g) **El usuario final**, quien hará uso de la información satelital generada y podrá agregar valor según la disciplina y la temática.

Figura 1.1

Componentes de un Sistema de Teledetección Espacial. Fuente: Elaboración propia



Un poco de Historia...

Si bien los sensores e instrumentos a bordo de plataformas satelitales mirando la Tierra, los llamados satélites de Observación de la Tierra, se inician a principios de 1970, la teledetección en general se remonta a mediados del siglo XIX con el advenimiento de las primeras cámaras fotográficas, que se suben a globos aerostáticos primero, y a aviones después. Como muchas otras tecnologías, los sensores remotos estuvieron vinculados a eventos bélicos como fueron las guerras mundiales y otros enfrentamientos regionales.

A continuación, la Figura 1.2 muestra una línea de tiempo simplificada de los principales hitos en este desarrollo que llega a la actualidad con un ímpetu que llama la atención no solo del ámbito científico-académico sino del público en general. La figura incluye los acontecimientos entre 1837 hasta 1967.

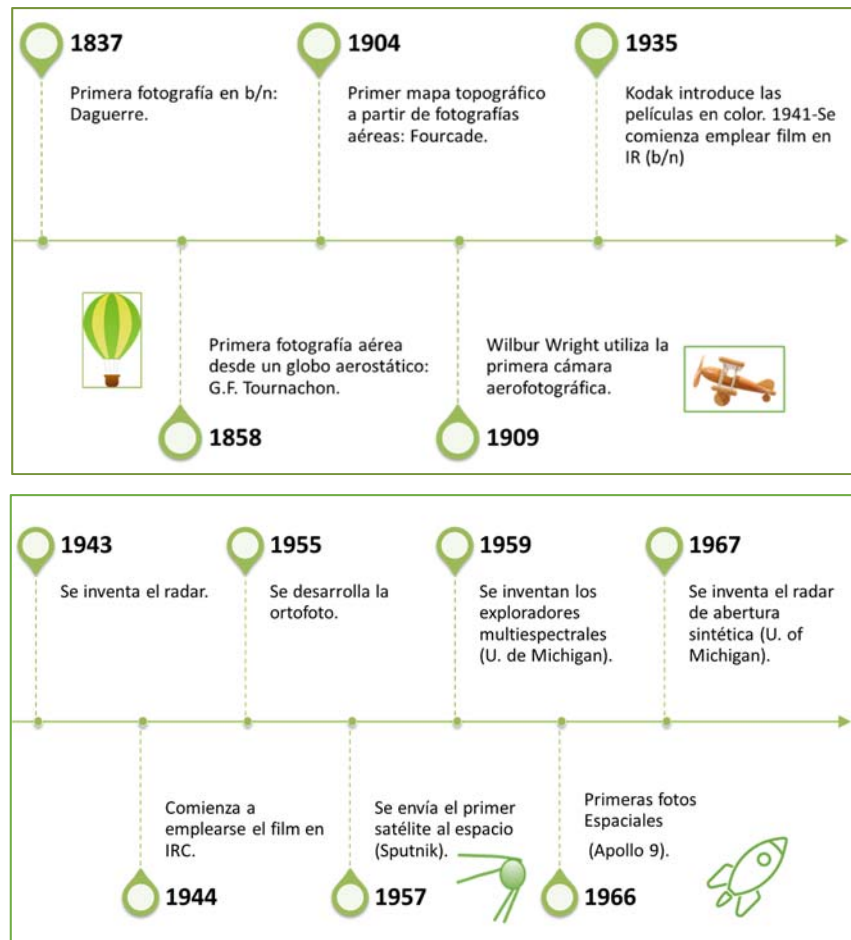
A partir de 1972, Estados Unidos pone en órbita el primer satélite operativo de Observación de la Tierra, Landsat 1, dando inicio a una serie de sensores que llegan a la actualidad con el Landsat 9 lanzado en 2021, casi 50 años más tarde.

En la Figura 1.3 se señala el inicio de la serie Landsat, la llegada de la serie SPOT en manos de la agencia espacial francesa (CNES), y también se incluye (año 2000) el primer satélite operativo de origen nacional de Observación de la Tierra desarrollado por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE), el SAC-C (Satélite de Aplicaciones Científicas-C), el tercero de una serie iniciada en 1996 en cooperación con la NASA y que culmina con el SAC-D Aquarius lanzado en 2011.

Figura 1. 2

Línea de tiempo entre 1837 a 1967 de los principales hitos vinculados a la teledetección.

Fuente: Elaboración propia



Hacia finales del siglo XX y principios del siglo XXI se desarrollan sensores de mediana resolución como la serie MODIS (a bordo de los satélites TERRA y AQUA), el sensor AVHRR a bordo de la serie NOAA, el VIIRS en las series SNPP y JPSP (EE.UU.); y las misiones de radar (RADARSAT (Canadá), ALOS (Japón), COSMO SkyMed (Italia), SMAP (EE.UU.), SMOS (ESA/EU), más recientemente la continuidad de la serie Landsat (EE.UU.) y la aparición del Programa COPERNICUS (EU) con la serie Sentinel. Se suman, con un desarrollo explosivo, (muchas en manos de empresas comerciales) aquellas plataformas de alta y muy alta resolución espacial que rondan desde algunos metros hasta submétricos, con tres o cuatro decenas de centímetros de detalle en el terreno (IKONOS, serie CBERS, WORLDView, QUICK BIRD, GEOEYE, serie Pleiades, varios sensores chinos (SUPERVIEW, Beijing), surcoreanos (serie Komsat), peruanos (Perusat), entre otros). Una mención muy especial merece el desarrollo argentino de la Constelación SAOCOM 1, lanzados desde EE.UU. y desarrollados en cooperación con la Agencia Espacial Italiana (ASI) en 2018 (SAOCOM 1A) y 2020 (SAOCOM 1B). Son dos plataformas idénticas de tres toneladas de peso cada una, llevando a bordo un instrumento de radar de apertura sintética (SAR) en banda L polarizado, especialmente diseñado para estimar la humedad en el suelo y para emergencias hídricas, entre muchas otras

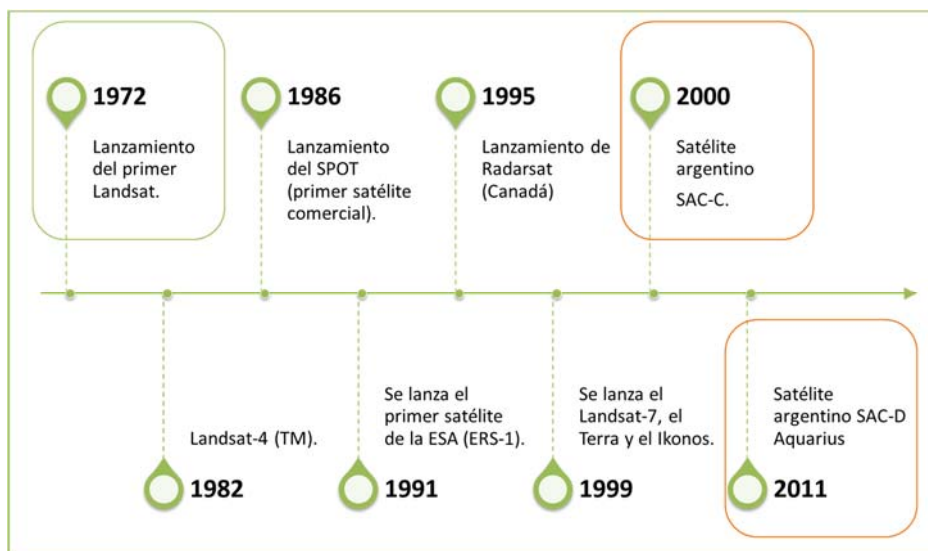
aplicaciones medioambientales. Esta Misión es un ejemplo más de la cooperación entre los miembros del Sistema Científico-Tecnológico Nacional (CNEA, UNLP, IAR, CONICET, CIOp, CIC, entre otros) y empresas de base tecnológica (INVAP, VENG).

<https://www.argentina.gob.ar/ciencia/conae/misiones-espaciales/saocom>

Figura 1.3

Línea del tiempo entre 1972 a 2011 de los principales hitos vinculados a la teledetección.

Fuente: Elaboración propia



Otro fenómeno para destacar a lo largo de estos 50 años de desarrollo satelital para Observación de la Tierra es que, durante las primeras tres a cuatro décadas, dicho desarrollo estuvo en manos principalmente de las agencias espaciales gubernamentales, llevando adelante misiones complejas, de gran peso, costosas en tiempo y recursos financieros, y con una vida útil de las plataformas muchas veces superadoras a lo esperado. En los últimos 15 o 20 años esto fue cambiando: el sector privado y las universidades comenzaron a tener un rol destacado, y en cooperación con los organismos gubernamentales o de forma unilateral los desarrollos se inclinaron a plataformas mucho más livianas, que se desarrollan en menos tiempo y a menor costo, generando constelaciones de muchos pequeños satélites, que si bien suelen durar menos tiempo en órbita, se pueden reemplazar más rápidamente, a menor costo y adecuar a demandas más dinámicas por parte de los usuarios.

Aparejado a estos desarrollos tecnológicos, al aumento de los vínculos nacionales e internacionales, al papel de internet y a las políticas cada vez más abierta de acceso a los datos, nos encontramos en una situación donde el exceso de información promueve cada vez más técnicas de análisis (procesamiento en la nube, inteligencia artificial, minería de datos, entre otras), mucho más sofisticadas y sin perder calidad en los resultados esperados.

Principios físicos

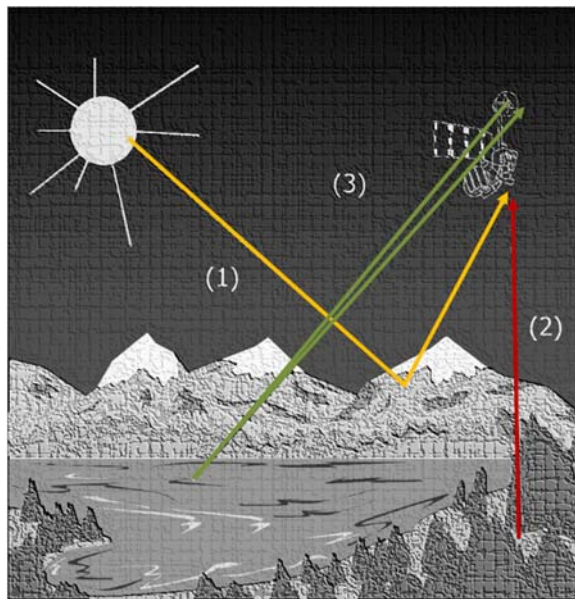
Modos de captación de la energía en teledetección espacial

Existen básicamente tres modos en que la energía opera como moneda de intercambio en lo que venimos explicando (Figura 1.4):

- 1) Reflexión: se cuenta con una fuente natural de energía como el Sol, y la superficie terrestre refleja parte de lo que recibe, que llega luego al sensor (sensores pasivos en su mayoría en el rango óptico e infrarrojo).
- 2) Emisión: siguiendo la ley de Planck, todo cuerpo con una temperatura por arriba del cero absoluto emite energía. Existen sensores que captan esa energía emitida, mayormente en forma de calor (sensores pasivos térmicos).
- 3) Emisión – reflexión: en estos casos los sensores son al mismo tiempo emisores de energía y receptores del eco de esa señal electromagnética (sensores activos como el radar).

Figura 1. 4

Modos de captación de la energía en teledetección



Nota. 1: reflexión, 2: emisión, 3: emisión-reflexión. Fuente: Figura modificada de la original del CCRS (*Canadian Centre of Remote Sensing*).

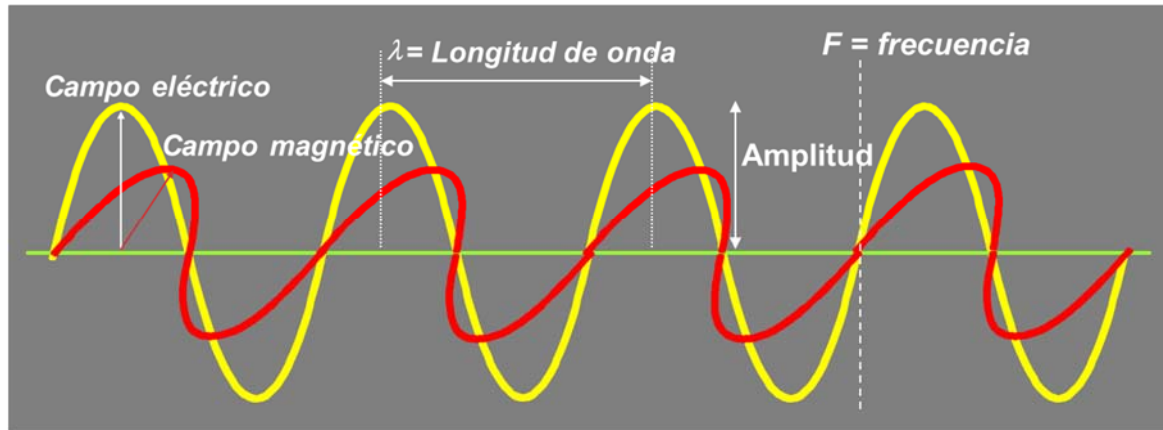
La radiación electromagnética

La radiación electromagnética adopta varias formas, tales como: la luz visible, el calor, los rayos X, los rayos ultravioletas o las ondas de radio, por citar varios ejemplos. Todas ellas, a pesar de sus diferencias, se propagan según la teoría básica de ondas, que describe dicha propagación en forma armónica y sinusoidal a la velocidad de la luz “c” (que es un valor constante igual a 3×10^8 m/seg), describiendo un campo magnético y otro eléctrico, perpendiculares entre sí y ambos perpendiculares a la dirección de propagación. Aquí nos detenemos a refrescar algunos términos como longitud de onda “ λ ” que se define como la distancia entre dos picos

máximos de esa onda sinusoidal, la frecuencia “F” como la cantidad de picos que pasan en un tiempo dado por un punto fijo en el espacio, y la amplitud como la altura del pico, todos estos elementos se ven en la Figura 1.5.

Figura 1. 5

Gráfico descriptivo de una onda electromagnética propagándose, siguiendo la línea verde



La frecuencia y la longitud de onda se relacionan mediante esta ecuación básica (teoría ondulatoria):

$$c = \lambda \cdot f$$

donde “c” es la velocidad de la luz, “λ” es la longitud de onda y “f” es la frecuencia, por lo que expresa una relación inversa entre longitud de onda y frecuencia, es decir a mayor longitud de onda menor frecuencia.

Si tenemos además en cuenta la teoría cuántica de la energía tenemos:

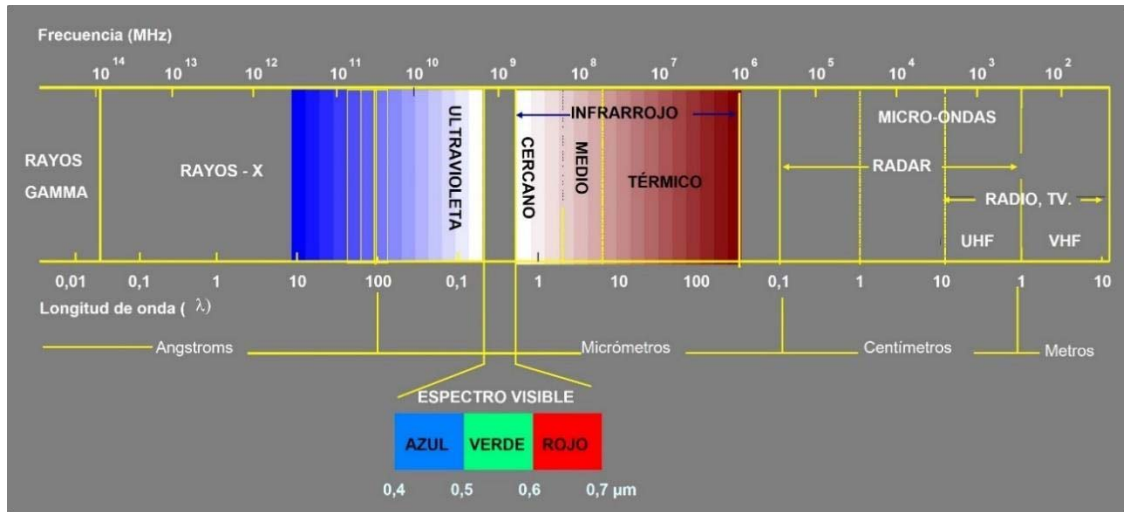
$$Q = h \cdot f$$

donde “Q” es la energía radiante de un fotón (en Julios), “f” es la frecuencia y “h” es la constante de Planck. Esto significa que a mayor longitud de onda (o menor frecuencia) el contenido energético será menor, lo que se traduce en que aquellas longitudes de onda más largas son más difíciles de detectar por los sensores al transportar menos energía.

Si ahora ordenamos las longitudes de ondas de menor a mayor (o lo que sería lo mismo de mayor a menor frecuencia) obtenemos lo que se conoce como espectro electromagnético (EE), como se ve en la Figura 1.6.

Figura 1.6

Espectro electromagnético. Fuente: Adaptada de Chuvieco 2002



Las unidades en que se mide la longitud de onda van desde ángstroms (Å) hasta kilómetros (km), pasando por micrómetros (μm), nanómetros (nm), centímetros (cm) y metros (m). Mientras que la frecuencia se mide en megahercios (MHz) o gigahercios (GHz). Muchos rangos de longitudes de onda reciben nombre considerando más los métodos de detección que sus características. Así se diferencia:

- el rango de los rayos ultravioletas,
- el llamado dominio óptico (desde el visible al infrarrojo de onda corta [0,4 a 2,5 μm] que abarca el rango visible captado por el ojo humano [0,4 a 0,7 μm], el rango de los infrarrojos: cercano [IRC o NIR-*Near Infrared Red*-], medio o de onda corta [SWIR-*Short Wavelength Infrared*] y térmico),
- el sector de las microondas (desde varios milímetros a un metro),
- las ondas de radio y TV (del orden de los kilómetros).

Los rangos usados en teledetección espacial son principalmente visibles, infrarrojos y microondas.

Términos y unidades de medida más utilizados en Teledetección

Resulta conveniente explicitar las unidades y términos más comunes empleados en la teledetección, ya que de esa forma se evitan confusiones al analizar los procesos de adquisición remota de los datos según se explicó más arriba. A continuación, se describe cada una (Chuvieco, 2002):

- **Energía radiante (Q):** total de energía radiada en todas las direcciones. Se mide en Julios (J).
- **Flujo radiante (Φ):** total de energía radiada en todas las direcciones por unidad de tiempo. Se mide en vatios (W).
- **Emitancia (M):** total de energía radiada en todas las direcciones *desde* una unidad de área y por unidad de tiempo. Se mide en vatios por m² (Wm⁻²).

- **Irradiancia (E)**: total de energía radiada *sobre* (incidente) una unidad de área y por unidad de tiempo (Wm^{-2}).
- **Intensidad radiante (I)**: total de energía radiada por unidad de tiempo y por ángulo sólido (Ω) (tridimensional). Se mide en vatios por estéreo-radian (Wsr^{-1}).
- **Radiancia (L)**: total de energía radiada en una determinada dirección por unidad de área y por ángulo sólido. Se mide en vatios por m^2 y estéreo radian ($\text{W/m}^2 \text{sr}^{-1}$). Describe precisamente lo que mide el sensor.
- **Radiancia espectral (L_λ)**: total de energía radiada en una determinada longitud de onda por unidad de área y ángulo sólido. Se mide en vatios por m^2 y estéreo radian ($\text{W/m}^2 \text{sr}^{-1}$).
- **Emisividad (ϵ)**: relación entre la emitancia de una superficie (M) y la que ofrecería un emisor perfecto (cuerpo negro) a la misma temperatura.
- **Reflectividad (ρ)**: relación entre el flujo incidente y el reflejado por una superficie. Se expresa en %.
- **Absortividad (α)**: relación entre el flujo incidente y el que absorbe una superficie. Se expresa en %.
- **Transmisividad (τ)**: relación entre el flujo incidente y el transmitido por una superficie. Se expresa en %.

Las últimas cuatro son términos adimensionales y relativos, a diferencia de los valores absolutos del resto de las unidades.

Leyes básicas de la radiación electromagnética

Sin pretender un análisis exhaustivo de las leyes sobre radiación, resulta necesario presentar los conceptos básicos que brindan una idea de los procesos que afectan a la radiación electromagnética y que nos permitirán tener una visión más integral al momento de analizar los datos satelitales.

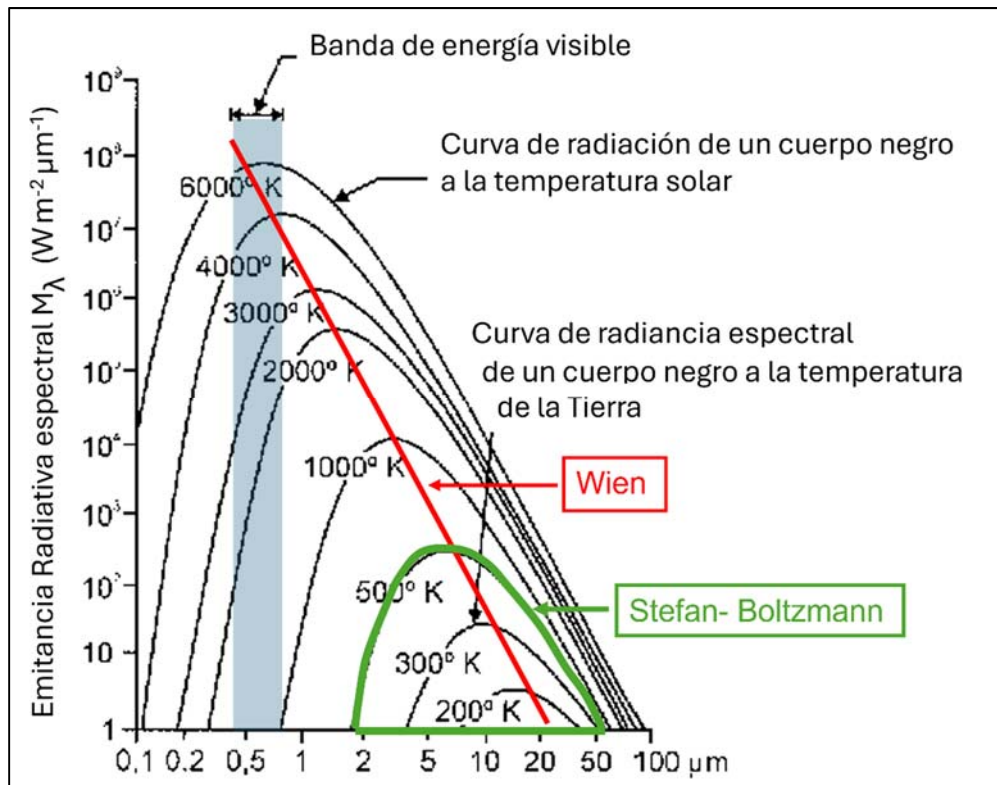
Ley de Planck: señala que cualquier objeto por encima del cero absoluto (-273°C) radia energía, y que ésta aumenta con la temperatura. A su vez, a mayor temperatura lo hará con mayor intensidad en longitudes de onda más cortas.

Ley de Desplazamiento de Wien: permite calcular la longitud de onda a la que se produce la máxima emitancia de un cuerpo negro conociendo su temperatura.

Ley de Stephan Boltzmann: permite calcular el total de energía que radia un cuerpo negro por unidad de superficie según su temperatura.

De manera gráfica se resumen estas tres leyes en la Figura 1.7.

Figura 1. 7



Nota. Curva de emitancia radiativa de un cuerpo negro a distintas temperaturas (en negro), con la ley de desplazamiento de Wien (en rojo) y la de S. Boltzmann (en verde) superpuestas. Fuente: Adaptada de Chuvieco 2002.

En resumen, la energía emitida/radiada por objeto es función de su temperatura, cambios pequeños en ésta modifican sensiblemente su emitancia total. Conociendo, además, la temperatura de la cubierta de interés será posible estimar la banda del espectro más adecuada para su diferenciación.

Interacciones de la energía con la atmósfera

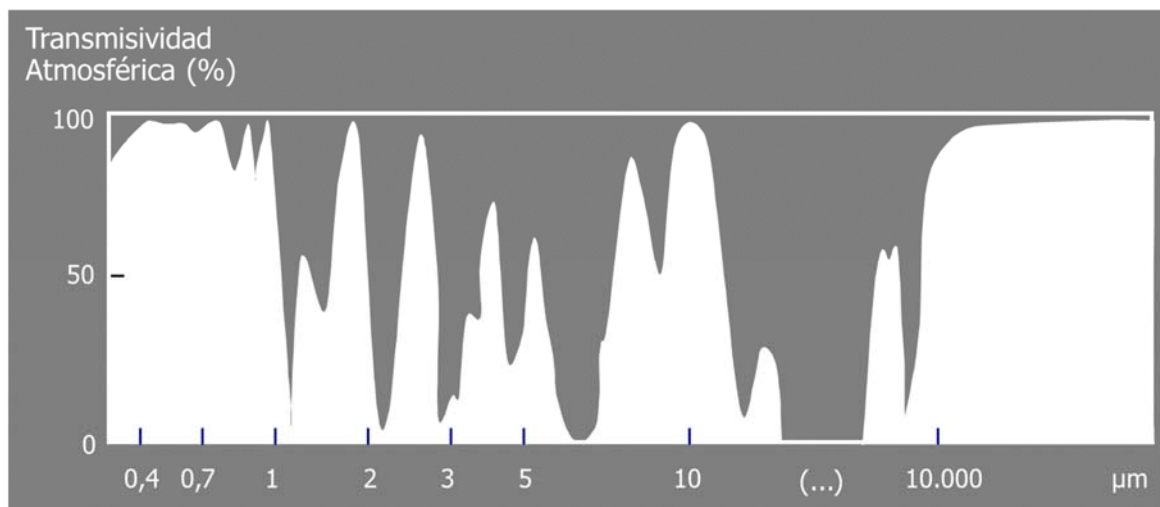
La radiación detectada por los sensores satelitales, independientemente de su longitud de onda tienen un recorrido a través de la atmósfera. Si trabajamos en el sector visible, por ejemplo, la imagen obtenida es el resultado de la energía que proviene del sol, llega a la superficie terrestre y ésta refleja una parte que llega al sensor, atravesando así dos veces la atmósfera. Si en cambio estamos trabajando con sensores térmicos que captan la energía emitida por los objetos, ésta atraviesa la atmósfera solo una vez.

Esa energía transmitida se verá afectada por la atmósfera según la longitud de onda de que se trate, según el estado de la atmósfera en el momento de la adquisición, según la intensidad con que fue emitida, y según el recorrido realizado.

En la atmósfera se hallan presentes partículas que absorben, transmiten y dispersan la energía electromagnética incidente. Entre las que absorben se pueden mencionar el oxígeno molecular, el ozono, el vapor de agua, el dióxido de carbono, los aerosoles atmosféricos, quedando de esta forma ciertos rangos de longitudes de onda en los cuales la atmósfera resulta transparente y que se conocen como “ventanas atmosféricas” (Figura 1.8), donde se ubican precisamente los sensores a bordo de los satélites para evitar el efecto de absorción (Lillesand y Kiefer, 2000).

Figura 1.8

Ventanas atmosféricas

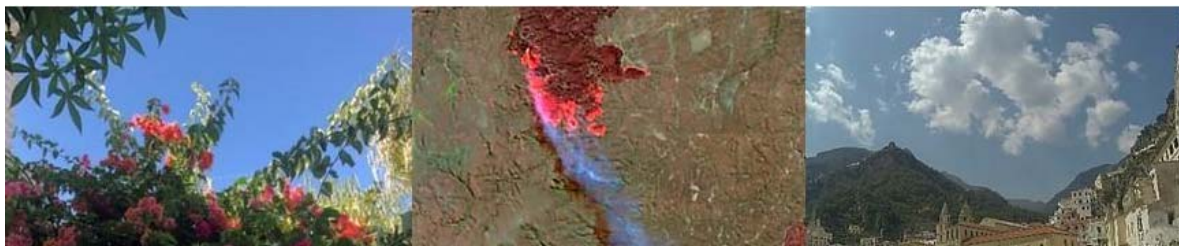


Nota. (Zonas de absorción en gris). Fuente: Adaptada de Chuvieco 2002.

En cuanto al fenómeno de dispersión, se diferencian tres mecanismos causados por las partículas que contiene la atmósfera (Figura 1.9):

- Dispersión *Rayleigh*: se da cuando las partículas de la atmósfera son de un diámetro más pequeño que la longitud de onda incidente. Las longitudes de onda más cortas son las que más sufren este tipo de fenómeno. Un ejemplo es el color celeste del cielo que dispersa la longitud de onda del azul.
- Dispersión *Mie*: se da cuando las partículas de la atmósfera son de mayor tamaño que la longitud de onda incidente. Ejemplo de ello es el vapor de agua, el humo o el polvo.
- Dispersión no selectiva: se trata de un fenómeno de interacción con partículas de mucho mayor tamaño que la longitud de onda, afectándolas a todas por igual. Ejemplo de ello son las gotas de agua y las nubes blancas.

Figura 1.9



Nota. Ejemplos de los mecanismos de dispersión atmosférica: Cielo celeste (Rayleigh, izq.), Humo (Mie, centro), Nubes blancas (No selectiva, der.). Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, la emisión atmosférica cobra importancia principalmente en el rango del infrarrojo térmico, ya que por encima del cero absoluto la atmósfera también emite (como se mencionó en la Ley de Planck).

Interacciones de la energía con la superficie terrestre y concepto de firma espectral

La energía incidente sobre la superficie terrestre o sobre un objeto en general, es absorbida, reflejada y/o transmitida según la longitud de onda, y el tipo y condición del material que lo compone. Precisamente, esa diferente respuesta de los elementos, en especial considerando la energía reflejada, nos permite distinguir las variadas coberturas en una imagen satelital teniendo en cuenta los rangos visible e infrarrojos del EE. Si nos detenemos un momento en el rango visible, aquí aparece el concepto de color, por ejemplo, nuestro ojo (finalmente también es un sensor) ve una planta vigorosa de color verde porque la misma refleja energía en esa longitud de onda. Siguiendo esa idea y tomando el concepto de reflectividad (relación entre el flujo incidente y el reflejado por una superficie expresado en porcentaje) se llega a lo que denominamos firma espectral, clave para la interpretación de los datos obtenidos por sensores ópticos.

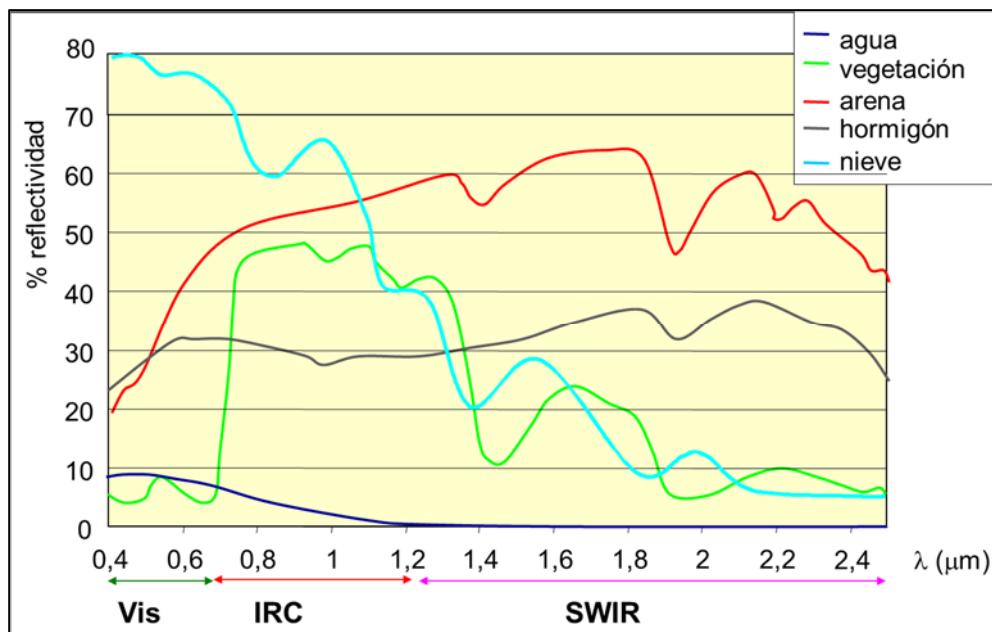
La firma espectral de un elemento o cobertura particular (agua, vegetación, suelos, hormigón, etc.) expresa el porcentaje de energía reflejada por la misma a lo largo del EE para los rangos del visible, infrarrojo cercano y de onda corta (Figura 1.10). La denominación de “firma” implica que es característica para cada tipo de elemento o cobertura.

Si observamos la firma espectral de la vegetación, notaremos que presenta en el sector verde del EE un pico de reflectividad (menos del 10%), rodeado por dos valles (azul a la izq. y rojo a la der.) debido a la absorción de energía por parte de la clorofila que será utilizada para la fotosíntesis. En el sector del infrarrojo cercano (IRC) observamos un nuevo pico que se transforma en meseta y alcanza casi 50% de reflectividad, en este caso relacionada a la estructura celular de la hoja, y finalmente en el sector del SWIR (infrarrojo de onda corta) la reflectividad baja (se ubica entre 40% y 10%) en función del contenido de agua dentro de la estructura foliar. Considerando este patrón se debe destacar que la longitud de onda del IRC es la típica para el estudio de la vegetación. A medida que la planta entra en senescencia (ya sea por su ciclo fenológico, por *stress* hídrico, presencia de plagas o falta de algún nutriente), se producen variaciones en esta curva que pueden ayudar a determinar la causa del problema, así

como a seguir su evolución. Otros factores que pueden influir en la respuesta espectral de la vegetación son la forma de la hoja, la arquitectura del dosel y la proporción de cubierta verde.

Figura 1.10

Firmas espectrales de las coberturas terrestres más típicas. Fuente: Adaptada de Chuvieco 2002



En el caso del agua, el comportamiento puede variar según el contenido de sedimentos. Si se trata de agua pura (sin sedimentos, ni clorofila, ni elementos que cambien sus propiedades ópticas), refleja muy poco en el sector visible (menos del 10%), y absorbe casi toda la energía incidente en el sector de los infrarrojos. En cambio, cuando el agua no es pura, comienzan a aparecer modificaciones en la curva, siempre en el sector visible y en ocasiones en cercanías del IRC, que variarán según se trate de distintas concentraciones de clorofila, sedimentos, materia orgánica, etc. La profundidad del cuerpo de agua y la rugosidad de la superficie también pueden afectar la respuesta espectral. En caso de querer estudiar las propiedades del agua, el rango del visible será el más adecuado, mientras que si se requiere separar la cobertura de agua de otras cubiertas (por ejemplo, para estimar el área ocupada por una inundación), el IRC resulta el sector más adecuado ya que resalta el contraste.

El comportamiento espectral de los suelos en general presenta más variaciones que las curvas descriptas para el agua y vegetación, y según sea el contenido de agua y aire presente, los minerales que lo constituyen (cuarzo, feldespatos, silicatos, etc.), la materia orgánica, su textura y estructura, la disposición vertical y horizontal y los ángulos de observación e iluminación la firma irá adoptando distintas formas. A pesar de estas variaciones, es posible considerar un patrón de comportamiento general en el que la firma tiende a aumentar desde el sector del EE visible, alcanzando su máximo en el sector del IRM, para luego descender nuevamente.

Si bien mencionamos que el tipo de elemento del que se trate va a determinar una curva espectral específica, no se puede dejar de mencionar otros factores externos que afectarán ese

comportamiento, tales como el ángulo de iluminación solar (según la época del año y del horario de pasada del satélite), el relieve (pendiente, orientación), el estado de la atmósfera (presencia de nubes, neblina, humo, aerosoles, etc.), la fenología, el sustrato y el porcentaje de cobertura.

Entender y conocer las firmas espectrales resulta importante en teledetección porque a partir de ellas podemos deducir cuáles son las longitudes de onda más acertadas para el estudio de nuestro interés, cuáles brindarían más información acerca del elemento, cuáles sensores satelitales serán de mayor utilidad. Si nos movemos hacia la derecha del EE nos encontramos con el rango de las microondas, que interactúan con la materia de forma diferente a como lo hacen en el rango óptico. Vale la pena repetir aquí que cuanto más larga sea la longitud de onda menos energía transporta, por lo que se hace más difícil captarla con un sensor satelital. La superficie terrestre emite energía en este rango, pero es con muy baja intensidad, por lo que la mayoría de los sensores que trabajan en dicho rango son emisores y no solo receptores de esa energía. En la Sección de Radar y subsiguientes, en este mismo capítulo, profundizaremos el concepto.

Sensores y satélites de teledetección

Para obtener una imagen satelital se requiere de sensores que capten la energía, ya sea reflejada o emitida por la superficie, y que dichos sensores estén a bordo de plataformas satelitales que cumplan ciertas condiciones que aseguren de manera conjunta la calidad del dato.

Tipos de sensores

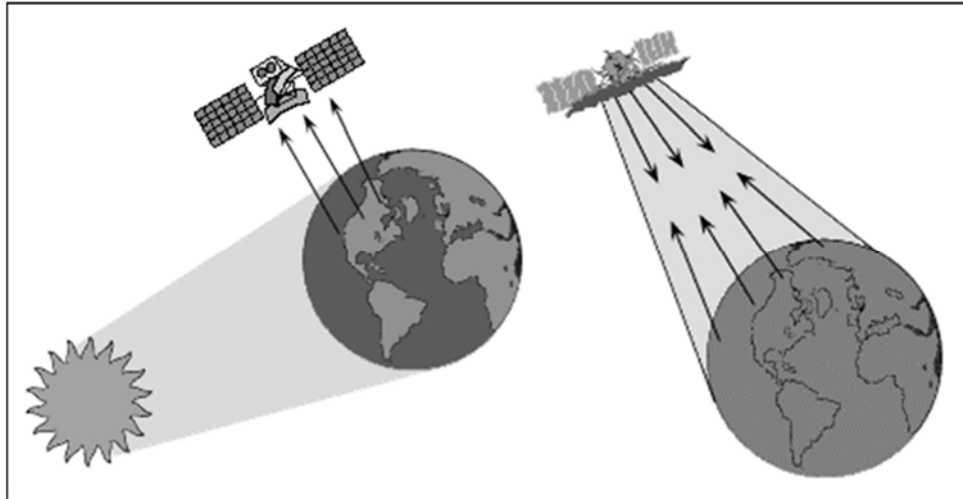
Según la forma de recibir la energía proveniente de la superficie, los sensores se dividen en dos tipos: los pasivos y los activos (Figura 1.11). Los primeros requieren de una fuente de iluminación externa para recibir la energía, los segundos en cambio, tienen capacidad de emitir su propio haz de energía.

Los pasivos trabajan principalmente con la energía proveniente del Sol que es reflejada por la cobertura terrestre en los rangos del visible e infrarrojos cercanos y de onda corta, son sensores conocidos como “ópticos”. Son pasivos también los sensores térmicos que reciben la energía emitida por los materiales según su temperatura y emisividad (trabajan en el rango de los infrarrojos térmicos). Hay algunos ejemplos de sensores pasivos que reciben energía del sector de las microondas emitidas natural y débilmente por la superficie (por ej. el sensor Aquarius a bordo del satélite argentino SAC-D, para estimar la salinidad superficial del mar).

Los sensores de tipo activo captan el eco/rebote (“retrodispersión o *backscattering*”) de la energía que ellos mismos emitieron y que regresa al sensor luego de interactuar con la superficie terrestre. Trabajan en el rango de las microondas (entre los 3 a 100 cm, bandas: X, C, L, P). Esta capacidad de emitir su propia energía les permite tomar imágenes de día y de noche, y la nubosidad y las lluvias les resultan transparentes, en la mayoría de los casos, porque la longitud de onda en la que trabajan es mayor que las gotas de agua o cristales de hielo que la forman. El equipo más conocido de los sensores activos es el RADAR (*Radio Detection and Ranging*), pero

no es el único (por ej. el LiDAR también es activo y tiene sus particularidades, ver Anexo 1). Hacia el final de este capítulo, con ejemplos de plataformas satelitales con instrumentos radar a bordo se detallará más la teoría sobre el tema.

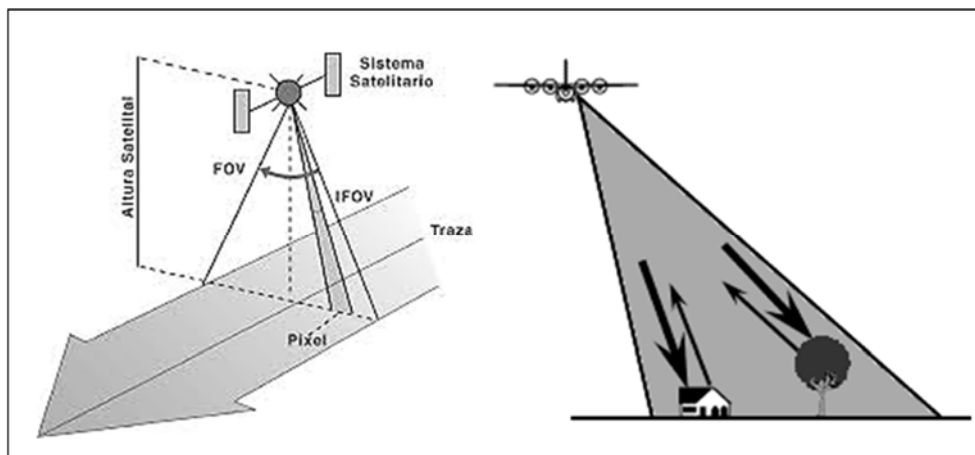
Figura 1.11



Nota. Sensor pasivo (izq.) y sensor activo (der.). Figura modificada de la original: CCRS (Canadian Centre of Remote Sensing).

Otra característica que permite separar a los sensores activos de los pasivos es la geometría de observación. En el caso de los sensores activos, el sensor mira de manera lateral a su dirección de vuelo, con las consecuentes distorsiones geométricas, mientras que los sensores pasivos miran a nadir, es decir, perpendicular a la superficie (Figura 1.12). Analizando la mencionada figura vamos a definir dos conceptos importantes que allí se observan: el FOV (*Field of View*) es el ancho máximo de barrido del sensor, y el IFOV (*Instantaneous Field of View*) representa la resolución espacial del sensor, concepto que ampliaremos un poco más adelante.

Figura 1.12



Nota. Geometría de observación de los sensores pasivos (visión vertical) (izq., figura modificada de la original: CONAE) y activos (visión lateral) (der., figura modificada de la original: CCRS).

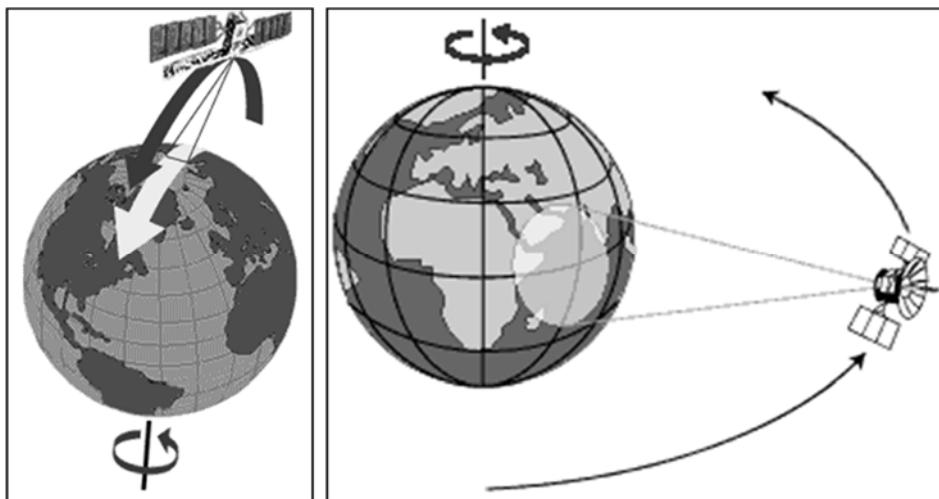
Tipos de órbitas

Los satélites o plataformas espaciales se mueven alrededor del planeta describiendo distintos tipos de órbitas.

En lo que se refiere a los satélites de Observación de la Tierra, como es el caso que nos ocupa, en su mayoría describen una órbita circular heliosincrónica (sincronizada con el Sol), casi polar con 98° de inclinación (ángulo entre el plano ecuatorial y el plano de la órbita del satélite) aproximadamente (Figura 1.13, izq.). Se ubican a una altura de la superficie que va entre los 600 y 800 km, mientras la Tierra va girando, tardando en promedio algo más de 90 minutos por órbita, y logran unas 14 vueltas diarias alrededor del planeta. Cabe destacar aquí, además, que el plano orbital de una órbita sincronizada con el Sol debe también rotar aproximadamente un grado al día para mantenerse con respecto a la Tierra. Pudiendo tomar imágenes en órbitas ascendentes o descendentes en caso de los sensores pasivos, siempre que éstas sean iluminadas por el Sol. En el caso de los activos, pueden hacerlo en ambas direcciones indistintamente y de forma independiente del Sol, ya que son su propia fuente de energía. Los satélites con este tipo de órbita pasan cada día por el Ecuador y por otra latitud a la misma hora solar local, lo que garantiza consistencia al adquirir los datos y que puedan ser comparados a lo largo del tiempo.

También hay satélites que presentan órbitas denominadas geoestacionarias (a unos 36.000 km), que están posicionados de manera que su período orbital coincide con la rotación terrestre, lo que permite observar siempre la misma zona (ejemplo de ello son los satélites meteorológicos como la serie GOES: <https://www.nasa.gov/content/goes>) (Figura 1.13, der.).

Figura 1.13



Nota. Tipos de órbita: Circular casi Polar Heliosincrónica (izq.) y Geoestacionaria (der.). Figura modificada de la original: CCRS.

Por último, existen satélites que se mueven alrededor de la Tierra en órbitas inclinadas (es decir su inclinación se ubica entre los 0° , en el caso de una órbita ecuatorial, hasta los 90° en el caso de las polares), según requieran observar partes específicas del planeta, o tratarse de

satélites que constituyen los sistemas globales de navegación satelital (GNSS), que veremos más adelante (Anexo 4), ubicados a más de 20.000 km de altura.

El tipo de órbita, su altura, el horario local de pasada y el ancho de barrido condicionan el tipo de dato satelital a obtener en cada misión satelital, la cual está dirigida a estudiar cierta temática específica (agricultura, océano/costas, ciudades, geología, bosques, atmósfera, hielo, etc.) que tendrá requerimientos específicos, donde estos parámetros junto a las características técnicas de la carga útil (instrumentos de observación) garantizan en gran medida su éxito.

Características del sensor: Resolución

Cuando hablamos de un sensor satelital el concepto de resolución abarca varios aspectos que iremos describiendo a continuación y que son imprescindibles de conocer al momento de elegir el más adecuado para cada tipo de estudio, análisis o investigación. Para una mejor comprensión es fundamental tener en cuenta varios de los párrafos desarrollados previamente.

Resolución espectral: hace referencia al rango de longitudes de onda que puede captar un sensor. Existen sensores multiespectrales, que captan múltiples rangos de longitudes de onda y los traducen en distintas capas de información. Existen sensores pancromáticos, que capturan múltiples longitudes de onda, pero la representan como una única capa de información. Otros sensores llamados superespectrales e hiperespectrales capturan decenas y centenas de sectores del EE. Esto permite discriminar mejor elementos o coberturas similares.

Resolución espacial: hace referencia al detalle con que ese sensor puede capturar información sobre el terreno. Las imágenes de acceso abierto oscilan entre 10 m y 60 m de resolución espacial, pero existen sensores, en general comerciales, que poseen una resolución desde unos pocos metros o hasta unas pocas decenas de centímetros (25 cm o 30 cm), mientras que otros, pueden tener resoluciones espaciales que oscilan entre 300 m y 1 km de lado.

Resolución temporal: se refiere a la frecuencia en el tiempo con que el sensor vuelve a pasar por el mismo lugar (revisita). Hay sensores que pasan a diario, otros cada 16 días, otros cada 26 días. Actualmente se generan constelaciones de satélites idénticos (de 2 o más plataformas) que permiten aumentar esa frecuencia. Hay que resaltar aquí que la resolución espacial de cada plataforma es inversamente proporcional a la temporal, es decir, a mayor resolución espacial la resolución temporal disminuye (el satélite pasa menos frecuentemente por un mismo lugar).

Resolución radiométrica: hace referencia a la capacidad de un sensor para detectar y diferenciar pequeñas variaciones en las ondas electromagnéticas recibidas. Esta resolución también se entiende como la cantidad de niveles digitales en los cuales se almacena la información proveniente de esas ondas. Cada nivel digital representa indirectamente una cantidad de energía (mayor nivel digital, mayor energía recibida por el sensor en esa longitud de onda específica y mayor reflexión por parte de la cobertura observada). Así, hay sensores con una resolución radiométrica de 8 bit (2^8), los que implica que puede almacenar 256 niveles digitales, mientras que actualmente la mayoría presenta una resolución de 16 bit (2^{16}) equivalente

a 65.536 niveles digitales. Cuanto mejor sea la resolución radiométrica, mejor será la discriminación de los niveles de energía captados por el sensor.

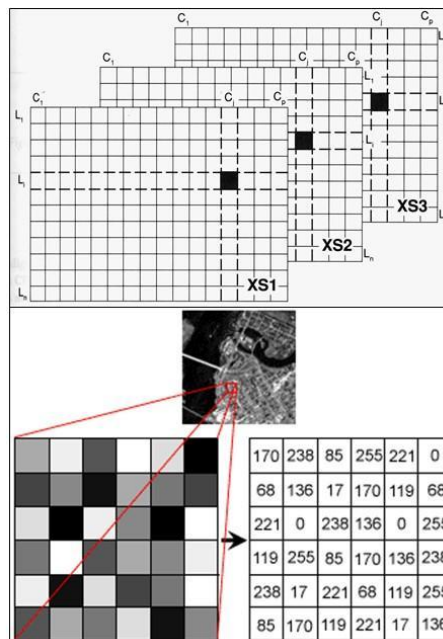
Considerando las cuatro resoluciones descriptas queda claro que, dado que cada misión satelital se desarrolla orientándose a ciertas temáticas, requiere ajustar cada una de las resoluciones a sus objetivos particulares. En este sentido, se deberán definir los requerimientos de la misión que permitan satisfacer las necesidades de aplicación específica. Así, por ejemplo, un satélite pensado para aplicaciones en el mar deberá captar ciertos sectores espectrales específicos, tener una resolución espacial intermedia, una revisita frecuente (casi diaria) por el tipo de fenómenos que se dan en el mar, y una radiometría buena para poder separar la energía que llega del agua al sensor que suele ser poco intensa.

Estructura de una imagen satelital

Una imagen satelital se vale, para su representación, del modelo de datos conocido como ráster o matricial (se provee más información sobre este modelo en el Capítulo 6). El mismo consiste en una matriz cuadriculada donde la unidad mínima de información es cada celda o píxel de la matriz. Cada píxel representa una porción del terreno y el tamaño del píxel representa la resolución espacial del dato (por ejemplo, 10 m x 10 m, o 30 m x 30 m, etc.). El valor contenido en cada píxel representa su radiometría o nivel digital (también conocido como nivel de gris) mientras que el ancho de la matriz en la imagen original representa el ancho de barrido del sensor. La cantidad de matrices de una imagen satelital se corresponde con cada uno de los sectores del EE de los que el sensor capturó información. Estas matrices también se denominan bandas (Figura 1.14). Podemos observar que en esta estructura ráster se representan tres de los cuatro tipos de resoluciones del sensor descriptos anteriormente.

Figura 1. 14

Estructura ráster de una imagen satelital.



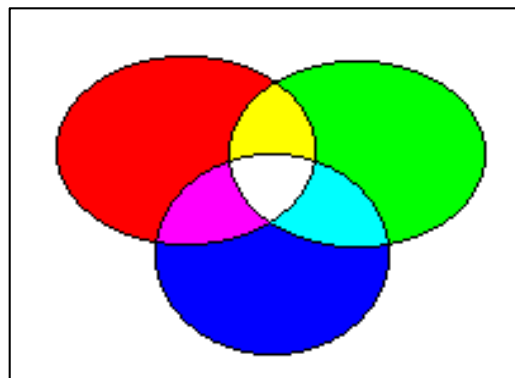
Nota. Arriba: tres matrices representando distintas bandas espectrales (XS1, XS2, XS3) (C=columnas, L=líneas). Abajo: una matriz donde se observan los niveles de gris de una banda cualquiera con una radiometría de 8 bit (de 0 a 255 niveles de gris: los valores superiores a 200 se ven gris claro o blancos, los valores bajos cercanos a cero se ven negros, y los intermedios cercanos a 128 se ven en tonos de grises). Fuente: Adaptada del CNES (Centro Nacional de Estudios Espaciales, Francia)

Interpretación visual de una imagen satelital

Cada banda (matriz de un rango de longitud de onda) se representa en tonos de gris y el color se evidencia al combinar tres bandas en los planos de un monitor de computadora u otro dispositivo electrónico siguiendo la teoría aditiva del color (Figura 1.15), donde se consideran los colores rojo, verde y azul (RGB por sus iniciales en inglés) para cada plano.

Figura 1.15

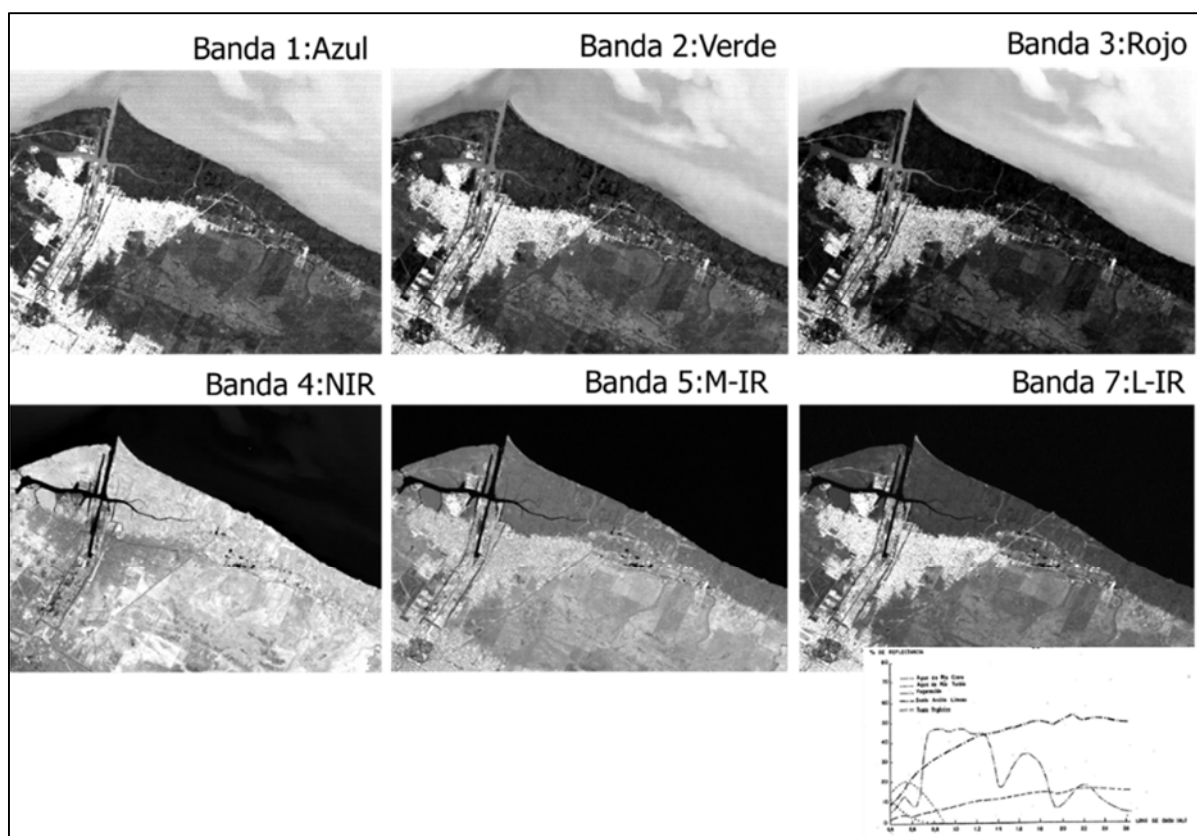
Representación de la teoría aditiva del color



Es necesario tener en claro ciertos puntos para comprender cómo se relacionan el color y su teoría aditiva de formación con las bandas espectrales de los distintos sensores satelitales, y poder facilitar así la interpretación visual de la imagen.

Por un lado, tener presente el formato matricial de cada banda espectral, entendiendo que cada celda tendrá un valor (ya sea su número digital, ND u otra magnitud/unidad según sea el procesamiento) derivado de la respuesta espectral de los elementos a las longitudes de onda de un sector de EE. Este valor, dependerá además de la resolución radiométrica del sensor en cuestión (8 bit, 16 bit, etc.). Cuanto más alto sea el valor del píxel, su tonalidad es más cercana al blanco, lo que denota una mayor reflectividad de ese píxel, en oposición, cuanto más bajo sea su ND más oscuro será el píxel, lo que denota menor reflectividad (en realidad absorbe) en la banda en cuestión. En este sentido, el concepto de firma espectral es fundamental para poder interpretar los colores y tonos de una imagen satelital óptica. Este último aspecto está en relación con la numeración de bandas que cada sensor en particular recibe. Dicho esto, veamos en el ejemplo como llegamos a combinar estos conocimientos (Figuras 1.16 y 1.17).

Figura 1. 16

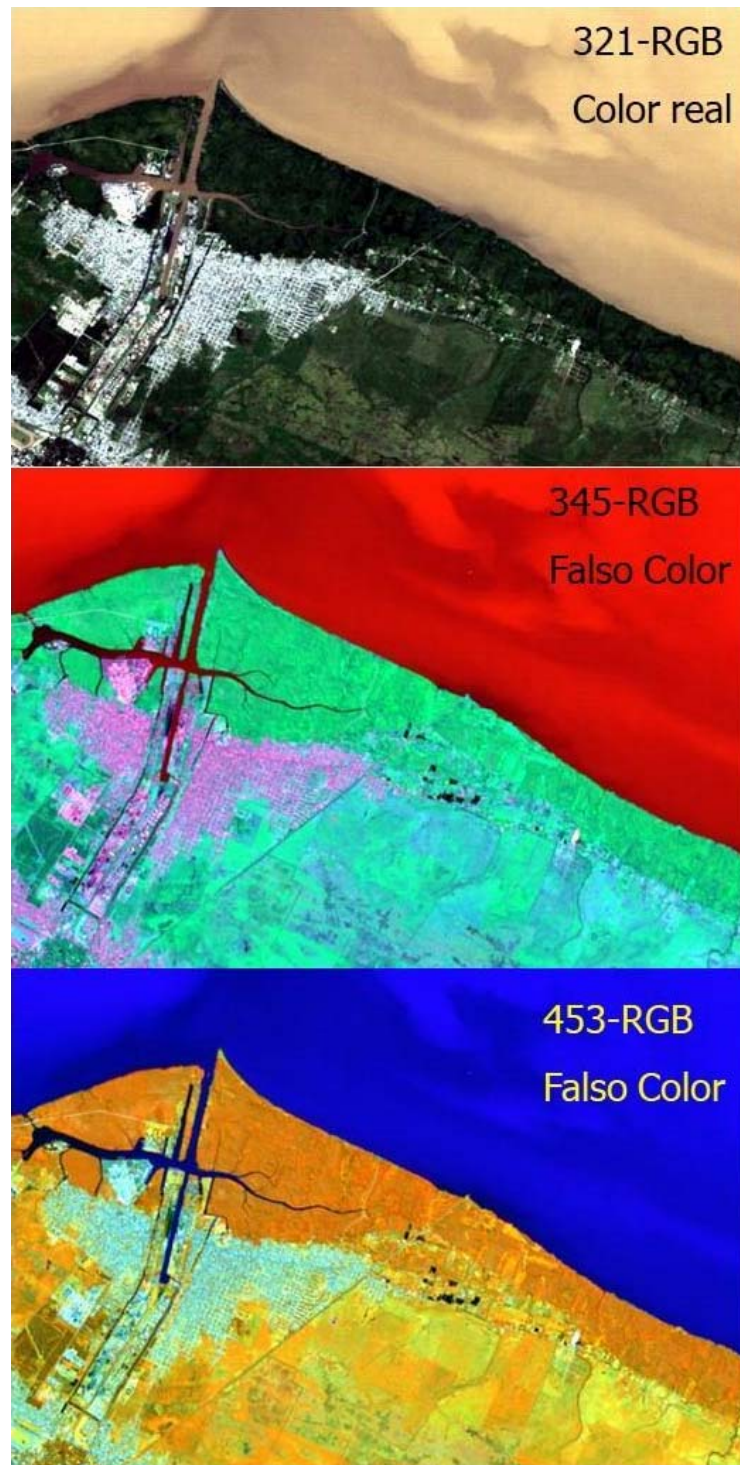


Nota: Bandas espectrales del sensor Landsat 7 ETM+ (ciudades de Ensenada, Berisso y La Plata, y el Río de La Plata). Fila superior: bandas del sector visible (azul, verde y rojo). Fila inferior: bandas de los infrarrojos cercano, medio u onda corta y lejano (de izquierda a derecha). Esquema de las firmas espectrales (abajo der.). Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 1.16 se aprecia en tonos de gris cada una de las bandas del sensor Landsat 7 ETM+ (banda 1: azul, banda 2: verde, banda 3: roja, banda 4: infrarroja cercana, banda 5: infrarroja media, banda 7: infrarroja lejana), si hacemos foco en el agua (Río de La Plata) y la vegetación (zona de selva marginal costera), se observa el contrastante comportamiento espectral. En las bandas del rango visible (azul, verde y rojo) se registra la mayor respuesta del agua, lo que se traduce en tonos grises claros e intermedios, mientras que en los infrarrojos la energía es absorbida por el agua y se ve en tonos oscuros o negros. Por otro lado, la vegetación tiene un comportamiento opuesto: refleja más en los infrarrojos (tonos claros) y absorbe en el sector visible (tonos oscuros).

Si, por ejemplo, se seleccionan tres bandas espectrales de una imagen satelital proveniente del sensor ETM+ del Landsat 7, banda roja (3), banda verde (2), banda azul (1), cuyos números se corresponden a la denominación que recibe cada rango espectral, para visualizarlas en color vamos a definir la ubicación de cada banda en los planos del monitor Rojo, Verde y Azul (RGB, por sus iniciales en inglés) respectivamente. Si cada banda es asignada al plano de su color: la banda [o longitud de onda] roja al plano Rojo, la banda verde al plano Verde, y la banda 3 al plano Azul, esto hace que veamos una imagen con los colores reales, como si voláramos en un avión y observáramos por la ventanilla: veríamos el agua del Río de La Plata amarronada debido a su alta carga de sedimentos, la vegetación en color verde y la zona urbana en tonos claros. Esta combinación de bandas conocida como “color real” es lo que se aprecia en la parte superior de la Figura 1.17.

Figura 1.17



Nota. Imagen Landsat 7 ETM+. Distintas combinaciones de bandas (más detalles en el texto).

Fuente: Elaboración propia.

Si ahora elegimos un segundo grupo de bandas, roja (3), infrarroja cercana (4) e infrarroja media (5) y las asignamos a los planos RGB del monitor en dos órdenes distintos tenemos:

- a) RGB: 3 4 5. Es decir, la banda roja al plano Rojo, la banda infrarroja cercana al plano Verde y la infrarroja media al plano Azul (combinación central en la Figura 1.17). Vemos el agua en

tonos rojos ya que en dicho plano está ubicada la única banda visible (donde más refleja el agua) de este conjunto de tres bandas elegidas (recordar el gráfico y el concepto de firmas espectrales), mientras que la vegetación adquiere un tono cian-verdoso, que resulta del aporte dado por cada una de las dos bandas infrarrojas. El tono rosado-magenta de la zona urbana se debe al aporte de energía reflejada por esta cobertura en la banda roja (asignada al plano Rojo) e infrarroja media (asignada al plano Azul). Si recordamos la representación de la teoría aditiva del color (Figura 1.15), el tono magenta se encuentra en la intersección del rojo y el azul.

- b) RGB: 4 5 3. Es decir, la banda infrarroja cercana al plano Rojo, la banda infrarroja media al plano Verde y la banda roja al plano Azul es decir a los planos Rojo, Verde y Azul respectivamente (combinación inferior en la Figura 1.17). En este caso, el agua se ve azul, la vegetación en tonos rojizos-naranjas-amarillentos y la zona urbana en tono celeste. El razonamiento es el mismo al presentado en el caso a) considerando ahora el nuevo orden asignado a cada banda y la respuesta espectral en cada caso.

A las combinaciones presentadas en los casos a) y b) se las denomina “falso color”, y son solo dos ejemplos de muchas otras combinaciones posibles.

En resumen, al momento de manipular una imagen satelital con un *software* adecuado para su procesamiento, ya sea visual o digital, se debe recordar: 1) el número de banda según el tipo de sensor, 2) el rango de longitud de onda de cada banda, 3) el plano del monitor al que se asigna cada banda, 4) el comportamiento espectral de las coberturas de interés y 5) los colores a obtener con estos parámetros y en función de la teoría aditiva del color.

Información general de las principales plataformas satelitales de Observación de la Tierra (OT)

Como se mencionó al inicio del presente capítulo, actualmente se cuenta con múltiples tipos de sensores a bordo de satélites que permiten una Observación de la Tierra (OT) cada vez más sofisticada, ya que cuentan con mejoras sustantivas en cuanto a sus distintas resoluciones y logros tecnológicos que impactan. Cada plataforma, en la mayoría de los casos, constituyen verdaderos observatorios que llevan varios instrumentos que complementan las observaciones según la temática principal. La descripción que encontrarán a continuación se focaliza en algún o algunos sensores a bordo de cada plataforma o misión, para más información recomendamos recurrir a los sitios web de las agencias de origen.

Compilaremos información, referencias y las principales características de las diversas fuentes satelitales (los satélites enumerados en los párrafos siguientes son todos de órbitas polares), con énfasis y mayor detalle en aquellas misiones que están disponibles actualmente de forma abierta y que brindan mayor aplicación en el área de las ciencias naturales. Cabe destacar en este punto que es importante conocer tanto los datos actuales como los históricos, ya que se han cumplido 50 años desde la primera misión operativa de OT que se inició en 1972 con la serie Landsat, que sigue vigente hasta la actualidad. Hay otro grupo variado de misiones que también llevan varias décadas de continuidad de datos y que resultan fundamentales, por ejemplo, para

escenarios de cambio climático. Asimismo, vamos a destacar las misiones satelitales a nivel nacional, su historia y su presente.

Sensores pasivos

En los siguientes párrafos se detalla una guía general de las principales cargas útiles de misiones pasadas y actuales. No son las únicas y puede haber variaciones según el sensor. Es importante tener en cuenta que muchos satélites ya no se lanzan de forma solitaria, sino que lo hacen en constelación, lo que favorece en gran medida la revisita.

1) Misiones internacionales de satélites ópticos de baja y media resolución espacial

- Satélites TERRA y AQUA: sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*)

- Origen: EE.UU.
- Lanzamiento: 1999 (TERRA) y 2002 (AQUA)
- Operativos: si
- Número de bandas espectrales: 36 (entre 0,45 μm y 14,38 μm)
- Resolución espacial: 250 m, 500 m y 1000 m (según los rangos espectrales)
- Ancho de barrido: 2330 km
- Resolución temporal: diaria
- Resolución radiométrica: 12 bits
- Aplicaciones principales: tierra, agua, vegetación, hielo, atmósfera
- Más información:

MODIS Datos nivel 1 (Level 1), geolocalización, máscara de nubes y productos de atmósfera: <http://ladsweb.nascom.nasa.gov/>

MODIS productos de tierra: <https://lpdaac.usgs.gov/>

MODIS productos de criósfera: <https://nsidc.org/>

MODIS productos de color de océano y temperatura superficial del mar: <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>

- Serie NOAA: sensor AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*)

- Origen: EE.UU.
- Lanzamiento: el primero en 1979 (TIROS-NOAA 6) y en 2009 el NOAA 19 (último con el sensor AVHRR) (14 satélites en total).
- Operativos: no (NOAA 6 al 17) - si (NOAA 18 y 19)
- Número de bandas espectrales: 6 (entre 0,58 μm y 11,30 μm)
- Resolución espacial: 1,1 km
- Ancho de barrido: 2400 km
- Resolución temporal: dos veces por día (día y noche)
- Resolución radiométrica: 10 bits
- Aplicaciones principales: hielo, atmósfera, límite tierra-agua, océano, vegetación
- Más información: <https://www.aev.class.noaa.gov/saa/products/welcome>

- Misión Suomi NPP y Misión JSPP 1 y 2: sensor VIIRS (*Visible Infrared Imaging Radiometer Suite*)
 - Origen: EE.UU.
 - Lanzamiento: 2011 (SNPP), 2017 (JSPP-1), 2022 (JSPP-2)
 - Operativos: si
 - Número de bandas espectrales: 22 (entre 0,41 μm y 12 μm)
 - Resolución espacial: 375-750 m
 - Ancho de barrido: 3000 km
 - Resolución temporal: diaria
 - Resolución radiométrica: 16bits
 - Aplicaciones principales: atmósfera, océano, vegetación, emergencias.
 - Más información:
 - https://www.nasa.gov/pdf/596329main_NPP_Brochure_ForWeb.pdf ;
 - https://www.nasa.gov/mission_pages/NPP/main/index.html,
 - <https://www.earthdata.nasa.gov/learn/find-data/near-real-time/viirs>

- Misión Sentinel 3A y 3B: sensor OLCI
 - Origen: Unión Europea. Programa Copernicus
 - Lanzamiento: 2016 y 2018
 - Operativos: si
 - Número de bandas espectrales: 21 (0,40 a 1,02 μm)
 - Resolución espacial: 300 m
 - Ancho de barrido: 1270 km
 - Resolución temporal: cada 2 días
 - Resolución radiométrica: 16 bits
 - Aplicaciones principales: océano, atmósfera
 - Más información:
 - <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/copernicus/sentinel-3>
 - https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Spain/Sentinel-3_Vision_panoramica_para_Copernico,
 - <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-3-olci>

- 2) Misiones internacionales de satélites pasivos ópticos de alta resolución espacial
 - Serie Landsat (desde el Landsat 1 [L1] al Landsat 9 [L9])
 - Origen: EE.UU.
 - Lanzamiento: 1972 (el L1), L5 en 1984, L9 en 2021
 - Operativos: no L1 al L6, si L7 al L9
 - Número de bandas espectrales: Figura 1.18
 - 4 (en L1 al L3) entre 0,5 μm y 2,29 μm (sensor MSS)
 - 7 (en L4 y L5) entre 0,45 μm y 12,50 μm (sensor TM y TIR)

8 (en L7) entre 0,45 μm y 12,50 μm (incluye banda pancromática) (Sensor ETM+ y TIR)

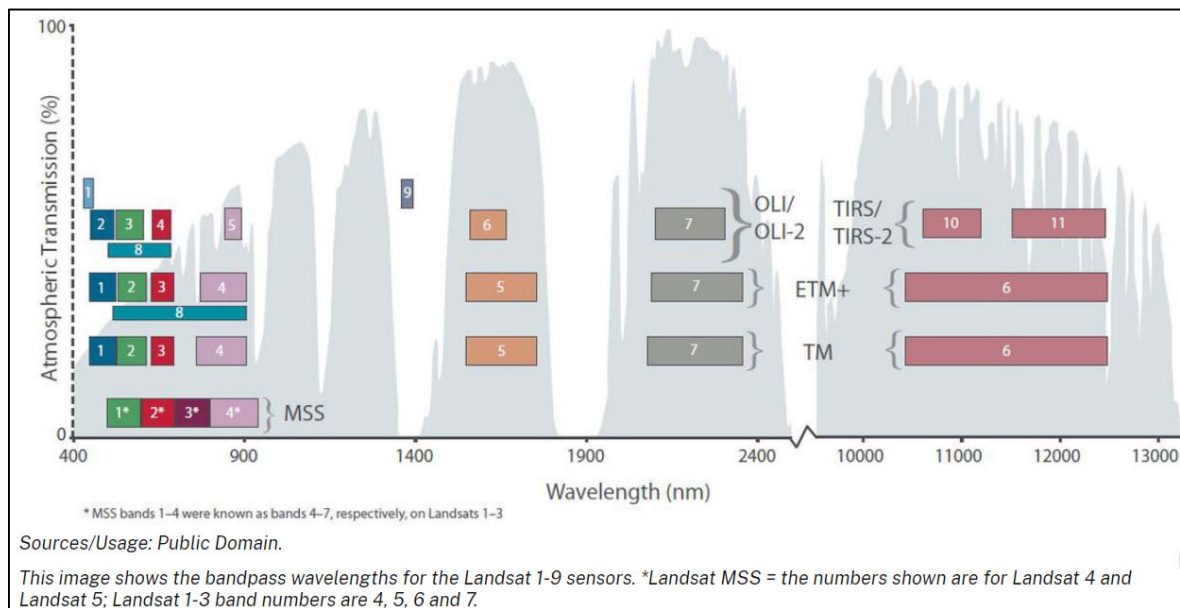
11 (en L8 y L9) entre 0,43 μm y 12,51 μm (incluye banda pancromática) (Sensor OLI y TIRS)

- Resolución espacial: 80 m (L1-L3), 30 m y 120 m (banda térmica) en L4 y L5, 15 m (pancromática), 30 m (multiespectral), 60 m (térmica) en L7, 15 m (pancromática), 30 m (multiespectral), 100 m (térmica) en L8 y L9
- Ancho de barrido: 180 km
- Resolución temporal: 16 días cada satélite
- Resolución radiométrica: 8 bits y 16 bits
- Aplicaciones principales: tierra, agua, vegetación, hielo, emergencias
- Más información:

<https://ciencia.nasa.gov/ciencias-terrestres/landsat-cumple-medio-siglo-observando-la-tierra-desde-el-espacio/>

Figura 1.18

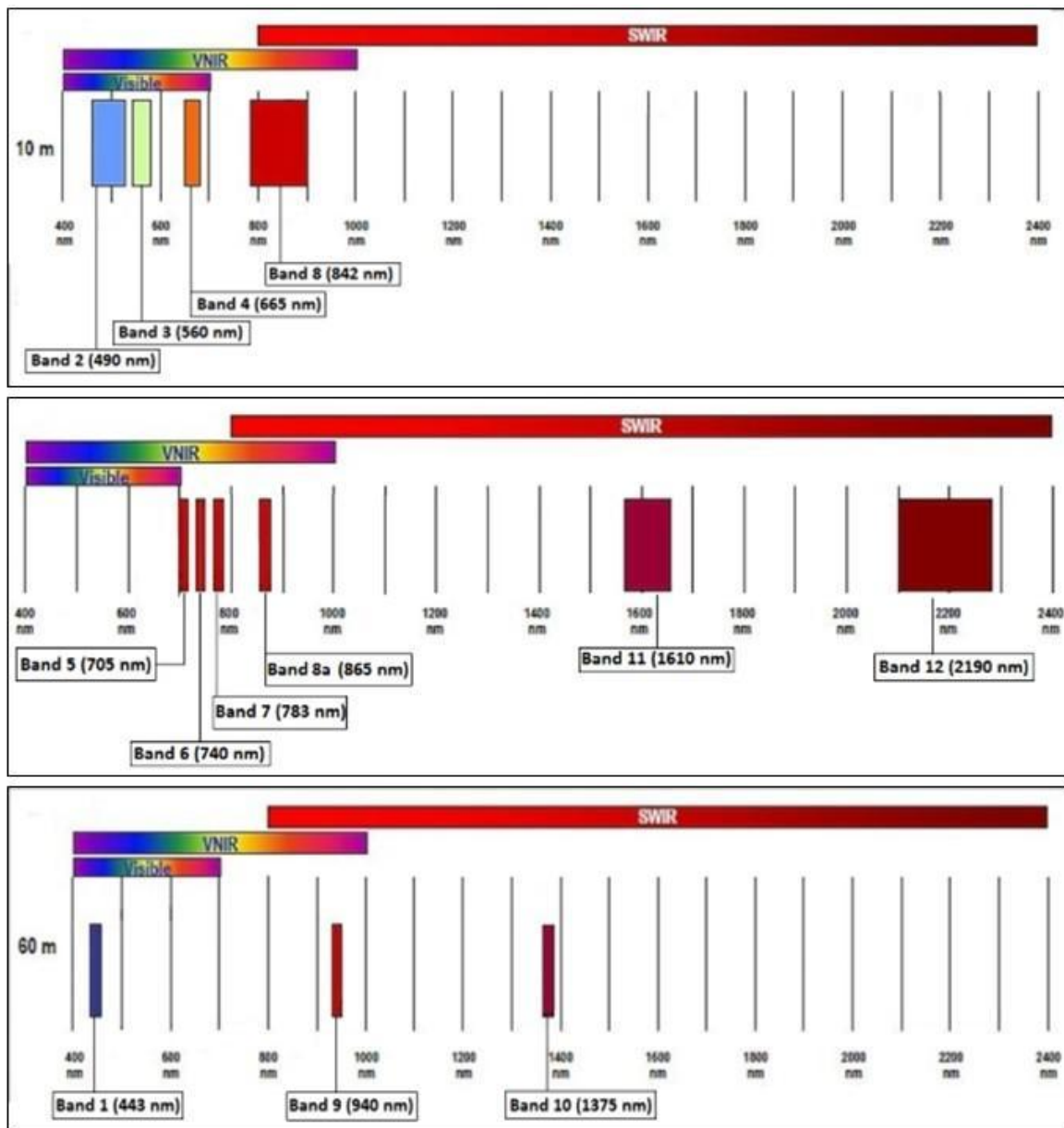
Distribución de las bandas espectrales a lo largo de la serie Landsat



- Misión TERRA: sensor ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer)
 - Origen: Japón (el sensor) y EE.UU. (el satélite)
 - Lanzamiento: 1999
 - Operativos: no
 - Número de bandas espectrales: 14 (0,52 a 11,65 μm)
 - Resolución espacial: 15 m, 30 m, 90 m
 - Ancho de barrido: 60 km
 - Resolución temporal: 16 días

- Resolución radiométrica: 8 bits
- Aplicaciones principales: geología, tierra, vegetación, costas, agua.
- Más información:
<https://terra.nasa.gov/about/terra-instruments/aster>;
<https://www.geosoluciones.cl/documentos/aster/IMAGENES-ASTER.pdf>
- Serie SPOT
 - Origen: Francia
 - Lanzamiento: SPOT 1 en 1986, SPOT 6 en 2012, SPOT 7 en 2014
 - Operativos: no SPOT 1 al 5, si SPOT 6 y 7
 - Número de bandas espectrales: 5 (0,48 a 1,75 μm) (incluye pancromática y visión estéreo lateral)
 - Resolución espacial: 5 m, 15 m, 30 m, 90 m (SPOT 1 al 5); 1,5 m y 6 m (SPOT 6 y 7)
 - Ancho de barrido: 60 km
 - Resolución temporal: 26 días/2-5 días
 - Resolución radiométrica: 8 bits, 12 bits
 - Aplicaciones principales: geología, tierra, vegetación, urbano, costas, agua.
 - Más información:
https://www.intelligence-airbusds.com/files/pmedia/public/r12785_9_spot6-7_ficha_tecnica.pdf;
https://www.intelligence-airbusds.com/files/pmedia/public/r1992_9_lossatelitesspotennumeros_esp_sept2010.pdf
- Misión Sentinel 2A y B
 - Origen: Unión Europea. Programa Copernicus.
 - Lanzamiento: S2A en 2015 y S2B en 2017
 - Operativos: si
 - Número de bandas espectrales: 13 (0,49 a 2,2 μm) (Figura 1.19)
 - Resolución espacial: 10 m, 20 m, 60 m
 - Ancho de barrido: 290 km
 - Resolución temporal: 5 días (con 2 satélites)
 - Resolución radiométrica: 12 bits
 - Aplicaciones principales: tierra, vegetación, urbano, costas, agua, emergencias.
 - Más información:
<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/copernicus/sentinel-2>

Figura 1.19



Nota. Distribución de las bandas espectrales de Sentinel 2 A y B. Con resolución espacial de 10 m (arriba), de 20 m (medio) y de 60 m (abajo). Fuente de los gráficos: ESA (<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/resolutions/spatial>)

3) Misiones internacionales de satélites ópticos de muy alta resolución

- Misión Pleiades 1 y 2
 - Origen: AIRBUS (Multinacional Europea)
 - Lanzamiento: P1 en 2012, P2 en 2014
 - Operativos: si
 - Número de bandas espectrales: 5 (0,43 a 0,95 μm) (incluye pancromática)
 - Resolución espacial: 0,50 m y 2 m
 - Ancho de barrido: 20 km

- Resolución temporal: 26 días c/satélite. Opción de vista lateral.
- Resolución radiométrica: 12 bits
- Aplicaciones principales: urbano, catastro, infraestructura, tierra, vegetación, costas, emergencias.
- Más información:
<https://earth.esa.int/eogateway/missions/pleiades>;
<https://earth.esa.int/eogateway/missions/pleiades#instruments-section>
- Misión Pleides Neo
 - Origen: AIRBUS (Multinacional Europea)
 - Lanzamiento: PN3 y 4 en 2021, PN 4 y 5 en 2022
 - Operativos: si
 - Número de bandas espectrales: 7 (0,40 a 0,88 μm) (incluye pancromática, azul profundo y borde rojo)
 - Resolución espacial: 0,30 m y 1,2 m
 - Ancho de barrido: 14 km
 - Resolución temporal: diaria/intradiaria con la constelación completa
 - Resolución radiométrica: 12 bits
 - Aplicaciones principales: urbano, catastro, infraestructura, tierra, vegetación, agua, costas, emergencias.
 - Más información:
<https://www.intelligence-airbusds.com/imagery/constellation/pleiades-neo/> ;
<https://www.youtube.com/watch?v=O5rog4HGVbw>
- Satélite GeoEye
 - Origen: Digital Globe (EE.UU.)
 - Lanzamiento: 2015
 - Operativos: si
 - Número de bandas espectrales: 5 (0,45 a 0,92 μm) (incluye pancromática)
 - Resolución espacial: 0,41 m y 1,65 m
 - Ancho de barrido: 15,2 km
 - Resolución temporal: cada 3 días (no a nadir)
 - Resolución radiométrica: 11 bits
 - Aplicaciones principales: urbano, catastro, infraestructura, tierra, vegetación, agua, costas, emergencias.
 - Más información:
<https://infosatgeomatica.com/eng/imagenes/digitalglobe/geo-eye-1/> ;
<https://www.aeroterra.com/content/dam/distributor-share/esri-ar/productos/imagenes-satelitales/pdf/maxar-imagenes-satelitales.pdf>

- Serie WorldView
 - Origen: Digital Globe (EE.UU.)
 - Lanzamiento: WV-1 en 2007, WV-2 en 2009, WV-3 en 2014 y WV4 en 2016
 - Operativos: no WV-1 y 4, si WV-2 y 3
 - Número de bandas espectrales: 9/16 (0,39 a 2,36 μm) (incluye pancromática)
 - Resolución espacial: 0,31 m y 1,24 m (WV3)
 - Ancho de barrido: 13,1 km (WV3)
 - Resolución temporal: 1 día (no a nadir)
 - Resolución radiométrica: 11 bits
 - Aplicaciones principales: urbano, catastro, infraestructura, tierra, vegetación, agua, costas, emergencias
 - Más información:
http://www.imagenesgeograficas.com/files/WorldView3-DS-WV3_es.pdf

4) Misiones nacionales de satélites pasivos ópticos y de microondas

Cabe destacar que la Argentina a través de la CONAE (Comisión Nacional de Actividades Espaciales), junto al sistema científico tecnológico nacional (UNLP, CONICET, CIOp (Ctro. de Investigaciones Ópticas), IAR (Instituto Argentino de Radioastronomía), etc.) y empresas de base tecnológica (INVAP, VENG, SUR, entre otras), han desarrollado varias misiones satelitales operativas y verdaderamente destacadas con socios internacionales de primer nivel, como las siguientes agencias espaciales: NASA (EE.UU.), CNES (Francia), ESA (Europa), ASI (Italia), AEB/INPE (Brasil), CSA (Canadá), DSRI (Dinamarca). Desde su creación, en 1991, la CONAE estuvo abocada al diseño y desarrollo de misiones satelitales de OT que tuvieran alto impacto en los sectores socio-productivos y ambientales del país y la región, impulsando el desarrollo tecnológico nacional, con un muy fuerte vínculo internacional. Los primeros satélites de desarrollo tecnológico puestos en órbita fueron el SAC-B (1996) y el SAC-A (1998) en colaboración con la NASA. Para más detalles, sugerimos visitar el siguiente enlace:

<https://www.argentina.gob.ar/ciencia/conae/misiones-espaciales>

- SAC-C (Satélite de Aplicaciones Científicas-C)
 - Origen: Argentina
 - Lanzamiento: 2000
 - Operativo: no
 - Número de bandas espectrales: 5 (0,48 a 1,7 μm) (incluye pancromática)
 - Resolución espacial: 175 m
 - Ancho de barrido: 360 km
 - Resolución temporal: cada 9 días
 - Resolución radiométrica: 8 bits
 - Aplicaciones principales: agro, vegetación, geología, mar, agua, costas, suelos, hielo, emergencias

- Más información:
<https://www.argentina.gob.ar/ciencia/conae/misiones-espaciales/sac-c/introduccion>
https://catalogos.conae.gov.ar/sac_c/producto1.htm
- SAC-D (Satélite de Aplicaciones Científicas-D)
 - Origen: Argentina
 - Lanzamiento: 2011
 - Operativo: no
 - Número de bandas espectrales: presenta 7 instrumentos (ópticos, térmicos y de microonda pasivo, banda L). Las cargas principales: AQUARIUS (NASA) y MWR (CONAE).
 - Resolución espacial: variada según el instrumento
 - Ancho de barrido: variado según el instrumento
 - Resolución temporal: variada según el instrumento
 - Resolución radiométrica: variada según el instrumento
 - Aplicaciones principales: salinidad superficial del mar (SSS), temperatura superficial del mar (SST), hielo marino, vientos y precipitación sobre el mar
 - Más información:
<https://www.argentina.gob.ar/ciencia/conae/misiones-espaciales/sac-d>
- SABIAMar
 - En desarrollo. Sensores pasivos (bandas visibles e infrarrojas), resolución espacial de 200 m y 800 m, resolución temporal cada dos días. Aplicaciones para el océano, mar y costas.
 - Más información:
<https://www.argentina.gob.ar/ciencia/conae/misiones-espaciales/sabia-mar>

Sensores activos

Si bien se mencionaron previamente varias características sobre este tipo de sensor, como el modo de captación de la energía, el empleo de las microondas o su geometría lateral para las adquisiciones, antes de presentar las principales misiones con radar a bordo, presentaremos un resumen de la teoría sobre estos sensores, que no son tan intuitivos para la comprensión de sus datos como los ópticos.

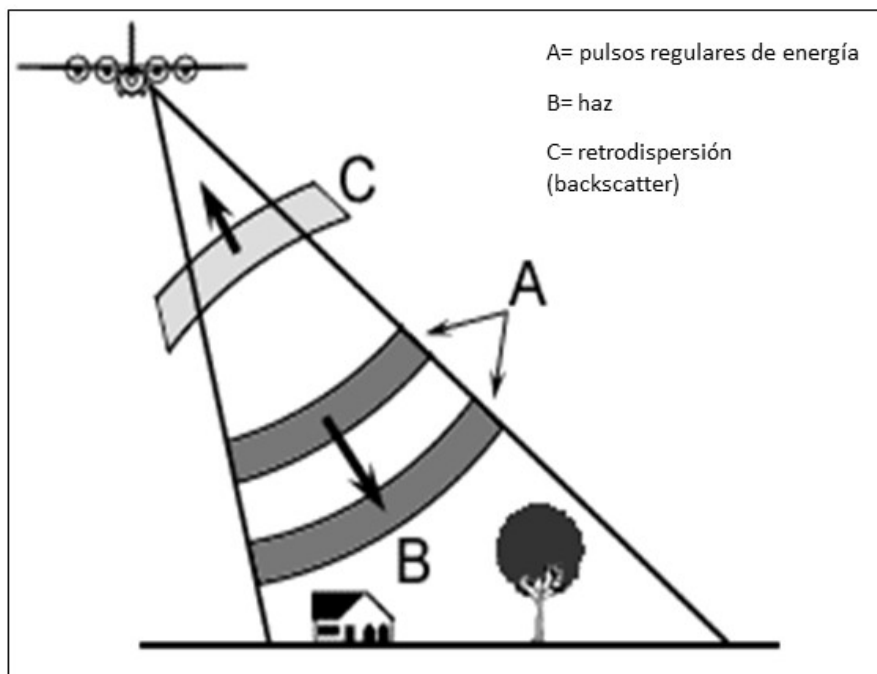
Fundamentos teóricos sobre Radar

Los sensores activos de microondas se dividen en: 1) aquellos que forman imágenes (*Imaging*) al tomar mediciones en dos dimensiones, el más común es el RADAR (*R*ADIO *D*ETECTION *A*ND *R*ANGING); y 2) aquellos que no forman imágenes (*Non-Imaging*) al tomar mediciones en una

sola dimensión, ejemplos de ello son los altímetros (a nadir-miden altura o elevación) y escaterómetros (miden la cantidad de energía retrodispersada desde el blanco).

De forma resumida y sencilla podemos decir que un Radar está conformado por un transmisor, un receptor, una antena, un sistema electrónico de procesamiento y un registro de la señal. Midiendo el retraso entre la transmisión y recepción del pulso de energía desde diferentes blancos se puede calcular la distancia al sensor y así su localización. Se destaca aquí que desde el satélite se emiten pulsos regulares de energía (en el rango de las microondas, longitudes de onda del orden de los centímetros), contenidos en un haz, y esos pulsos al interactuar con la superficie la dispersan y solo vuelve al satélite una parte de la energía, que se conoce como retrodispersión o *backscattering*. (Figura 1.20).

Figura 1.20



Nota. Esquema sencillo de funcionamiento de un sistema radar. Figura modificada de la original: CCRS.

El Sistema Radar, como se ha mencionado anteriormente, presenta dos ventajas importantes si se los compara con los sensores ópticos: al tratarse de instrumentos activos, poseen su propia fuente de iluminación, lo que permite que se tomen imágenes tanto de día como de noche, independiente del Sol. Además, como trabajan en el rango de las microondas, cuya longitud de onda abarca desde unos pocos centímetros hasta algunas decenas de ellos, la atmósfera casi no interfiere, por lo que se puede tomar imágenes con presencia de nubes y en la mayoría de las condiciones climáticas desfavorables.

Un poco de historia...

- 1886-Hertz: Primera demostración de transmisión-reflexión de microondas.
- 1900: Radar rudimentario para detección de naves.

- 1920-1930: Radares en tierra para detectar objetos a distancia.
- 1936-1942 (Segunda Guerra Mundial): El primer radar generador de imagen (*"imaging"*) para detectar y ubicar aviones y barcos.
- Después de la Segunda Guerra: Se desarrolla el radar aerotransportado de vista lateral: SLAR.
- 1950: Avances del SLAR y desarrollo del radar de apertura sintética de alta resolución: SAR, para uso militar.
- 1960: Los radares pasaron a tener uso civil, y a partir de allí se incrementó el desarrollo de sistemas de radar para aviones y satélites.
- 1991: Lanzamiento del ERS-1, fue el primer satélite de observación de la Tierra de la ESA y el primero llevando a bordo un radar de apertura sintética (SAR).
- 1995 y en adelante: Canadá lanza RADARSAT 1, y le siguen en lo sucesivo el ERS-2 y Envisat de la ESA (1995 y 2002 respectivamente), el sensor Alos 1 y 2 a bordo del Palsar (Japón, 2006 y 2014), y la constelación de radares italianos COSMO SkyMed primera generación (cuatro satélites) entre 2007 y 2010, y la segunda generación iniciada en 2019, Sentinel 1 A y B de la ESA en 2014 y 2016 respectivamente, y la nueva constelación de tres satélites Radarsat en 2019.
- 2018 y 2020: Lanzamiento de la Misión Argentina SAOCOM (1A y 1B).

Bandas, polarizaciones, geometría y términos propios

Como venimos anticipando, los radares trabajan en el sector de las microondas. Son rangos/bandas que oscilan desde casi 1 cm hasta el metro. Dado su origen bélico se las conoce con diferentes letras (a modo de código secreto para no delatar la frecuencia utilizada ante el enemigo). A continuación, se enumeran las principales bandas:

Ka, K, y Ku (entre 0,75 cm y 2,4 cm): son las longitudes más cortas, usadas principalmente en aviones.

X (entre 2,4 cm y 3,75 cm): usada principalmente en aviones y en COSMO SkyMed.

C (entre 3,75 cm y 7,5 cm): la más común en aviones y satélites (ERS-Radarsat-Envisat, Sentinel 1).

S (entre 7,5 cm y 15 cm): en el satélite ruso ALMAZ, y en experimentación actualmente.

L (entre 15 cm y 30 cm): en los satélites SEASAT (norteamericano), Alos/ Palsar (japonés) y en la misión SAOCOM.

P (entre 30 cm y 100 cm): son las longitudes más largas, en experimentación.

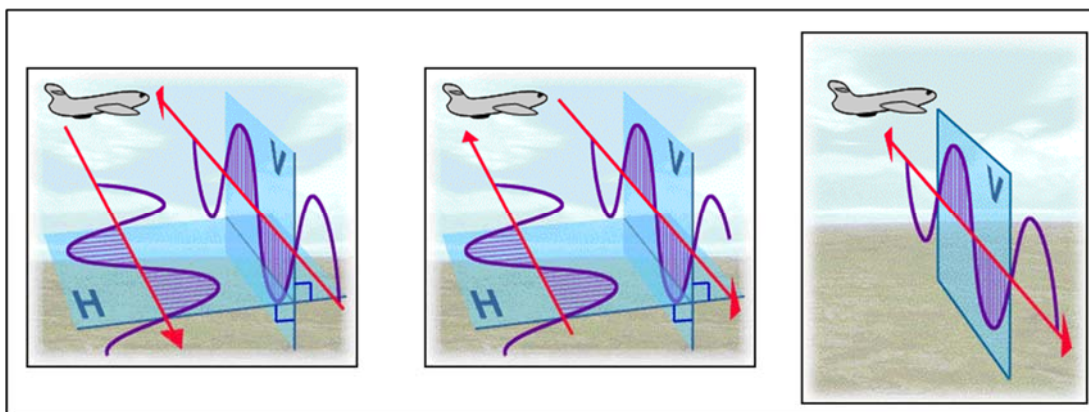
A diferencia de los rangos de las longitudes de onda de los sensores ópticos, sensibles a la estructura fisicoquímica de las coberturas, las microondas son sensibles a la constante dieléctrica de los elementos (que de forma indirecta expresa el contenido de humedad), a su textura, su rugosidad, su geometría (que responderá distinto según la banda empleada) y las características de toma de cada sensor. Así, las longitudes de onda más cortas solo dan información de la superficie que alcanzan, mientras las más largas (las de menor frecuencia) pueden penetrar, por

ejemplo, el dosel de un bosque o suelos secos obteniendo información del subsuelo. Hasta la fecha, cada instrumento de radar trabaja en una sola banda.

Es importante destacar que el pulso emitido por el radar, independientemente de la banda utilizada, está polarizado, lo que significa que oscila en un plano determinado (vertical u horizontal). Asimismo, el pulso retrodispersado, que regresa al radar tras interactuar con la superficie, solo será detectado si mantiene la polarización vertical y/u horizontal, según se muestra en la Figura 1.21. En los primeros radares satelitales, se emitía y recibía la energía en un mismo plano, por ejemplo: vertical – vertical, pero en la actualidad, con el avance tecnológico los instrumentos pueden combinar de distinta manera la polarización de partida y de llegada, brindando muchas más posibilidades de análisis de la superficie observada. De este modo, nos encontramos que ciertos rasgos de la superficie se ven mejor en una cierta combinación de polarización y no en otra. Además, se puede aplicar un tratamiento análogo a la combinación color que se realiza con las bandas ópticas y preparar imágenes RGB colocando en cada plano del monitor distintas polarizaciones de la misma banda que permitan mejorar la interpretación.

Figura 1.21

Polarizaciones del pulso emitido y transmitido por el radar

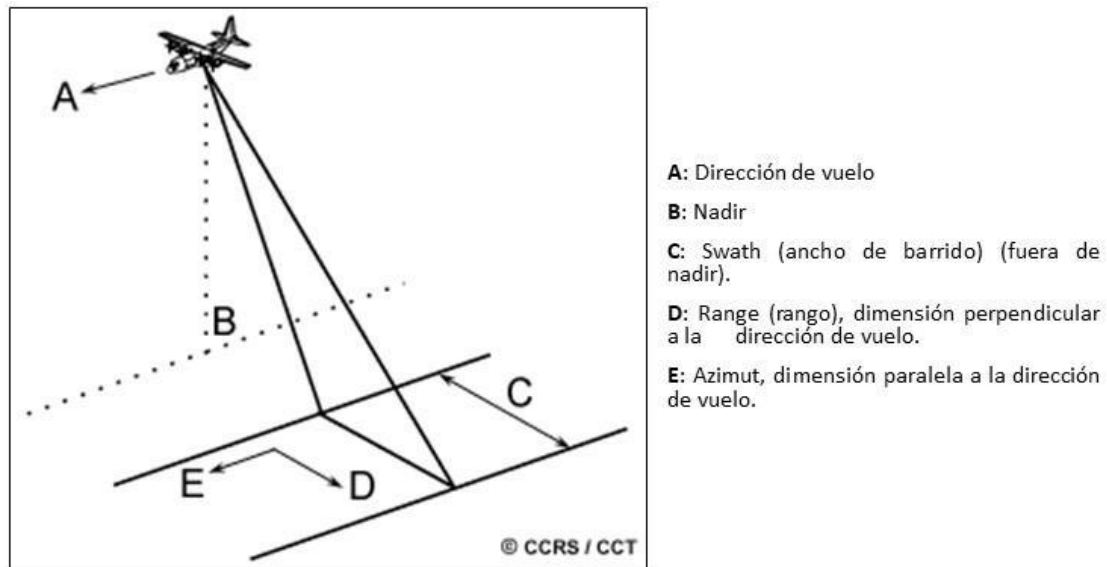


Nota. Izq.: H-V, centro: V-H, der.: V-V. Fuente: Adaptada de CCRS.

Si nos referimos a la geometría de radar nos encontramos con ciertos conceptos y términos particulares que son indispensables al momento de seleccionar el producto y analizar la imagen en cuestión para una adecuada interpretación. Las Figuras 1. 22A y 1. 22B nos ayudarán a comprender estos conceptos:

Figura 1.22A

Geometría lateral del radar, términos y definiciones

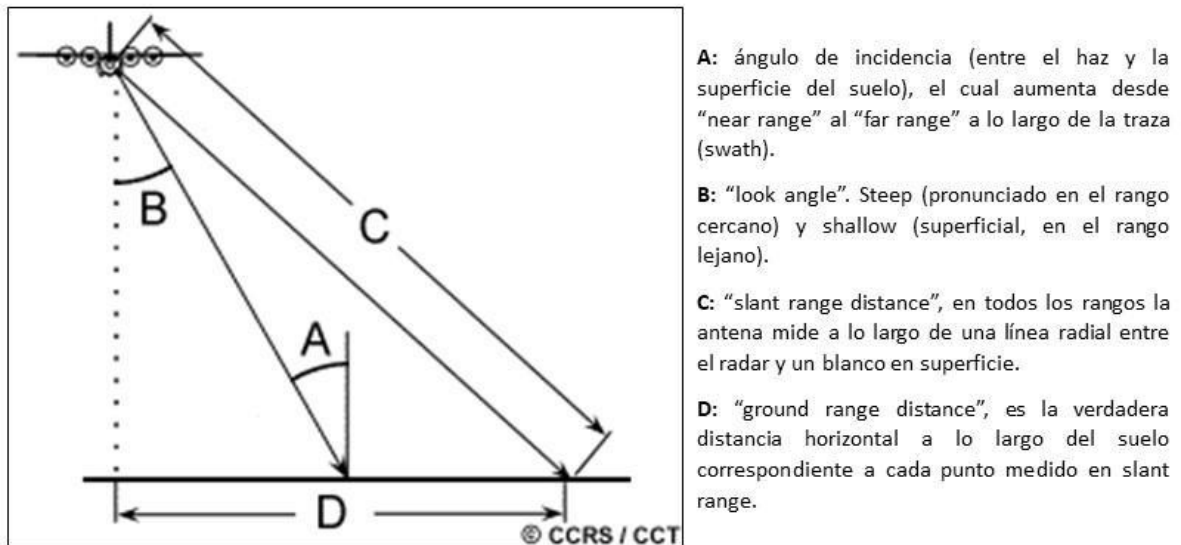


Nota. Fuente: CCRS.

La vista lateral es típica de los sistemas “*Imaging*” de radar, ya que es la manera en que se puede discriminar sin mayores inconvenientes la ubicación de los objetos en el terreno. De este modo la energía retrodispersada por los objetos ubicados más cerca de la traza del satélite (conocido como rango cercano (*near range*)) llegarán más rápido al sensor (tienen menor distancia que recorrer), mientras que aquellos ubicados más lejos de la traza (rango lejano o *far range*), tienen un mayor recorrido y llegarán más tarde al sensor. En cambio, si tuviera una geometría vertical como los sensores ópticos, aquellos objetos ubicados a uno y otro lado de la traza llegarían al mismo tiempo al satélite y no se podría diferenciar desde donde viene cada señal.

Figura 1.22B

Geometría lateral del radar, términos y definiciones. Continuación



Nota. Fuente: CCRS.

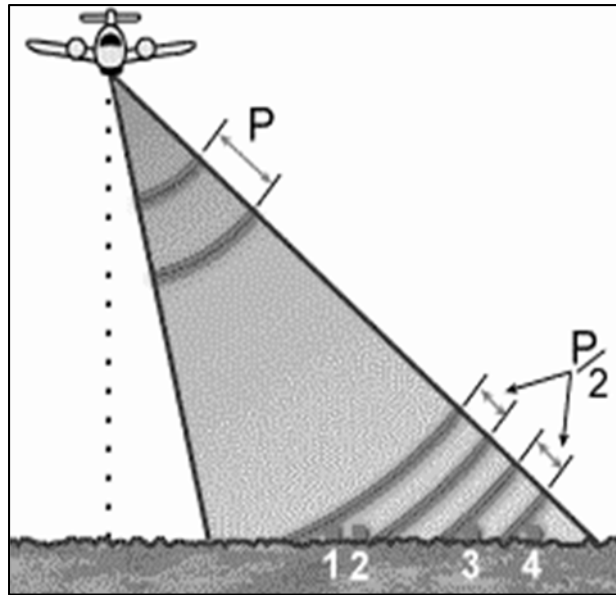
Resolución espacial

Dados los efectos de la geometría, las propiedades específicas de la radiación de microondas y la tecnología del radar, la resolución espacial tiene dos componentes: la resolución en rango y la resolución en azimut.

La resolución en rango (perpendicular a la dirección de vuelo) depende de la longitud del pulso (P). Como se ve en la Figura 1.23 dos puntos de la superficie serán diferenciados en la dirección del rango si la separación entre ambos es mayor que $P/2$. En la Figura 1. 23 los puntos 1 y 2 no se podrán ver como objetos distintos, mientras que 3 y 4 se pueden distinguir de forma separada ya que la distancia entre ellos es mayor a $P/2$. Por otro lado, la "*Slant range resolution*" permanece constante independiente del rango, y la "*Ground range resolution*" dependerá del ángulo de incidencia, por lo tanto, decrecerá al aumentar el rango.

Figura 1.23

Resolución espacial en rango en el sensor radar



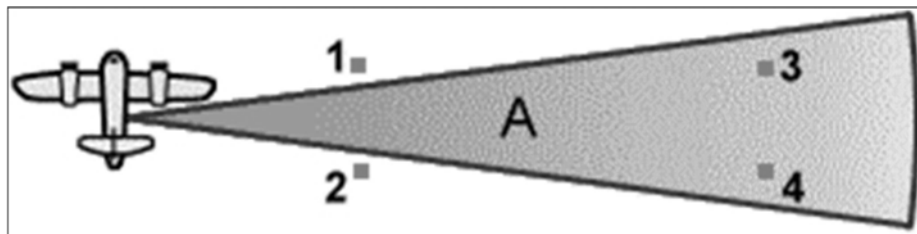
Nota. P representa la longitud del pulso. Los números 1,2,3 y 4 son objetos en el terreno. Ver detalles en el texto. Fuente: Adaptada de la original del CCRS.

En el caso de la resolución azimutal (dirección paralela al sentido de vuelo) vemos que es determinada por el ancho del haz (A) y la distancia del “*slant range*” o rango inclinado. En la Figura 1.24 se puede apreciar que los puntos 1 y 2 en el rango cercano (*near range*) serán separables, pero no lo serán los puntos 3 y 4 que están en el rango lejano (*far range*), a pesar de estar separados entre sí por la misma distancia existente entre 1 y 2.

Cabe destacar entonces que el ancho del haz es inversamente proporcional a la longitud de la antena (o apertura), es decir una antena más larga producirá un haz más angosto y en consecuencia una resolución espacial más fina.

Figura 1.24

Resolución espacial en azimut en el sensor radar



Nota. A representa el ancho del haz. Los números 1, 2, 3 y 4 son objetos en el terreno. Ver detalles en el texto. Fuente: Adaptada de la original del CCRS.

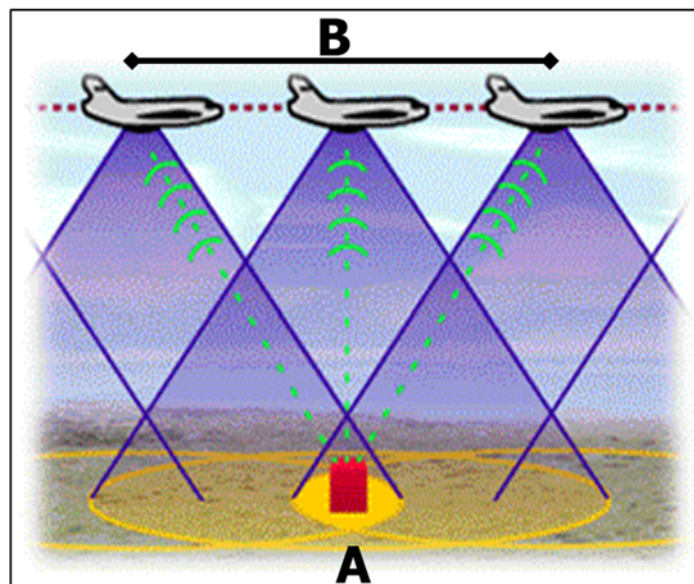
A fin de mejorar la resolución espacial en los casos descriptos arriba, existen ciertas estrategias.

En el caso de la resolución en rango se necesita que los pulsos emitidos por el sensor sean de longitud más corta (el valor de P debe ser más pequeño, Figura 1.23), esto involucra un rediseño de ingeniería para lograrlo.

Para mejorar la resolución azimutal la limitante es el largo físico de la antena montada en un satélite, por lo que se recurre a una simulación de una antena muy larga procesando de manera especial los ecos retrodispersados (*backscattered*) por la superficie, como se muestra en la Figura 1.25. Allí se ven cómo se registran todos los ecos del punto A, a medida que la plataforma avanza a lo largo de los haces que iluminan ese blanco. Por lo tanto, B representa la longitud de una antena sintetizada, y eso es lo que se conoce como antena **SAR** (*Synthetic Aperture Radar*, por su sigla en inglés).

Figura 1.25

Esquema de una antena de apertura sintética (SAR)



Nota. A representa el blanco, B la longitud de la antena sintetizada captando los “ecos” de A. Ver detalles en el texto. Fuente: Adaptada de la original del CCRS.

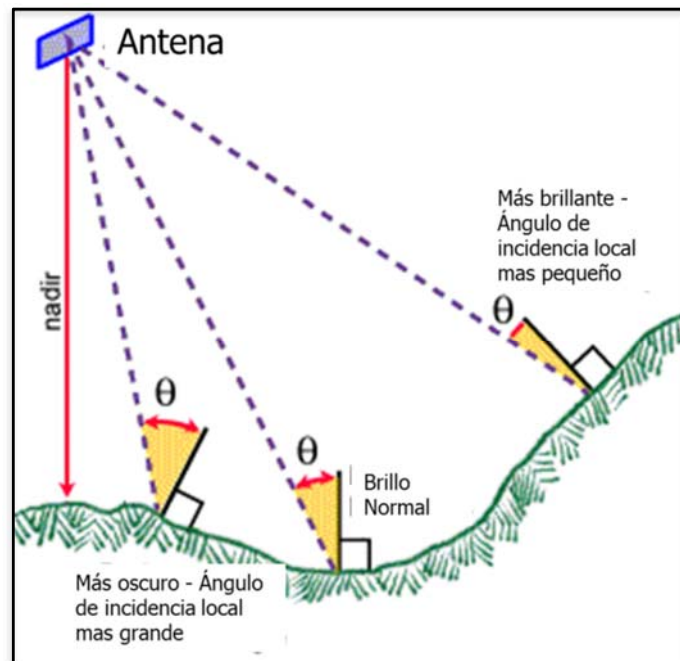
Interacción del pulso emitido con el blanco

Como vimos, la geometría de un sensor radar presenta interacciones particulares con la superficie dependiendo del ángulo de incidencia local que está condicionado por el relieve de la superficie, la posición del sensor y la estructura misma del objeto, además del contenido de humedad.

Aquí vemos (Figura 1.26) como a pesar de una toma con un ángulo de incidencia específico, cuando ese pulso llega a la superficie interactúa de manera diferente según ese relieve (con pendientes variadas y de distinta orientación, o zonas llanas) y modifica su respuesta. Por un lado, cuando el ángulo de incidencia local es pequeño en la imagen se ve más brillante, y viceversa.

Figura 1.26

Ángulos de incidencia local según el relieve observado. Figura adaptada de la original: CCRS.



Estas interacciones traen aparejadas distorsiones de la imagen que el intérprete debe conocer para no incurrir en errores al analizarla.

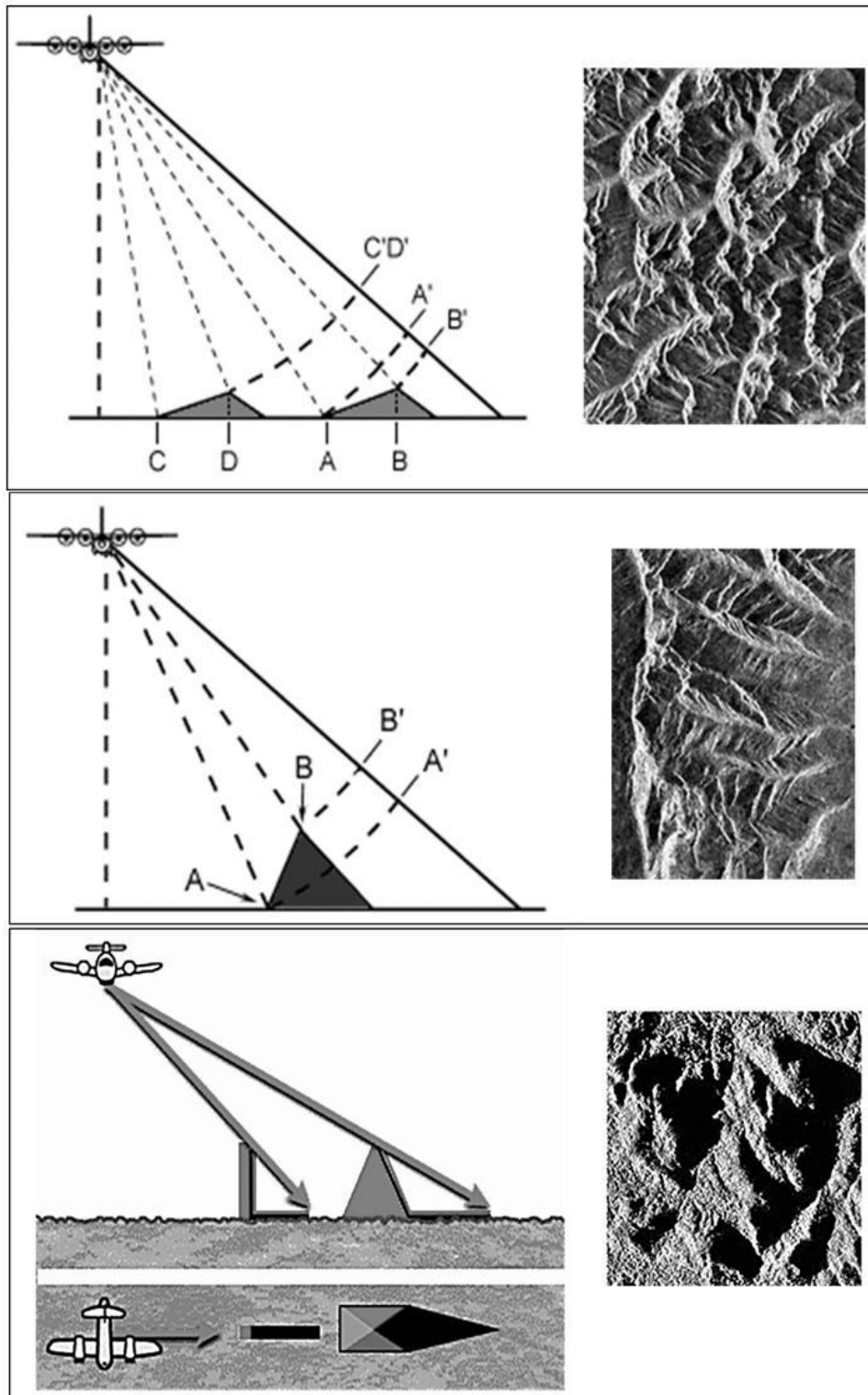
Así, un caso de esas distorsiones es el conocido en inglés como “*foreshortening*” (escorzo o desplazamiento de relieve), que es un efecto que tiene la apariencia de laderas o pendientes comprimidas/acortadas que están inclinadas hacia el radar y se ven más brillantes en la imagen. Esto se debe a que, como se muestra en la parte superior de la Figura 1.27, tenemos dos elevaciones similares en forma y pendiente, una más cerca del satélite (*near range*) y otra más alejada (*far range*), cada una con sus bases (letras C y A, respectivamente) y con sus cimas (letras D y B respectivamente); en el caso de C y D las señales (el *backscatter*) de la base y la cima llegan al satélite al mismo tiempo y no se pueden diferenciar entre sí, en el caso de A y B si bien llegan en tiempos diferentes, ocurre que la distancia en *slant range* entre A y B es mucho más corta que en *ground range* por lo que se produce este efecto de escorzo, como si las montañas estuvieran “acostadas” y más cortas.

Un segundo caso muy frecuente es el “*layover*” (inversión por relieve), esto se produce porque en este caso la señal retrodispersada por la cima llega al satélite antes que la señal de la base, por estar más cerca del satélite y aparece volcada hacia él, como se aprecia en la parte central de la Figura 1. 27.

Por último, el efecto de “*shadowing*” (sombreado) que se da en la mayoría de las imágenes por detrás de los blancos, donde no llegó la iluminación del radar (sector inferior de la Figura 1.27). Esas zonas aparecen muy oscuras porque no generan señal alguna de retorno (Marchionni y Francois, 2014).

Figura 1.27

Distorsiones presentes en las imágenes radar



Nota. Arriba: *Foreshortening*, Centro: *Layover*, Abajo: *Shadowing*. Ver detalles en el texto.
Fuente: Adaptadas de las originales del CCRS.

Otros comportamientos de la señal retrodispersada tienen que ver con la estructura y posición del blanco con respecto al satélite, de su contenido de humedad y de la longitud de onda

empleada. Así, un cuerpo de agua sin viento en superficie va a reflejar de manera especular, por lo que no llega señal de retorno al sensor, es por esto que los cuerpos de agua en general se ven negros. Si en ese cuerpo de agua hay, por ejemplo, plantas palustres semisumergidas, se dará un efecto de rebotes múltiples y la imagen se verá muy brillante en dicha zona, esta situación se observa en humedales.

Si la señal del radar alcanza ahora una zona boscosa, según la longitud de onda del sensor tendrá más o menos penetración, e incidirá sobre el dosel, los troncos, las ramas y las hojas produciendo lo que se conoce como “*volume scattering*” (dispersión volumétrica) resultado de los múltiples rebotes y reflejos que se van dando entre las partes que forman el bosque. La dispersión volumétrica disminuirá o aumentará el brillo en la imagen dependiendo cuanta energía es dispersada fuera del volumen y vuelve al sensor.

En las áreas urbanas o cuando se detectan barcos en el mar se produce en general el efecto de “reflectores de esquina” o en inglés “*corners reflectors*”, debido a la presencia de muchos ángulos rectos donde rebota la señal que vuelve directamente al sensor, saturándolo y viéndose muy brillantes en la imagen.

En cuanto al contenido de humedad, podemos resumir el comportamiento de la siguiente forma: a mayor humedad mayor energía retrodispersada, por lo que más brillante se ve la imagen; y a menor humedad más penetración en el sustrato.

Por último, mencionaremos la rugosidad, que variará según la banda empleada, un mismo blanco podrá verse más o menos rugoso según si lo toca una banda de un par de centímetros o varias decenas de centímetro de longitud de onda. A mayor rugosidad, mayor retorno.

Otros conceptos a tener en cuenta sobre los datos radar

Moteado o “speckle”: es la apariencia típica de la imagen radar conocido como “sal y pimienta”. Dicha apariencia se debe a la fluctuación estadística o incertidumbre asociada a la brillantez de cada pixel en la imagen de radar debido a la iluminación coherente y al procesamiento.

Mirada o “look”: con este término se hace referencia a cada una de las subimágenes utilizadas a partir de una observación para formar la imagen total de salida preparada en el procesador. En el caso de una sola imagen (*single look*), esta presenta más moteado y mejor resolución. A medida que se suman “looks” y se van promediando, el *speckle* disminuye al igual que la resolución espacial.

Calibración radiométrica: este proceso permite obtener imágenes en las cuales el valor de cada píxel ya deja de ser el DN (*digital number*) y pasa a estar relacionado directamente a la retrodispersión (*backscatter*) del mismo. De este modo, se pueden comparar imágenes provenientes de distintos sensores, modos, fechas, y procesadores. Es así como se pueden calcular los siguientes coeficientes:

Coefficiente de brillantez o reflectividad del radar conocido como σ^0 *beta nought* que representa la retrodispersión por unidad de área en alcance inclinado, es adimensional.

Es la radiometría más natural observable del radar. No se requiere conocer el ángulo de incidencia local.

Coefficiente de retrodispersión conocido como σ^0 *sigma nought* que representa la retrodispersión por unidad de área en alcance terrestre. Mide la potencia de la señal (en dB) en un área de 1 m² de superficie terrestre, es dependiente de las propiedades del blanco y usualmente varía con el ángulo de incidencia, la polarización y la longitud de onda.

1) Misiones Internacionales de satélites activos de radar

Son muchas las misiones actuales con tecnología radar a bordo, dada sus características específicas podrán encontrar muchos más detalles en los enlaces suministrados. Cabe destacar que los SAR brindan distintos productos conocidos como modos de adquisición (según sea su ángulo de incidencia, su polarización, su ancho de barrido, su resolución espacial, tipo de órbita [ascendente o descendente], etc.) que resultan propicios para las distintas aplicaciones (agro, forestal, geología, hielo, mar, derrames de hidrocarburos, detección de barcos, interferometría, entre muchas otras).

- Serie Radarsat

- Origen: Canadá
- Lanzamiento: Radarsat 1 en 1995, Radarsat 2 en 2007, Constelación Radarsat (3 satélites) en 2019
- Operativos: no Radarsat 1, si Radarsat 2 y Constelación
- Banda: C; polarización original HH, luego combinación: HH VV HV y VH
- Resolución espacial: variable según modo
- Ancho de barrido: variable según modo
- Resolución temporal: variable según modo
- Resolución radiométrica: 16 bits
- Aplicaciones principales: detección de barcos, derrames de hidrocarburo, geología, emergencias, forestal, hielo, interferometría, otras
- Más información:
<https://www.asc-csa.gc.ca/eng/satellites/radarsat/technical-features/radarsat-comparison.asp>

- Serie COSMO SkyMed (primera generación)

- Origen: Italia
- Lanzamiento: 4 satélites entre 2007 y 2010
- Operativos: si
- Banda: X; polarización: HH VV HV y VH
- Resolución espacial: variable según modo
- Ancho de barrido: variable según modo

- Resolución temporal: variable según modo
 - Resolución radiométrica: 16 bits
 - Aplicaciones principales: detección de barcos, derrames de hidrocarburo, geología, emergencias, forestal, hielo, interferometría, otras
 - Más información:
<https://earth.esa.int/eogateway/missions/cosmo-skymed> ;
<https://www.telespazio.com/es/programmes/cosmo-skymed#:~:text=La%20constelaci%C3%B3n%20COSMO%2DSkyMed%20de,alta%20resoluci%C3%B3n%20en%20banda%20X.>
 - Serie Sentinel 1
 - Origen: Unión Europea
 - Lanzamiento: S1A en 2014, S1B en 2016
 - Operativos: si
 - Banda: C; polarización: HH VV HV y VH
 - Resolución espacial: variable según modo
 - Ancho de barrido: variable según modo
 - Resolución temporal: variable según modo
 - Resolución radiométrica: 16 bits
 - Aplicaciones principales: detección de barcos, derrames de hidrocarburo, geología, emergencias, forestal, hielo, interferometría, otras
 - Más información:
<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/copernicus/sentinel-1>
<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar>
- 2) Misión satelital nacional de radar (casi único en su tipo a nivel internacional)
- Misión SAOCOM
 - Origen: Argentina
 - Lanzamiento: SAO 1A 2018, SAO 1B 2020
 - Operativos: si
 - Banda: L; polarización: HH VV HV y VH
 - Resolución espacial: variable según modo
 - Ancho de barrido: variable según modo
 - Resolución temporal: variable según modo
 - Resolución radiométrica: 16bits
 - Aplicaciones principales: detección de barcos, derrames de hidrocarburo, geología, emergencias, forestal, hielo, interferometría, otras
 - Más información:
<https://www.argentina.gob.ar/ciencia/conae/misiones-espaciales/saocom>;
<https://www.argentina.gob.ar/ciencia/conae/productos-saocom>

Áreas de aplicación de las imágenes satelitales

Los datos e información satelital que fuimos describiendo en este capítulo y que recorrerán a lo largo de la obra, presentan múltiples aplicaciones en lo referido a las ciencias naturales y afines. Sería imposible no olvidar alguna, pero en el siguiente listado hallaran aquellas más difundidas.

Si hablamos de medioambiente encontraremos aplicaciones relacionadas al tipo y uso de cobertura del suelo; a bosques; hielo/glaciares; calidad de aguas continentales, costeras y marinas; aplicaciones oceanográficas, modelado del terreno, estudios geológicos, conservación y preservación, biodiversidad, estudios de nichos, estudios atmosféricos, análisis de tendencias (por ej. para cambio climático), emergencias naturales (inundación, sequías, incendios, erupciones volcánicas, derrames de hidrocarburos, etc.).

Disciplinas como antropología, arqueología y paleontología cada vez más se van involucrando con estas herramientas, debido, especialmente, a la mejora en la resolución espacial de los sensores y técnicas de análisis.

En cuanto a recursos naturales, la aplicación de imágenes satelitales a la actividad agropecuaria, manejo de plagas, actividad forestal, pesca y acuicultura, minería, de petróleo y gas o energías renovables resulta ya imprescindible para la planificación, exploración, manejo y monitoreo de estos.

Para temas de planificación urbana y de obras infraestructura, ordenamiento territorial, catastro rural y urbano, equidad fiscal, actualización cartográfica, y salud; sobre todo en manos de organismos de gestión a nivel local, provincial y nacional, los datos satelitales son verdaderos aliados.

Referencias

- Chuvieco, E. (2002). *Teledetección Ambiental*. España: Ariel. ISBN84-344-8047-6.
- Lillesand, T. y Kiefer, R. (2000). *Remote Sensing and Image Interpretation*. New York: John Wiley y Sons. ISBN 0-471-25515-7.
- Marchionni, D. y Francois, C. (2014). Radar remote sensing as a source of structural and lithological information. Radarsat-1 SAR spatial image analysis. *Geoacta On-line* vol39 no.1. Disponible en línea: <https://revistas.unlp.edu.ar/geoacta/article/view/13496/12394>. Acceso: abril 2025.
- Olaya, V. (2017). *Introducción a los Sistemas de Información Geográfica*. CABA: IGN Edición para FOSSG+SOTM Argentina.

ANEXO 1

Fundamentos de LiDAR

Daniel Del Cogliano y Mariana Mora

Generalidades

Los escáneres láser terrestres y aerotransportados capturan y registran la información geométrica y a veces textural de sitios y superficies visibles. Estos sistemas son por su naturaleza de no-contacto y producen una representación digital 3D de una superficie en un dado campo de visión, con una determinada medida de incertidumbre (Vosselman y Maas, 2010, p.1).

LiDAR es una tecnología que permite capturar cualquier elemento en 3D de manera discreta, pero con una alta resolución. Corresponde a un acrónimo de la denominación en inglés “*Light Detection And Ranging*”, es decir, distancia a partir de la detección de la luz.

Si bien pueden realizarse relevamientos tanto terrestres (estáticos o en movimiento) como aéreos, a grandes rasgos su principio de funcionamiento es la emisión de un pulso láser hacia el objeto que se desea medir. Al impactar el haz en el blanco, el mismo es reflejado y parte de la energía regresa al sensor, quien lo registra. Esto implica que es un sensor activo y permite hacer relevamientos tanto de día como de noche.

Aplicando algún principio de medición como son los de tiempo de vuelo o fase, se obtiene la distancia entre el sensor y el objeto alcanzado, junto con el registro de la dirección de la misma a partir de ángulos horizontales y verticales. Con esta información, es posible calcular las coordenadas del mismo en un sistema local, o georreferenciado si se contara con puntos de apoyo adecuados.

En el principio de medición de tiempo de vuelo, la distancia que hay entre el instrumento de medición y el objeto, se determina a partir de medir de manera muy precisa el tiempo que demora un pulso corto de radiación láser en viajar hasta el objeto y volver nuevamente al equipo. Luego, el cálculo de la distancia se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$d = \frac{v \cdot t}{2}$$

Donde el observable es el tiempo de vuelo t y v es la velocidad de propagación de la luz láser, que se considera conocida.

En cambio, en el método de diferencia de fase la distancia es determinada a partir de la diferencia de fase que existe entre la señal emitida y la reflejada. Por lo tanto, se trata de una determinación indirecta del tiempo. De manera simplificada, puede explicarse a partir de la siguiente expresión:

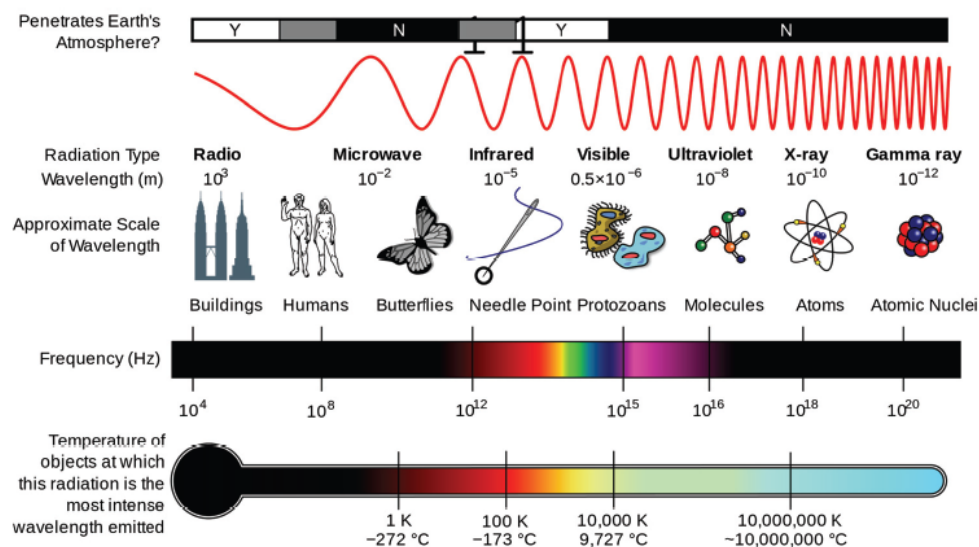
$$d = \frac{\lambda}{4 \cdot \pi} \cdot \Delta\varphi$$

Donde $\Delta\varphi$ es la diferencia de fase y λ la longitud de onda, la cual es conocida por generarse internamente en el instrumento.

En cuanto a las longitudes de onda utilizadas, los fabricantes eligen aquellas en donde la absorción en la atmósfera es mínima. El rango del espectro (Figura 1) que se utiliza abarca desde el ultravioleta (15 nm) al infrarrojo cercano (2500 nm). Por este motivo, vale la pena aclarar que a diferencia de la tecnología RADAR (*Radio Detection And Range*), el pulso LiDAR es dispersado por nubes, lluvia o niebla.

Además de obtener el registro geométrico del objeto escaneado, es posible conseguir información radiométrica (intensidad de luz, por ejemplo) del mismo a partir de analizar los cambios producidos en las propiedades de la luz reflejada.

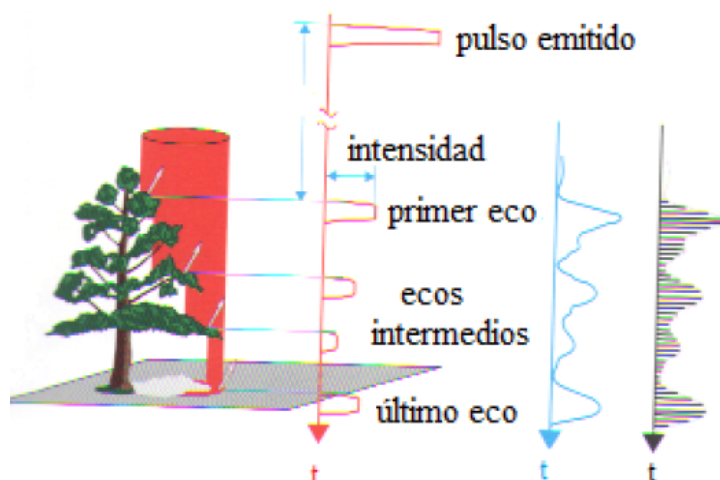
Figura 1



Nota. El espectro electromagnético y sus longitudes de onda comparado con el tamaño de objetos.

Los sensores que funcionan a partir de tiempo de vuelo, a su vez, registran varios retornos de un mismo pulso, ya que a medida que el haz se aleja del escáner genera una huella de iluminación cada vez mayor. Durante el recorrido del pulso láser pueden ocurrir varias reflexiones sobre diferentes objetos, cada una de las cuales se corresponde con un “eco”. De esta manera, se produce un primer eco donde el haz impacta primero, y si no es cubierto completamente, seguirá su recorrido hasta toparse con otra superficie. Esto permite discriminar diferentes superficies, como puede ser vegetación de edificaciones o suelo desnudo (Figura 2).

Figura 2



Nota. Pulso emitido y múltiples ecos. Digitalización de la onda recibida.

Otra de las principales características del LiDAR es la alta velocidad de adquisición que posee. Hoy en día, existen equipos que trabajan con una frecuencia 500 KHz, logrando una muy alta resolución. Como resultado, se obtiene una densa nube de puntos en verdadera magnitud a partir de la cual se pueden realizar, por ejemplo, modelos digitales de terreno y/o superficie, cálculos métricos, modelado de entidades, cortes y perfiles.

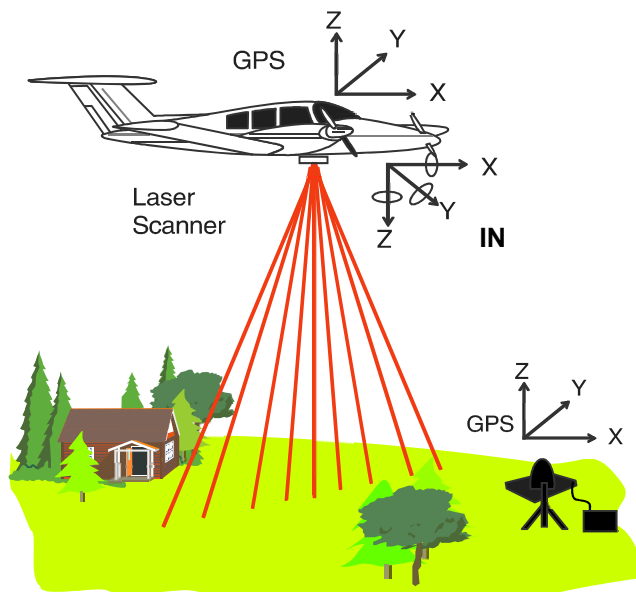
Componentes de un Escáner Láser

Un sistema LiDAR en su aspecto más general, comprende el sensor propiamente dicho, la plataforma sobre la que el mismo está montado y un equipo de georreferenciación directa, que integrados permiten la obtención de una nube de puntos con coordenadas 3D en un marco de referencia geocéntrico.

Componentes de un LiDAR aerotransportado

En este caso el equipo LiDAR se encuentra montado sobre una plataforma aérea móvil, como pueden ser un avión o helicóptero. Es un sistema más complejo que en el caso estático debido a los movimientos propios del vehículo, con lo cual precisa de más componentes para realizar el registro. Las principales son el escáner láser (generalmente de sistema de medición por tiempo de vuelo); una antena GNSS multi frecuencia ubicada sobre el vehículo; un sistema de medición inercial (o IMU por sus siglas en inglés "*Inertial Measurement Unit*") que registra información sobre la aceleración y tasas de rotación de la plataforma de manera que lo primero permite interpolar posiciones entre los registros GNSS de la trayectoria y lo segundo para determinar la orientación; y una unidad de control y registro, la cual no sólo almacena la información, sino que es la responsable de su sincronización, teniendo en cuenta todas las componentes anteriormente mencionadas (Figura 3).

Figura 3



Nota. Geometría de adquisición de LiDAR aerotransportado.

Componentes de un LiDAR terrestre

Su principal característica, que la diferencia de los escáneres montados en plataformas en movimiento es que durante la toma de datos mantiene una posición fija. Por esta falta de movimiento, no necesita ir equipada con un sistema de posicionamiento y orientación GNSS/IMU.

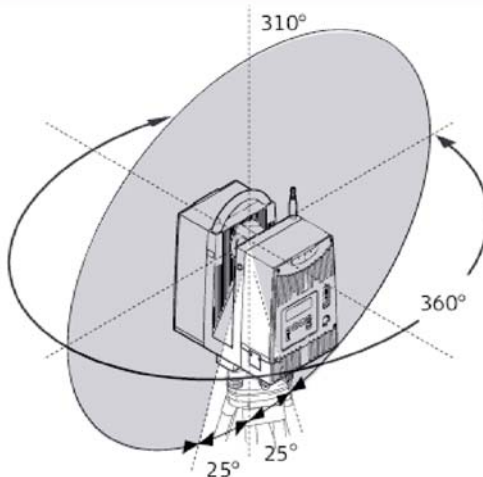
Los escáneres láser topográficos están preparados para abordar estacionamientos rápidos. Su construcción se asemeja a la de una estación total topográfica, donde se combina en una única pieza el escáner, el panel de control, el almacenamiento interno, la batería y, en algunos casos, la cámara digital. Los compensadores especiales de doble eje también están integrados de modo que nivelan automáticamente el escáner. Algunos escáneres llevan acoples para receptores GNSS y/o compensadores INS para realizar un posicionamiento y una orientación directa del escáner en el espacio. Además, algunos escáneres integran cámaras digitales y otros proporcionan una montura especial para ellas, dando la posibilidad de añadir información color de alta resolución a las nubes de puntos (Lerma y Biosca, 2008, p. 38).

La mayoría de los sensores LiDAR terrestres se basan en el método de Diferencia de fase. Sin embargo, existen otros tipos de escáneres terrestres, que se basan en otros principios de medición: triangulación e interferometría. Este tipo de escáneres se utilizan para medir distancias muy cortas (de unos pocos metros) con altas precisiones (fracciones de milímetros). Tienen aplicaciones en el ámbito industrial (para su producción), en el ámbito patrimonial (documentación o conservación), en metrología, en investigación médica y en el registro de objetos de interés para el personal de museo y arqueólogos.

A diferencia de los escáneres móviles, los estáticos, para obtener un campo de vista 3D necesitan generar de alguna forma dos direcciones de escaneo (Figura 4), ya que, al estar fijos, con un solo mecanismo de desviación del láser se obtendrían mediciones en 2D. Generalmente

se soluciona a través de la utilización de un sólo mecanismo de desviación, usualmente en la dirección vertical; y la segunda dirección se obtiene a partir de una rotación del instrumento alrededor de uno de los ejes. Por otra parte, para lograr una cobertura adecuada de los objetos relevados, en general es necesario disponer el escáner en distintas posiciones. Finalmente, las mediciones realizadas desde todas las estaciones fijas se componen en una nube de puntos 3D integrada.

Figura 4



Nota. Ejemplo del campo de visión de un escáner láser terrestre fijo sobre un trípode.

Productos y aplicaciones

Los productos generados con esta tecnología y sus aplicaciones varían en función de si fueron obtenidos con LiDAR aerotransportado o terrestre, ya que brindan puntos de observación diversos.

En el primer caso, al proporcionar una vista aérea de la superficie terrestre, su principal producto son los modelos digitales de terreno (MDT) que son aquellos que se encuentran compuestos únicamente por puntos pertenecientes al suelo “desnudo” (Figura 6). Son utilizados para el cálculo de perfiles sobre el terreno, de movimientos de tierra o para la generación de mapas de representación del relieve, como mapas de curvas de nivel, de tintas hipsométricas, de sombras, de pendientes o de orientaciones.

A su vez, pueden obtenerse modelos digitales de superficies (MDS), en los cuales además de incluir los puntos pertenecientes al suelo “desnudo”, se incluyen elementos estáticos sobre el suelo como edificios o vegetación (Figura 5). Se destinan a cualquier análisis que precise los objetos estáticos sobre el terreno. Es el producto más demandado en la rectificación de imágenes para obtener ortofotografías.

En cualquiera de los dos casos, para su creación, previamente se deberá realizar sobre la nube de puntos originales el proceso de filtrado y de clasificación. De esta forma, se podrá

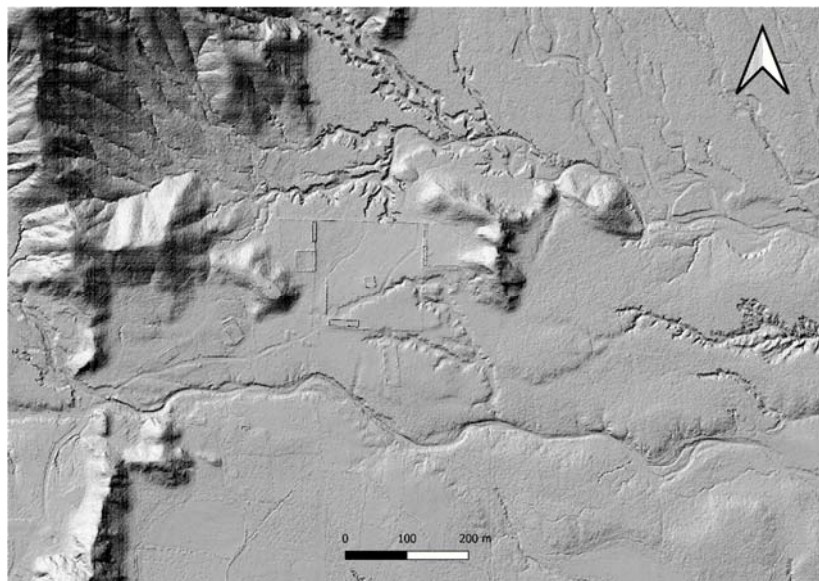
determinar de qué objeto proviene cada punto y a partir de tener esa información, seleccionar los puntos de interés y eliminar los restantes.

Figura 5



Nota. Modelo digital de superficies.

Figura 6



Nota. Modelo digital de terreno de la misma área. Notar cómo se evidencia la topografía y surgen las estructuras que estaban ocultas por la vegetación.

En el segundo caso, tratándose de LiDAR terrestre el producto principal es un modelo tridimensional preciso de todo el objeto que se midió. Esto se obtiene a partir de realizar un cálculo sobre la densa nube de puntos de toda la superficie, que se consiguió gracias a la correlación de las diferentes mediciones realizadas desde distintos puntos de vista. Una vez generado el modelo, es posible extraer información derivada; por ejemplo, secciones a partir de cortes de dirección arbitraria, cálculo de volúmenes, entre otras.

Esta tecnología es aplicada en múltiples ámbitos como son la topografía (Shan y Toth, 2009), la cartografía, la arqueología, la conservación patrimonial, la gestión ambiental, el catastro, la ingeniería civil y los peritajes forenses, entre otras (Dong y Chen, 2018).

Referencias

- Dong P. y Chen Q. (2018). *LiDAR Remote Sensing and Applications*. CRC Press.
- Shan J. y Toth C. K. (2009). *Topographic Laser Ranging and Scanning. Principles and Processing*. CRC Press.
- Lerma, J. L. y Biosca, J. M. (2008). *3DRiskMapping. Teoría y práctica del Escaneado Láser Terrestre*. Versión 5 ed. s.l.: Agencia Flamenca del programa europeo Leonardo Da Vinci.
- Vosselman, G. y Maas, H. (2010). *Airborne and Terrestrial LASER SCANNING*. UK: CRC Press.

CAPÍTULO 2

Introducción a los SIG

Natalia S. Morales, Anabel A. Lamaro y Betina I. Zucchino

Concepto

Existen múltiples definiciones para el concepto de Sistema de Información Geográfica (SIG), cuya evolución estuvo ligada al desarrollo de nuevas tecnologías y la creciente implementación en diversas disciplinas. Sin embargo, en general, todas las definiciones coinciden en que un SIG es una herramienta interdisciplinaria que permite trabajar con información georreferenciada mediante la implementación de distintas tecnologías (Buzai *et al.* 2013; Olaya 2014). En palabras de Burrough y McDonnell “un SIG puede definirse como un conjunto de herramientas destinadas a la captura, almacenamiento, tratamiento, análisis, consulta y visualización de datos espaciales extraídos del mundo real para unos fines concretos” (Burrough y McDonnell 1998: 11).

Un SIG es un sistema informático (*software* y *hardware*) que gestiona una base de datos con información espacial georreferenciada. A diferencia de los sistemas asistidos por computadora o CAD (por sus siglas en inglés, *computer-aided design*), un SIG relaciona información geométrica (puntos, líneas, áreas, etc.) con información temática procedente de una base de datos. El espacio geográfico puede representarse a través de las entidades que se encuentran distribuidas con localizaciones espaciales específicas, las cuales poseen atributos. A nivel computacional esta situación se resuelve mediante la creación de bases de datos gráficas (contienen formas o geometrías) y bases de datos alfanuméricas (contienen atributos medidos en estas formas). La finalidad amplia de un SIG, entonces, es la de combinar las bases de datos gráficas (cartografía digital con la localización de cada entidad) con las bases de datos alfanuméricas (atributos textuales y numéricos medidos en cada unidad espacial), para realizar un tratamiento espacial de los datos a fin de obtener información significativa y poder representarlos dentro de un sistema de coordenadas (Buzai *et al.* 2013).

Historia

Los SIG son una herramienta tecnológica y una síntesis conceptual producto de varias décadas de desarrollo teórico. Es por este motivo que es posible definir períodos o etapas que marcaron el desarrollo histórico y el avance de los SIG (Foresman, 1998). La primera etapa del desarrollo de los SIG se extiende desde finales de la década de 1950 hasta comienzos de la

década de 1970. En este período, se destacó el *software* canadiense CGIS (*Canadian Geographical Information System*) y el desarrollo de importantes avances técnicos en el campo de la cartografía automática (Foresman, 1998; Olaya, 2014).

La segunda etapa está caracterizada por los avances técnicos experimentados por los SIG y el desarrollo de nuevo *software*. Durante este período, fue muy importante el papel desempeñado por los organismos gubernamentales en el apoyo a la investigación y gestión de los recursos naturales, promoviendo el desarrollo de la tecnología de los SIG (Burrough y McDonnell 1998) y de las estructuras de las bases de datos, su almacenamiento y el desarrollo de nuevas funcionalidades de los sistemas en la gestión de la información (Foresman, 1998). Para este momento se produjo la convergencia de dos factores principales: la necesidad creciente de información geográfica acompañada por una gestión y uso óptimo de la misma, y la aparición de las primeras computadoras (Olaya, 2014).

La tercera etapa del desarrollo de los SIG fue la de implantación comercial (Foresman, 1998). A partir de mediados de la década de 1980, se destacó el uso de estas herramientas en computadoras personales con nuevas versiones de *software* que comenzaron a poblar masivamente el ámbito académico-universitario (Buzai, 2014). En este momento, aparecieron múltiples empresas de desarrollo y distribución de los SIG comerciales (Foresman, 1998). En el ámbito del *software*, la evolución general de los ordenadores (*hardware*) afectó a todos los elementos que se ejecutan sobre ellos. La empresa ERDAS en 1978 fue pionera en el desarrollo de un *software* de procesamiento de imágenes para uso personal. Para esta misma época, en 1981, ESRI lanzó el programa ArcInfo, el primer SIG de ordenadores personales y, más tarde, el ArcView, que en 1991 se popularizó como SIG de escritorio.

La cuarta etapa, conocida como la fase del usuario, es el momento en que los SIG generaron gran competencia, surgiendo numerosas empresas dedicadas a su promoción y posibilitando la ampliación del campo de aplicación. Finalmente, la quinta y última etapa surgió a finales del siglo XX y puede definirse como la fase de la relación global a través de las redes de comunicación (Foresman, 1998). En esta etapa, internet ocupó un rol decisivo en la redefinición de desarrollo de nuevas tecnologías con la aparición del *Cloud Computing*, reconfigurando el desarrollo del *software* y de los sistemas operativos en “conectividad con la nube”. En el año 2005 surgió Google Maps, que continúa creciendo y promueve la aparición de numerosas aplicaciones similares (Olaya, 2014).

En Argentina, el interés por la información geográfica surgió como respuesta a la necesidad del reconocimiento y ocupación del territorio a partir de los avances militares contra las poblaciones indígenas en la llamada “Conquista del Desierto” y de la creación de las fronteras. De esta manera, en el año 1879, el general Julio Argentino Roca, por entonces ministro de Guerra y Marina, creó la Oficina Topográfica Militar (OTM), la cual, tras un proceso de reorganización adoptó en 1904 la denominación de Instituto Geográfico Militar (IGM). Si bien a partir de 1918 el Estado Nacional le asignó al IGM la responsabilidad de elaborar la cartografía oficial del territorio y de realizar los trabajos geodésicos tanto para la actividad civil como militar, fue recién en 1941, con la promulgación de la Ley de la Carta (Ley N° 12.696), cuando se dio inicio a la realización

sistemática y regular de trabajos geodésicos fundamentales y levantamientos topográficos con apoyo uniforme y homogéneo de todo el territorio nacional (IGN, 2009).

El uso de la aerofotogrametría en levantamientos cartográficos se remonta a fines de la segunda década del siglo XIX, cuyo registro más antiguo es un trabajo en el área de Morón (provincia de Buenos Aires), con la toma de fotografías verticales a escala 1:25.000 (Gebhard, 1999). En este sentido, la Aviación Naval junto con el IGM son las instituciones oficiales de mayor antigüedad en trabajos cartográficos y aerofotogramétricos. En 1960, en el marco de la Fuerza Aérea Argentina, fue creada la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales (CNIE), que se mantuvo operativa hasta el año 1991, cuando fue reemplazada por la actual Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE), ya en el ámbito civil. La CONAE es el organismo competente para entender, diseñar, ejecutar, controlar, gestionar y administrar proyectos, actividades y emprendimientos en materia espacial en todo el ámbito de la República Argentina. Para cumplir con la ejecución del Plan Nacional Espacial de Argentina, la CONAE cuenta con información espacial generada por satélites construidos y diseñados en la Argentina, de los cuales se destaca la serie Satélites de Aplicaciones Científicas (SAC) (Zucchino *et al.* 2020) y la misión SAOCOM. Además, el Centro Espacial Teófilo Tabanera, ubicado en la provincia de Córdoba, y la Estación Terrena de Tierra del Fuego, reciben los datos satelitales propios de la Comisión y aquellos provenientes de otras agencias espaciales resultado de la cooperación internacional.

La evolución de las Tecnologías de Información Geográfica (TIG) ha promovido una mayor precisión en la recolección de los datos, facilitando la captura y aceleración de los procesos de ajuste y tratamiento (Reyes y Arce 2003). En la última década, numerosos organismos nacionales e internacionales pusieron a disposición la información geoespacial producida, lo que generó un crecimiento exponencial de las fuentes de información disponibles para los usuarios en un corto período de tiempo. En nuestro país, los antecedentes de la Infraestructura de Datos Espaciales comienzan en 1999, con el Sistema de Información Geográfica de la República Argentina (SIGRA), que comprendió un grupo interinstitucional de productores de información geográfica de todo el país, que se reunieron con el fin de conformar una base única de datos geográficos. Esta iniciativa fue impulsada por el IGM y llegó a convocar un centenar de productores de información. Posteriormente, en 2004, un grupo de técnicos comenzó a reunirse informalmente para intercambiar ideas, criterios y conocimientos con el fin de desarrollar una estructura para integrar y compartir información, y generar una base tecnológica común, resultando en el PROSIGA (Zucchino *et al.* 2020; para más detalles veáse el Capítulo 3).

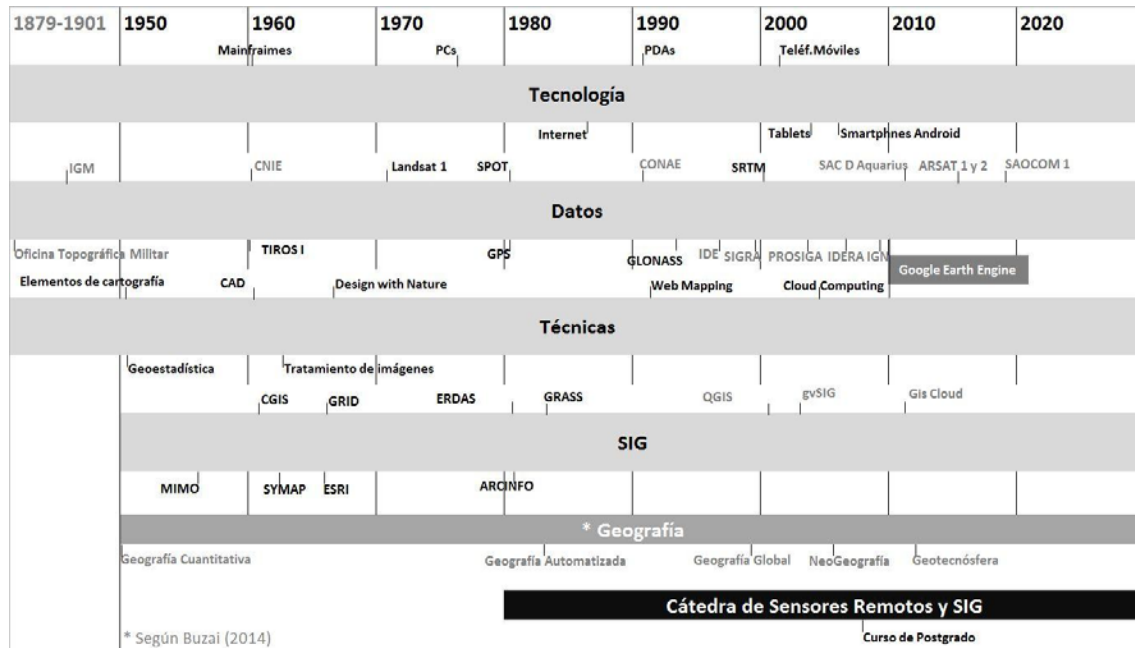
En el año 2009, el IGM pasó del ámbito militar al civil, cambiando su nombre a Instituto Geográfico Nacional (IGN). Este traspaso no sólo implicó una nueva denominación, sino que delimitó su nuevo perfil institucional, con el objetivo de posibilitar un sistema de defensa moderno, eficiente y eficaz que garantice la soberanía argentina, la cooperación con la región sudamericana y la integración de las áreas científicas y técnicas de la Defensa Nacional (IGN, 2009).

En la Figura 2.1 se puede observar una línea de tiempo que representa los principales momentos de la historia previamente relatada, modificado a partir de Olaya, 2014.

Figura 2.1

Línea de tiempo de los SIG integrada a la historia de los datos y tecnologías geoespaciales.

Tomado de Zucchini et al. 2020



Componentes y funciones de un SIG

Más allá del *software*, asumimos que un SIG se encuentra compuesto por cinco elementos principales (Figura 2.2):

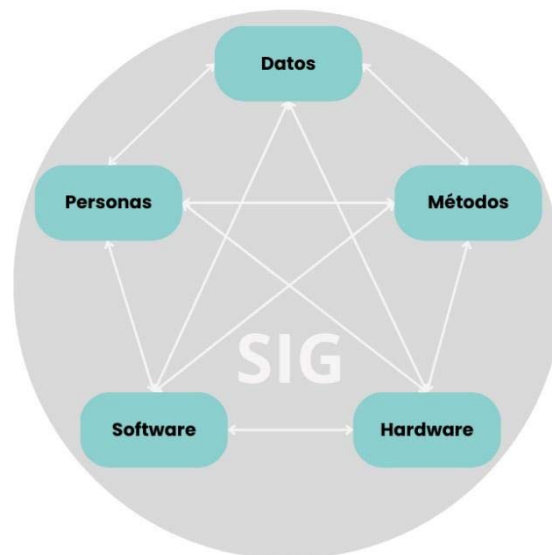
- **Datos geográficos:** son la materia prima necesaria para el trabajo y el análisis en un SIG.
- **Métodos:** son el conjunto de formulaciones y metodologías a aplicar sobre los datos.
- **Software:** se refiere a los componentes intangibles conformados por los programas de aplicación que se utilizan para el tratamiento de datos y la búsqueda de resultados (Buzai *et al.* 2013). Se requiere una aplicación informática para analizar los datos e implementar los métodos específicos.
- **Hardware:** hace referencia a los componentes materiales o tangibles (Buzai *et al.* 2013), es decir, es el equipo informático necesario para ejecutar el *software*.
- **Personas:** este componente incluye por un lado a quienes desarrollan los *software*, aplicaciones y algoritmos, y por otro, a los usuarios de los SIG que transforman los datos geográficos en información útil para múltiples temáticas y disciplinas.

La información geográfica reside en los datos que utilizamos en un SIG, por lo que resulta de vital importancia conocer sus características fundamentales, es decir, su forma y sus propiedades. De ellas dependerán los procesos que podremos (o no) realizar. Dos aspectos resultan claves para la correcta utilización de un SIG: a) saber integrar datos de distinta procedencia (Figura 2.3) (para lo cual es vital entender cómo esta afecta a las propias características de dichos datos) y b) conocer la calidad de los datos a manejar (Olaya, 2014).

Las principales funciones de un SIG se pueden resumir como: incorporación y almacenamiento de datos geográficos, creación y gestión de la base de datos georreferenciada, análisis espacial de los datos y representación/visualización de los resultados e información.

Figura 2.2

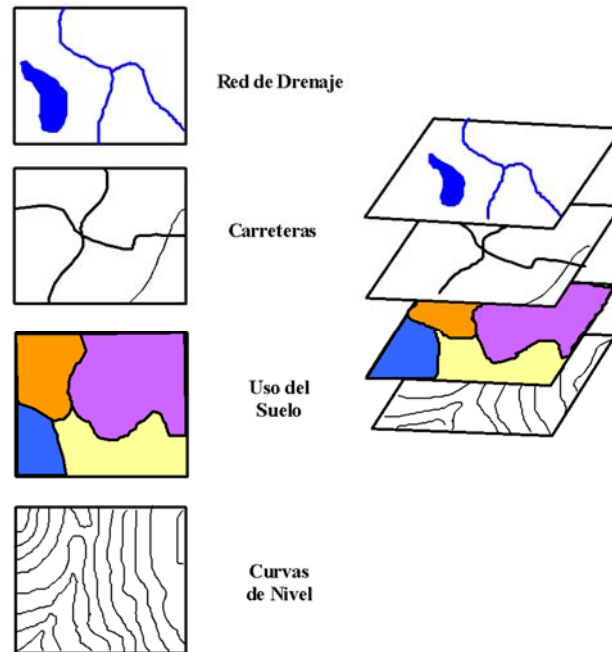
Componentes de un SIG



Nota. Fuente: Olaya, 2014

Figura 2.3

Integración de las capas de un SIG provenientes de distintas fuentes. Fuente: Elaboración propia



Dato geográfico

El modelo de datos representa un conjunto de pautas para convertir el mundo real en objetos espaciales (entidades), representados digital y lógicamente, que consisten en atributos y geometría. Los atributos se manejan con una estructura temática o semántica (descriptores temáticos o semánticos) y la geometría con una estructura geométrica-topológica (descriptores geométricos y topológicos) (Murai, 1999). Acorde a este contexto podemos resumir que todo **dato geográfico** presenta dos componentes relacionados:

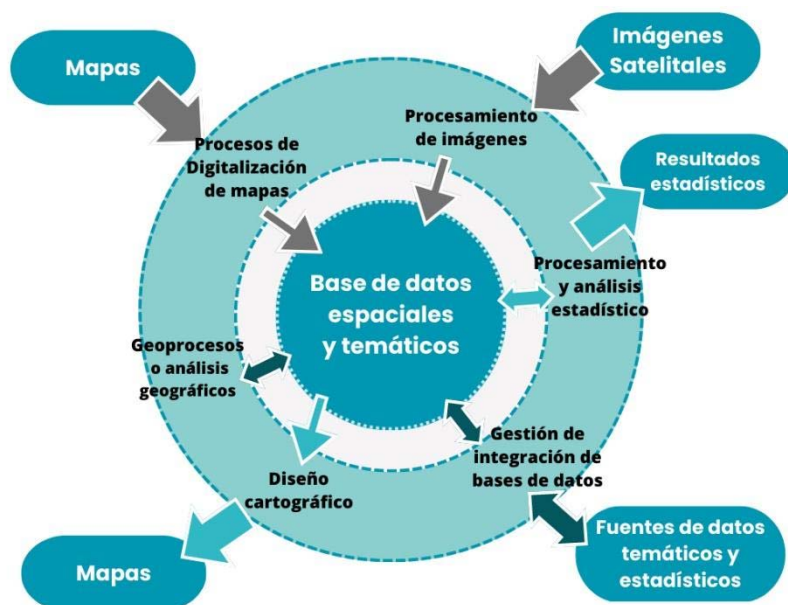
- Componente *temático*: Un objeto o fenómeno descrito por sus atributos. Por ej. Un bosque se describe por su superficie, las especies presentes, el número de estratos de la vegetación, etc.
- Componente *espacial* compuesto por:
 - a) Su *geometría*: Su ubicación y forma sobre la superficie terrestre, descrita por sus coordenadas. Por ej. Coordenadas geográficas (latitud/longitud) o planas (m), punto, línea y/o polígono.
 - b) Su *topología*: se refiere a las relaciones entre los objetos (inclusión, adyacencia, proximidad, etc.).

Los atributos temáticos, la geometría y la topología (atributos espaciales) de los datos geoespaciales pueden utilizarse para modelar el mundo real en una variedad de aplicaciones. Todos los datos geográficos contienen algún tipo de error debido a deficiencias en su generación original, errores conceptuales, errores producto del procesamiento o bien errores derivados de los procesos de digitalización. Por este motivo, siempre resulta relevante conocer la calidad de los datos para poder detectar la fuente del error y poder gestionarlo.

En la Figura 2.4 se muestra la relación entre el dato geográfico alojado en una base de datos georreferenciada con sus componentes temáticos y espaciales, y las partes de un SIG referidas principalmente a los tipos de fuentes, de salidas y de procesos de análisis y representación que en él se integran.

Figura 2.4

Relación del dato geográfico con las fuentes, salidas y procesos de un SIG



Nota. Relación del dato geográfico con las fuentes, salidas y procesos de un SIG. Fuente: Elaboración propia sobre la base de Eastman Ronald, 2012.

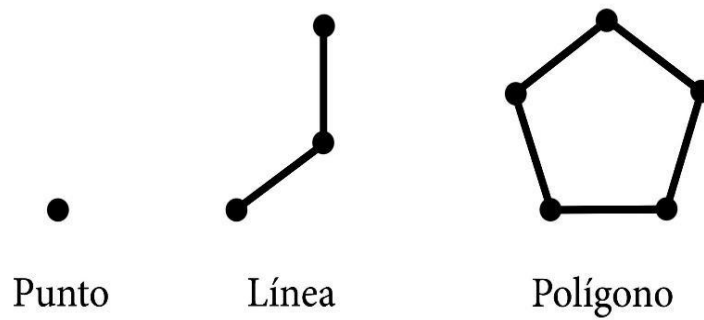
Modelos de representación espacial

Los principales modelos de representación espacial de datos del mundo que nos rodea son el *modelo vectorial* y el *modelo ráster*. El primero es un modelo matemático de representación de entidades geométricas (primitivas) de tres tipos: puntos, líneas y polígonos (Figura 2.5), mientras que el segundo es un modelo matemático de representación matricial (Figura 2.6), constituyendo las imágenes satelitales uno de los principales ejemplos, como fue mencionado en el Capítulo 1. La decisión de qué modelo usar al momento de planificar un trabajo para registrar una variable o conjunto de ellas dependerá del objetivo de estudio y del tipo de fenómeno que se pretende modelizar (Olaya, 2014). Un adecuado conocimiento de las

características de cada modelo será de utilidad al momento de la elección. En la Tabla 2.1 se resumen las principales características de ambos modelos, donde pueden apreciarse sus ventajas y desventajas.

Figura 2.5

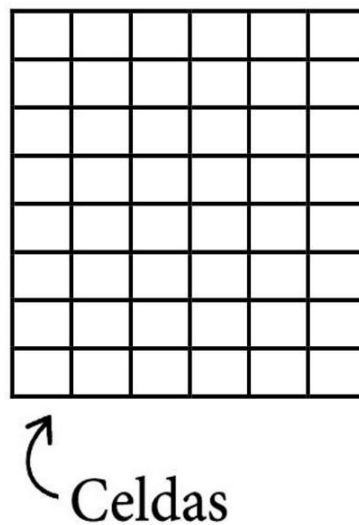
Primitivas geométricas de representación espacial en el modelo vectorial



Fuente: Elaboración Propia

Figura 2.6

Estructura de la matriz del modelo ráster



Fuente: Elaboración propia

Inicialmente, existían distintas aplicaciones que permitían almacenar y procesar información geográfica en formato vectorial o ráster, estando especializadas en uno de los dos modelos, con escasa o nula capacidad de manejo del otro. Sin embargo, desde hace al menos un par de décadas, la situación comenzó paulatinamente a modificarse y en la actualidad prácticamente todos los SIG permiten combinar ambos modelos dentro de un mismo entorno informático y

poseen herramientas que permiten la conversión de un formato a otro (por ej. vectorización, rasterización).

Tabla 2.1

Comparación de las principales características de los modelos ráster y vectorial. Fuente: Adaptado de Murai 1999.

MODELO RÁSTER	MODELO VECTORIAL
Focalizado en el <i>qué</i> y <i>cómo</i>	Prioridad en el <i>dónde</i>
Estructura simple de datos	Estructura compleja
Precisión limitada por el tamaño de celda (restricción a ángulos rectos)	Mayor precisión en la representación de entidades geográficas (v.g. líneas pequeñas, puntos)
Mayor costo de almacenamiento (gran volumen de datos)	Menor costo de almacenamiento (menor volumen de datos)
Mejor representación de variables continuas (v.g. altitud, temperatura)	Mejor representación de variables discretas y cualitativas (v.g. caminos, edificios)
Implementación sencilla de algoritmos de análisis (superposición de capas)	Implementación compleja de algoritmos de análisis (dificultades en la superposición)
Conversión lenta	Conversión rápida
Facilidad de captura de datos	Captura de datos con alto costo
Dificultades en el análisis de redes	Dificultades en la actualización
Sencillez en procesos de comparación entre mapas basados en la misma cuadrícula	Dificultad para la comparación entre mapas
Poca precisión en cálculos de superficie y distancia	Mayor precisión en la medición
Permite tener los datos estandarizados y con metadatos completos	Debilidad en la normalización de producción de datos (ausencia de metadatos)

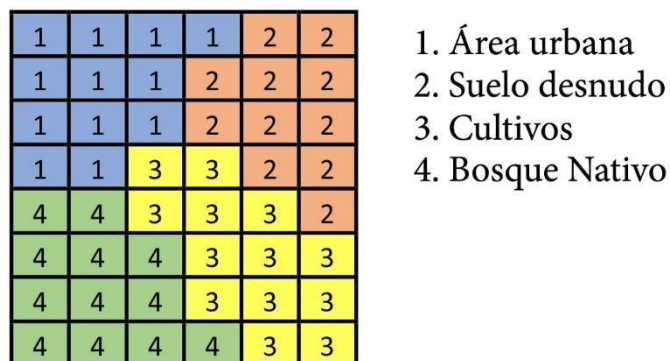
Modelo ráster

El modelo ráster divide el espacio geográfico mediante una matriz cuadrículada en donde cada unidad mínima, denominada celda, contiene información. Cada matriz puede contener información sobre distintas variables (temperatura, humedad del suelo, tipo de cobertura, bandas, etc.), pero cada celda de una matriz específica tendrá un único valor para dicha variable (Figura 2.7) (Buzai *et al.* 2013; Olaya, 2014). Cada celda o *píxel* (picture element) tiene su localización y es la unidad mínima de representación espacial (Buzai *et al.* 2013). La palabra *píxel* proviene de la fusión de las palabras inglesas '*picture*' (imagen) y '*element*' (elemento). El análisis de los datos ráster se basa en el análisis de los valores de cada celda, debido a que las

entidades geográficas asociadas a esos valores (por ej. las celdas) presentan una regularidad estructural propia del formato, de la cual no se puede derivar nueva información. En este sentido, el análisis está focalizado en los valores y no en las formas geométricas que esos valores representan.

Figura 2.7

Celdas de una malla ráster con valores y la información asociada a los mismos



Fuente: Elaboración propia

La principal característica del modelo ráster es su sistematicidad, es decir, la división del espacio en unidades mínimas se lleva a cabo de forma sistemática de acuerdo con algún patrón, existiendo una relación implícita entre las celdas, las cuales son contiguas entre sí, cubren todo el espacio y no se solapan. De esta manera, la posición de cada celda depende de la posición de las restantes y el orden de estas las relaciona entre sí (Olaya, 2014). La celda de la matriz puede adoptar tres tipos de figuras geométricas elementales: cuadrados, triángulos regulares o hexágonos. La más utilizada es la celda cuadrada y, en este caso, un parámetro fundamental es el tamaño del *píxel*. Cuánto más pequeño sea, más precisa será la representación digital de la imagen. La longitud de los lados del *píxel* en unidades del terreno está implícitamente relacionada con la escala de representación de los datos. A menor tamaño de *píxel*, mayor será la escala.

Los dos elementos necesarios para definir una capa ráster son: a) la localización geográfica exacta de alguna celda y la distancia entre las celdas (lo que permitirá conocer las coordenadas de las restantes celdas), y b) un conjunto de valores correspondientes a las celdas. Cada *píxel* queda localizado sobre la rejilla a través del par de coordenadas que se extraen al establecer el origen de coordenadas (0,0), generalmente en la esquina superior izquierda de la imagen. La razón de este origen se encuentra en la manera de trabajar de muchos equipos usados en la captura y tratamiento de datos ráster: scanner, sensores espaciales, impresoras, etc. El establecimiento del origen de coordenadas y la regularidad de la rejilla permiten recoger la topología de la imagen ráster. De esta manera, es posible conocer cuáles son los vecinos de una

celda de la rejilla. Además, cada capa ráster posee una orientación, que habitualmente es norte-sur, permitiendo conocer las coordenadas de todas las celdas (Olaya, 2014).

Un parámetro fundamental en toda capa ráster es la resolución espacial, es decir, el tamaño de celda o de *píxel*. Un tamaño de celda mayor implica una menor resolución espacial y viceversa. El tamaño de la celda permite calcular coordenadas, definir la estructura de la malla y calcular áreas. De esta manera, el tamaño de celda determina la precisión con la que se recoge una variable dentro de una capa ráster, definiendo implícitamente la escala de representación de los datos. Los factores que condicionan el tamaño de celda de una capa ráster son muchos, siendo los más importantes las características de los datos iniciales con los que se ha creado dicha capa o los medios particulares con que estos han sido recogidos, en el caso particular de las imágenes satelitales, por ejemplo, dependerá del sensor mediante el cual fueron adquiridas. Este modelo de datos se abordará con más detalle en el Capítulo 6.

Algunos ejemplos de datos en modelo ráster

Como ejemplos de información geográfica del modelo ráster se encuentran las imágenes satelitales y sus productos derivados (por ejemplo: temperatura superficial del mar, índice de vegetación, concentración de clorofila en agua, etc.) generados por las misiones satelitales de las agencias espaciales, tal como se menciona en el Capítulo 1. Otros ejemplos ráster son un mapa topográfico, una carta geológica escaneada, una capa interpolada a partir de una capa vectorial o un modelo digital de elevación (MDE).

Los formatos de archivos de datos en modelo ráster son numerosos y los más comunes y frecuentes son: geotif, jpg2000, ecw, hdf, grd, img, entre otros.

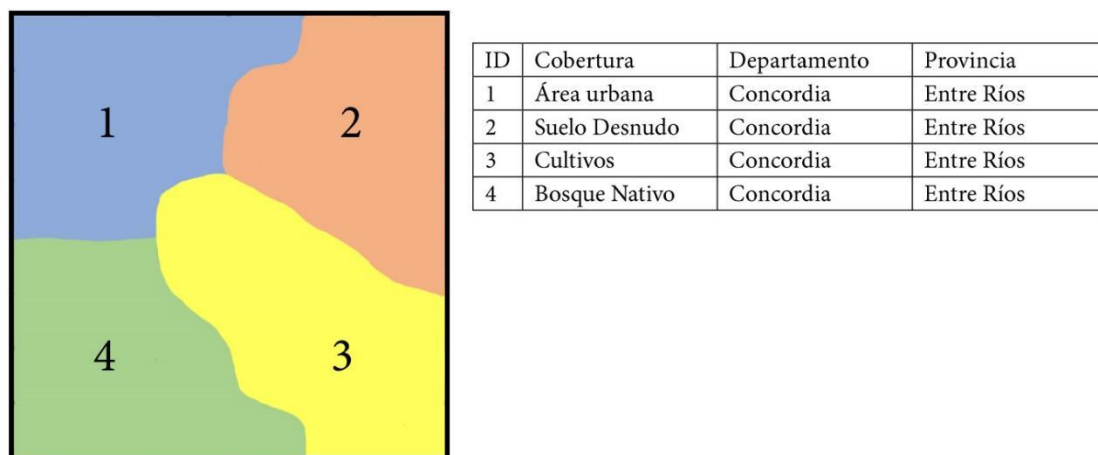
Modelo vectorial

El modelo vectorial organiza, en la gran mayoría de los casos, los datos geográficos en base de datos de tipo relacional (conjunto de tablas relacionadas mediante identificadores únicos [ID] de cada registro), utilizando elementos o primitivas geométricas como puntos, líneas y/o áreas discretas (polígonos), que corresponden a objetos discretos asociados a una tabla de atributos (Buzai *et al.* 2013). En el modelo vectorial, el componente espacial se recoge explícitamente a partir de un conjunto de puntos, el cual se relaciona con una serie de valores, que son los que definen las propiedades de la entidad. Estos valores son los atributos, que, a diferencia del modelo ráster, suelen ser múltiples (Figura 2.8). El componente temático, por lo tanto, se almacena en una base de datos que se encuentra enlazada a la componente espacial y permite la realización de distintas operaciones (para más detalles ver Capítulo 5) (Olaya, 2014). En este modelo los fenómenos espaciales se representan por las coordenadas que codifican el límite o perímetro que define al objeto, siendo posible representar vectorialmente a cualquier fenómeno geográfico espacial. La geometría de un objeto vectorial está formada por uno o más vértices interconectados. Un vértice describe una posición en el espacio utilizando un eje X, Y y,

opcionalmente, Z. Las geometrías que tienen vértices con un eje Z describen la altura o la profundidad en cada vértice, pero no ambas.

Figura 2.8

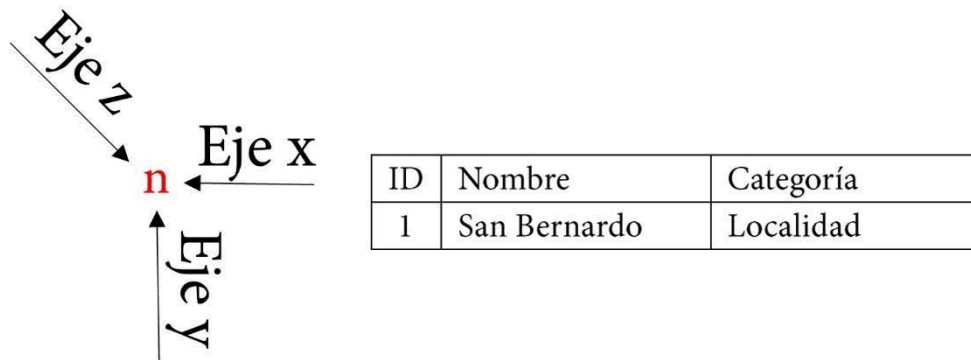
Objetos vectoriales con su correspondiente tabla de atributos



Fuente: Elaboración propia

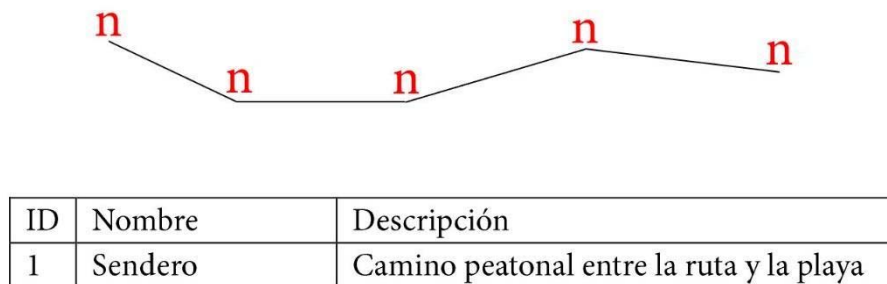
Los objetos espaciales se clasifican en objeto punto, objeto línea y objeto área y, geoméricamente, se representan respectivamente como punto, línea y área/polígono. La representación de cada elemento estará compuesta por uno o muchos pares de coordenadas, dependiendo de la geometría del objeto. Cuando la geometría consta de un solo vértice, se denomina objeto espacial de punto (Figura 2.9) y se representan mediante un solo par de coordenadas (X, Y) que definen su posición espacial. Cuando la geometría consta de dos o más vértices y el primer y último vértice no coinciden, se forma un objeto espacial de línea (Figura 2.10) y se representa mediante las coordenadas (X, Y) de todos y cada uno de los vértices que definen los tramos que componen la línea. Finalmente, cuando hay tres o más vértices, y el último vértice coincide con el primero, se forma un objeto espacial poligonal cerrado (Figura 2.11) y se codifica mediante las coordenadas (X, Y) de todos los vértices que componen el recinto cerrado. En este tipo de geometría, es necesario que existan al menos tres puntos distintos y que no se encuentren alineados, mientras que un cuarto (el último vértice) coincide con el primero, permitiendo cerrar el polígono. Una capa vectorial puede contener un único tipo de elemento o primitiva, por lo que podemos tener capas vectoriales de puntos, de líneas o de polígonos. Cada uno de estos objetos espaciales, más allá de su geometría, tendrá su tabla de atributos asociada. En la foto de la Figura 2.12, se pueden identificar los diferentes tipos de objetos en la forma en que un SIG los representaría.

Figura 2.9



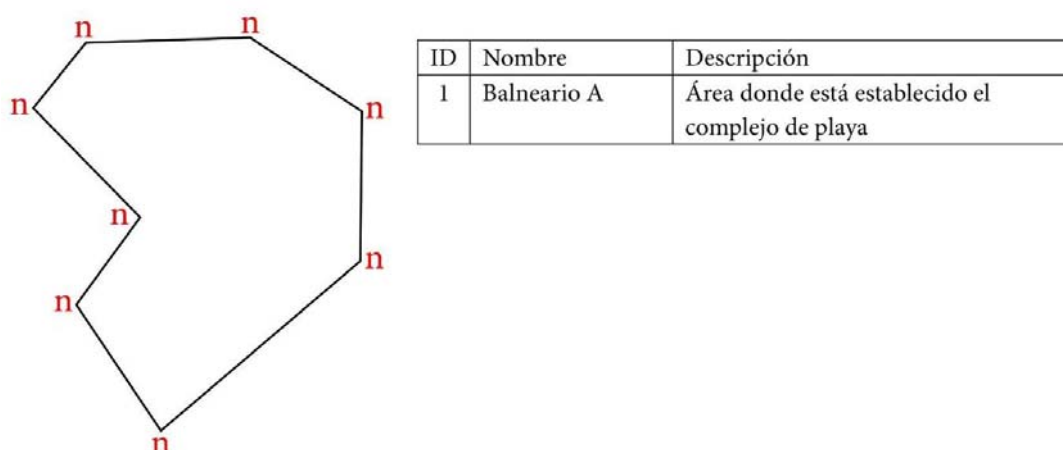
Nota. Geometría de un punto (n) (donde x, y, z indican la posición del objeto) y su correspondiente tabla de atributos asociada. Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.10



Nota. Geometría de una línea formada por cinco vértices (n) y su tabla de atributos. Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.11



Nota. Geometría de un polígono formado por ocho vértices (n) y su tabla de atributos. Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.12



Nota. Objetos espaciales del paisaje y su geometría representados en un SIG. La calle (en color negro) puede ser representada como línea, los árboles (en color amarillo) como puntos, y las manzanas (en color rojo) como polígonos. Fuente: Elaboración propia.

Un elemento fundamental en el modelo de representación vectorial es la topología, es decir, las relaciones entre los distintos elementos que componen una capa (o cobertura o “*layer*”). La topología de una capa contribuye a la calidad de los datos, debido a que mantiene la coherencia espacial de estos. Por lo tanto, para el análisis espacial en un SIG no es suficiente la geometría de un objeto (posición, forma y tamaño en un sistema de coordenadas), se necesita además la topología, que permite definir una estructura adicional:

- **Nodo:** es la intersección de dos o más líneas (arcos) o cadenas, o punto de comienzo y de fin de una cadena con número de nodo.
- **Cadena:** es una línea o cadena con número de cadena, número de nodo de inicio y fin, o vecinos.
- **Polígono:** un área con número de polígono, serie de cadenas que lo forman en el sentido de las agujas del reloj (se asigna el signo – en sentido contrario).

La información asociada a los objetos espaciales está integrada en una tabla de atributos, cuya organización es como se ve en las Figuras 2.9, 2.10, 2.11 y 2.12, la cual posee una doble entrada, donde las filas o registros son los objetos espaciales (punto, línea y/ o polígono), y las columnas (o campos) corresponden a los atributos de dichos objetos. Esta tabla debe ser completada de una manera coherente y normalizada, ya que a partir de dicha carga se podrá

optimizar el análisis espacial de los datos que condicionará los resultados y la información a obtener. Los tipos de columnas o campos se definen a priori, es decir sabiendo el tipo de variable que se quiere registrar, si esta es discreta o continua, si es ordinal, de intervalo o de escala, lo cual va a condicionar el tipo de campo (numérico entero o decimal, o de texto). En el Capítulo 5 se tratará con más detalle este modelo de datos.

Algunos ejemplos de datos en modelo vectorial

Como ejemplos de capas vectoriales de información geográfica se encuentran los catálogos de objetos geográficos (véase el Capítulo 3), una capa de uso de suelo vectorizada a partir de un análisis de clasificación de imágenes satelitales, una carta geológica digitalizada y vectorizada a partir del escaneo, una capa de puntos con sitios de muestreo relevados con un GPS, y diferentes tipos de mapas temáticos que mencionaremos en el Capítulo 4 de Cartografía.

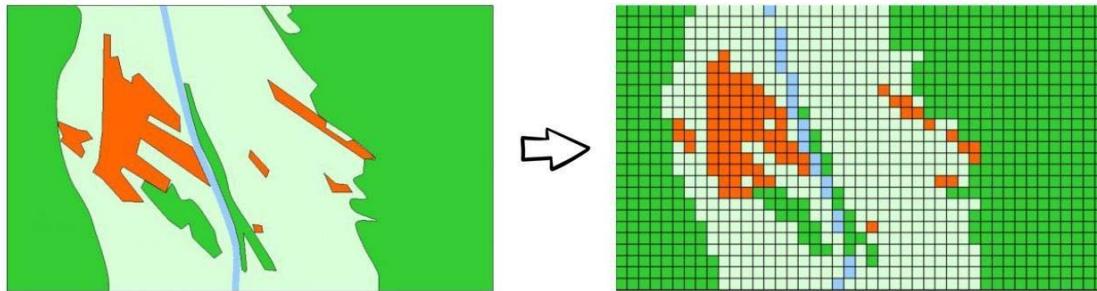
Entre los formatos de archivos de datos vectoriales más frecuentes se encuentran: shp (*shapefile*), kml/kmz, gpkg, mdb, geojson, entre otros. Cabe destacar que el formato *shapefile* es de múltiples archivos, y por lo menos tres son imprescindibles, el .shp, el .shx y el .dbf, todos con el mismo nombre y sin espacios ni acentos. La tabla de atributos está almacenada en el .dbf, la geometría el .shp y el índice que relaciona los objetos geográficos con sus atributos en el .shx.

Conversión de formatos: rasterización y vectorización

Como se mencionó previamente, los SIG permiten trabajar y combinar en un mismo proyecto y al mismo tiempo datos espaciales en formato ráster y vectorial. Sin embargo, muchas veces puede suceder que sea necesario utilizar la información en ambos formatos con el objetivo de realizar distintos análisis, o bien que la misma no se encuentre en el formato más adecuado para el tipo de análisis que deseamos realizar. Debido a ello, los entornos SIG poseen herramientas que permiten realizar conversiones, es decir, crear capas ráster a partir de capas vectoriales y capas vectoriales a partir de capas ráster. En el caso de la información disponible en formato vectorial, suele ser necesario su transformación a capas ráster dado que, como se mencionó previamente, permiten una mejor implementación de algoritmos y análisis geográficos. El proceso de generación de capas ráster se denomina rasterización y es un proceso en el cual el valor de los atributos de la capa vectorial es asignado a cada celda del ráster, definiendo el tamaño de *píxel* según la escala de la fuente vectorial y extensión de la capa de información (Figura 2.13). Si bien este tipo de operación es sencilla de realizar, debe utilizarse con cautela cuando se trabaja con capas de líneas o puntos de variables continuas. En estos casos, resulta útil la implementación de métodos de interpolación, que permiten rellenar el vacío de las celdas debido a la ausencia de información en la capa vectorial de base. Los métodos de interpolación permiten calcular los valores de las celdas vacías a partir de valores puntuales conocidos, en donde los puntos cercanos a cada celda son los que determinan el valor estimado de esta (Olaya, 2014). Existen muchos métodos de interpolación, los más utilizados en los SIG son *kriging*,

vecino más cercano, ponderación por distancia, ajuste de polinomios y curvas adaptativas, debido a que se encuentran más adaptados al manejo de información espacial. El método de interpolación a utilizar dependerá de los datos, sus características y los objetivos del trabajo que se desee realizar.

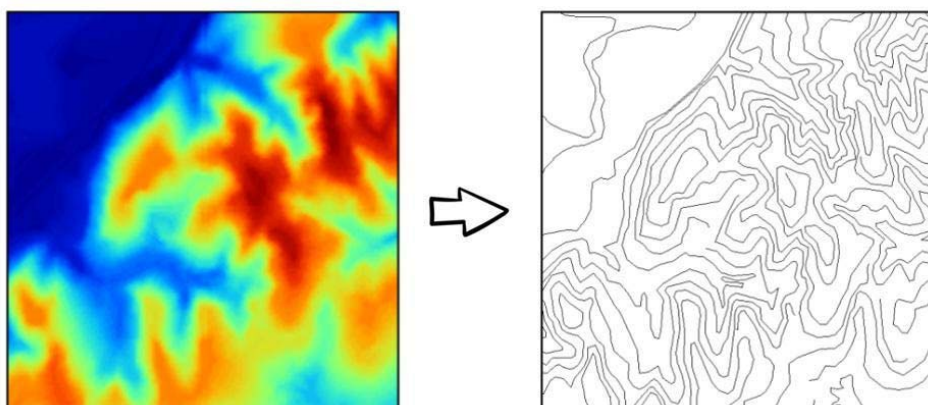
Figura 2.13



Nota. Rasterización de una capa vectorial. Fuente: Modificado de <https://www.cursosgis.com/rasterizar-capa-vectorial-con-qgis/>.

Por otra parte, la creación de capas vectoriales a partir de capas ráster suele ser necesaria para realizar múltiples análisis espaciales. Esta conversión puede realizarse sobre capas ráster de variables discretas generalmente, utilizándose diferentes algoritmos según lo requiera. Las capas vectoriales generadas a partir de capas ráster con variables discretas recogen las geometrías de la capa de origen, las cuales están definidas por la forma en que los valores de las clases se disponen en la malla de celdas (Figura 2.14) (Olaya, 2014). Estas geometrías pueden ser polígonos o líneas. Cuando se trata de variables continuas, las capas vectoriales generadas pueden ser cualquiera de los tres tipos básicos de geometrías mencionados previamente (por ej. puntos, líneas, polígonos). Para generar una capa de puntos se calculan las coordenadas de cada punto a partir de la capa ráster. Cuando se genera una capa de líneas se procede a generar una capa de isolíneas. Finalmente, cuando se trata de capas de polígonos, se seleccionan los puntos más importantes y se realiza una triangulación (Olaya, 2014).

Figura 2.14



Nota. Vectorización de una capa ráster. Fuente: Modificado de Olaya 2014.

Incorporación de información externa a un SIG

Una de las mayores utilidades que presentan los SIG es la posibilidad de incorporar y gestionar información de diverso origen, tales como mapas impresos, datos de campo obtenidos mediante receptores GNSS, planillas de cálculo, bases de datos, servicios web (por ej. WFS, WMS), entre otros. Independientemente de su origen, los datos espaciales pueden ser almacenados en archivos con formatos muy diversos. En este sentido, debido a la variabilidad tan amplia de las fuentes de datos, se las puede clasificar en fuentes de datos primarias, en aquellos casos en que provienen directamente de algún tipo de medida o del empleo directo de alguna instrumentación, y en fuentes de datos secundarias, cuando proceden del procesamiento de un dato ya existente.

Una de las formas más básicas de crear datos espaciales digitales es la digitalización de fuentes no digitales (por ej. mapas), proceso que puede realizarse de manera manual a través de herramientas incluidas en los SIG. En otras oportunidades, la información espacial puede haber sido recogida en el campo a través de receptores GNSS, por lo que su incorporación y posterior administración en los SIG es una tarea habitual en la actualidad.

Cuando trabajamos en un entorno SIG, con frecuencia la información a utilizar se encuentra en planillas de cálculo, con columnas con datos cualitativos y/o cuantitativos. En estos casos, y siempre que se tenga información geográfica del punto, es decir sus coordenadas (por ej. x, y), es posible incorporarla a cualquier entorno SIG y convertir nuestra base de datos plana en una base de datos geográfica. La incorporación de bases de datos al ámbito de los SIG permite gestionar de manera organizada y estructurada el almacenamiento de la información geográfica, así como posibilitar la realización de distintas operaciones sobre ella.

Por último, los SIG pueden conectarse a diferentes bases de datos disponibles a través de servicios cartográficos publicados en internet mediante los estándares WFS o WMS, entre otros. Los servicios web constituyen un recurso fundamental para el trabajo con SIG y, si bien existen numerosos sitios para descarga de información espacial, siempre es recomendable obtenerla de sitios oficiales o, en su defecto, constatar que contengan ciertos estándares de calidad de los datos (ver tema desarrollado en el Capítulo 3).

Referencias

- Buzai, G. D. (2014). Sistemas de Información Geográfica, 50 años. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica* 6: 1-3.
- Buzai, G. D. (2013). *Sistema de Información Geográfica (SIG). Teoría y Aplicación*. Universidad Nacional de Luján, Luján.
- Burrough, P. A. y R. A. McDonell (1998). *Principles of Geographic Information Systems*. Oxford University Press, Oxford.
- Eastman, R. (2012). IDRISI Selva. Guía para SIG y Procesamiento de Imágenes. (A. C. Ravelo, Trad.) Córdoba, Argentina. Obtenido de

<https://clarklabs.org/wp-content/uploads/2016/10/IDRISI-Selva-Spanish-Manual.pdf>

Foresman, T. M. (1998). *The History of Geographic Information Systems: Perspectives from the Pioneers*. Prentice Hall, Upper Saddle River.

Gebhard, J. (1999). *Manual de interpretación visual de aerofotografías e imágenes obtenidas por percepción remota*. Documento inédito. Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP, Instituto de Geomorfología y Suelos, Argentina.

IGN. 2009. *IGM 130 años IGN*. Instituto Geográfico Nacional, Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

Murai, S. (1999). Libro de trabajo SIG Volumen I: Curso Básico. Revista Selper Vol 15 (1).

Olaya, V. 2014. *Sistemas de Información Geográfica*.

<https://volaya.github.io/libro-sig/>

Reyes, M. y J. M. Arce (2003). Tecnologías de información, cartografía y geografía en la era digital. *Boletín de Política Informática* (2): 1-11.

Zucchini, B.I., M. R. Derguy, A.A. Lamaro, N.S. Morales, A.A. Drozd y S.E. Torrusio (2020). Detección de cambios (2004 - 2018) en la asignatura Sensores Remotos, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica* 17 Sección I: 1-16.

ANEXO 2

Primeros pasos en Google Earth Engine (GEE)

María del Rosario Iglesias

Generalidades

Existe una enorme cantidad de datos satelitales obtenidos a escala global recopilados por distintos sensores, que nos permite obtener información de distinta naturaleza como observaciones atmosféricas, modelos de elevación del terreno, datos climáticos, así como respuestas de la cubierta de la Tierra en las distintas porciones del espectro electromagnético. Esta gran cantidad de datos, frecuentemente se ve limitada en la eficiencia para trabajarlos al tratarse de estudios que cubren grandes extensiones espaciales y temporales (Perilla y Mas 2020).

Las plataformas computacionales en la nube son una forma eficiente para almacenar, acceder y analizar grandes conjuntos de datos en potentes servidores, lo que brinda una supercomputadora virtual para el usuario (Amani *et al.* 2020). *Google Earth Engine* (GEE, <https://earthengine.google.com>) es una plataforma basada en la nube creada en 2010, cuya función es proveer de recursos a los investigadores y usuarios para realizar análisis en bases de datos geoespaciales descentralizados. Esta plataforma, permite manejar una enorme cantidad de datos e información geoespacial en la nube sin necesidad de ocupar la memoria de la computadora del usuario, permitiendo así, hacer análisis en paralelo con cerca de 10.000 CPUs, lo que agiliza ampliamente la velocidad de procesamiento. GEE es, por lo tanto, una solución innovadora para el manejo de los datos masivos ("*Big Data*"), que permite afrontar problemas globales, dando resultados velozmente (Gorelick *et al.* 2017).

GEE está asociado a varias misiones satelitales integrando en sus bases de datos, tanto las imágenes de archivo como las imágenes que acaban de ser tomadas. Además, almacena muchos petabytes (1 petabytes equivale a un cuatrillón de bytes) de imágenes satelitales en la nube, incluyendo la misión Landsat completa, desde Landsat 1-3 (1972 a 1983), Landsat 4 (1982-1993, Landsat 5 (1984-2012), Landsat 7 (1999-presente), Landsat 8 (2013-presente), hasta Landsat 9 (2022- presente). Las misiones que componen el Programa Copernicus, como Sentinel que incluye, Sentinel 1, radar de apertura sintética, (2014-presente), Sentinel 2, multiespectral ,2015-presente), Sentinel 3, Instrumento para el color del mar, y cámaras térmicas para la temperatura de la Tierra y los Océanos (2016-presente); y Sentinel 5, para monitoreo de la tropósfera (2018-presente). Conjuntamente, se presenta el sensor MODIS (a bordo de los satélites Aqua y Terra) con productos de resolución espacial de 250 m a 1 km. También GEE

alberga bases de datos de productos de precipitación, densidad poblacional, topografía, cobertura de suelos y clima, entre otras. Estas bases se pueden consultar a través de diferentes criterios (calidad, localización, fechas) sin necesidad de descargar ni solicitar acceso a las imágenes (Gorelick *et al.* 2017). Para más información sobre conjuntos de datos: <https://developers.google.com/earth-engine/datasets/>; y sobre tutoriales: <https://developers.google.com/earth-engine/tutorials/tutorials>.

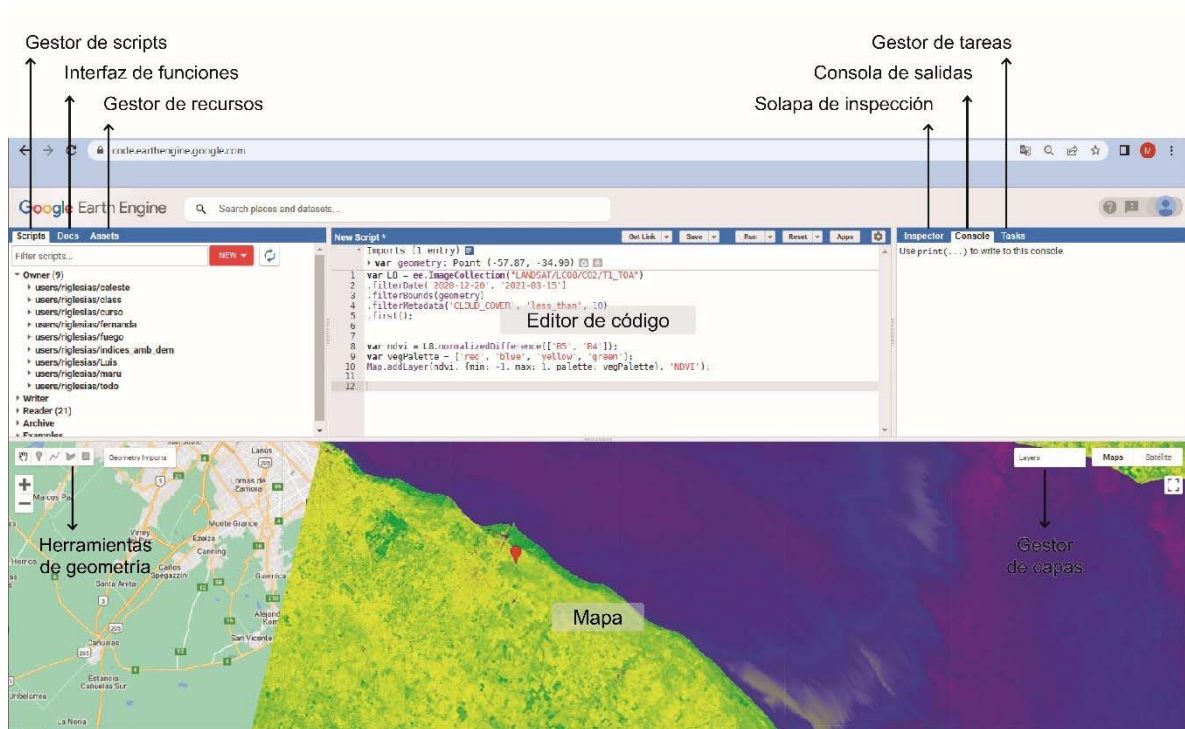
Plataformas disponibles

Principalmente, es posible acceder a GEE a través de dos canales: la interfaz gráfica de usuario no programada, *Google Earth Engine Explorer* (EE Explorer), o el editor de código (EE *code editor*).

EE Explorer, permite visualizar las bases de datos disponibles, pero tiene capacidades limitadas para el análisis, ya que las funciones no pueden modificarse. Esta plataforma está compuesta por el catálogo y la plataforma de trabajo (*workspace*), en donde los usuarios pueden manejar y visualizar los conjuntos de datos.

El EE *code editor*, en cambio, está diseñado para procesar gran cantidad de datos usando el lenguaje de programación JavaScript. En el panel central (Figura 1), el usuario escribe el código ("*scripts*"), que será procesado de manera virtual en los servidores de Google y se muestran los resultados como una imagen en el panel de mapas o como un mensaje en la consola *Tab*. Cabe destacar que, si bien GEE usa sus propias colecciones, también permite que el usuario importe a la plataforma sus propios datos en formato ráster o vectorial. A pesar de que el procesamiento se hace en la nube de GEE, existe una función para poder descargar la información generada al almacenamiento de Google Drive del usuario para luego trabajarla en algún SIG.

Figura 1



Nota. Detalles del Editor de código (EE code editor) del GEE. Fuente: Elaboración propia.

GEE provee de más de 800 funciones preformadas en la librería de EE (interfaz de funciones) para operaciones espaciales tanto de una imagen, como de un conjunto de ellas. Las operaciones van desde operaciones matemáticas básicas a procesamiento avanzados y algoritmos de *machine learning*. También presenta la herramienta Geometría, que permite al usuario dibujar puntos, líneas y polígonos que pueden ser usados en los análisis.

Ejemplo explicado

Objetivo: Calcular el índice normalizado de vegetación (NDVI) de una imagen de verano del 2021, libre de nubes.

Seleccionamos el área de estudio añadiendo un punto sobre el sitio de interés, a partir de la barra gráfica situada en el extremo izquierdo del visor de mapas. Una vez añadido, esta geometría se sumará como variable importada en la parte superior de la consola, que por *default* toma el nombre *geometry*.

Posteriormente, elegimos la misión satelital con la cual trabajar. Por ejemplo, escogemos imágenes Landsat 8, cuya denominación de colección es "LANDSAT/LC08/C02/T1_TOA". Para ello, declaramos una variable de trabajo a la que denominamos L8 y a partir del comando *ee.ImageCollection*, llamamos a la colección de imágenes disponibles (también podemos seleccionar la colección usando el buscador e importándola). Debemos aclarar, que las variables son contenedores en los que pueden almacenar objetos. Primero se debe declarar la variable

con la palabra clave **var**, seguida del nombre que se le quiere dar (L8 en nuestro caso). Las declaraciones deben terminar en punto y coma (Casco, 2018).

La colección Landsat 8, disponible desde 2013, presenta una gran cantidad de imágenes a la actualidad, por lo cual es necesario acotar a aquellas escenas en las que pudiéramos estar interesados, realizando filtros estratégicos en la colección. Con **filterDate** delimitamos el periodo temporal. Empleando **filterBounds** acotamos la búsqueda a la geometría. Con **filterMetadata** limitamos los parámetros de los metadatos para seguir filtrando la información. Por ejemplo, acotando por cobertura de nubes al 10%. Por último, solicitaremos visualizar solo la/las primeras imágenes que cumpla con nuestros filtros. Para ello, el comando **first**, seleccionará la primera imagen del área, de este periodo, que presente nubosidad menor a 10 %.

Las sentencias, según lo explicado arriba, quedarían así, pudiéndose copiar y pegar en el editor de código:

```
var L8 = ee.ImageCollection("LANDSAT/LC08/C02/T1_TOA")
  .filterDate('2020-12-20', '2021-03-15')
  .filterBounds(geometry)
  .filterMetadata('CLOUD_COVER', 'less_than', 10)
  .first();
```

Para realizar el NDVI, acudimos a la función preformada **normalizedDifference**. Colocando entre paréntesis, los parámetros que vamos a utilizar. Para realizar el NDVI utilizamos las bandas B5 y B4, correspondientes al Infrarrojo cercano y Rojo. Generamos una paleta de colores para dicho mapa con la variable **vegPalette**, y visualizamos el mapa en la consola con la sentencia **Map.addLayer**. Corremos el script con el botón *run*.

Aquí el detalle:

```
var ndvi = L8.normalizedDifference(['B5', 'B4']);
var vegPalette = ['red', 'blue', 'yellow', 'green'];
Map.addLayer(ndvi, {min: -1, max: 1, palette: vegPalette}, 'NDVI');
```

El resultado responde al objetivo propuesto, en caso de que se quiera exportar esta imagen para trabajarla en un SIG, utilizamos la función **Export.image.toDrive**. Cualquier usuario con conocimientos básicos de programación y acceso a internet puede trabajar con esta plataforma. Frente a esto, concluimos que GEE es una herramienta muy poderosa para afrontar los problemas de Big Data y ampliar los horizontes de la ciencia de datos y la percepción remota, con un notable impacto para el estudio de las ciencias naturales.

Referencias

Amani, M., Ghorbanian, A., Ahmadi, S.A., Kakooei, M, *et al* (2020). Google Earth Engine Cloud Computing Platform for Remote Sensing Big Data Applications: A Comprehensive Review. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing 13: 5326-5350.

- Casco F. (2018). Introducción a Javascript para Google Earth Engine (GEE) By Programa Regional Programa Regional Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de Bosques en Centroamérica y República Dominicana (REDD/CCAD-GIZ).
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., y Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202,18-27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>.
- Perilla, G. A., y Mas, J. F. (2020). Google Earth Engine (GEE): una poderosa herramienta que vincula el potencial de los datos masivos y la eficacia del procesamiento en la nube. *Investigaciones Geográficas*, 101. <https://doi.org/10.14350/riq.59929> 18.

CAPÍTULO 3

Infraestructura de Datos Espaciales y Geoportales

Betina I. Zucchini, María R. Derguy y Sandra E. Torrusio

La gestión de la información espacial

Si hacemos un recorrido rápido del índice de esta obra, podemos notar a simple vista que los principales temas abordados comprenden distintos tipos de datos que se transforman en información para luego generar algún producto y conocimiento. Principalmente estos datos e información tienen la particularidad del componente espacial más allá de su formato y el modo de obtenerlos. De esta manera, concluimos que son un recurso informacional con un ciclo de vida que implica un proceso mediante el cual se obtienen, despliegan o utilizan recursos humanos y físicos para gestionar la información (Figura 3.1) y se precisa un conjunto de procesos mediante los cuales se controla el ciclo de vida de los datos, desde su obtención (por creación o captura), hasta su disposición final (archivo o eliminación) (Vargas Velásquez, 2022). Por lo anteriormente comentado, el Capítulo 3 aborda la temática de las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE) según la lógica de la gestión de la información. Si bien, a las IDE se las caracteriza tradicionalmente desde lo que son, sus componentes y funciones, es interesante observarlas desde la lógica de la gestión de la información geográfica, que así es como surge este nuevo paradigma. Este trasciende el uso individual o de proyecto SIG para integrar e interoperar recursos geográficos estandarizados compartidos en la red, donde la información fluye, es visible y utilizada por otros usuarios y productores de información.

Pensando la información geográfica desde el uso que hacemos en la materia Sensores Remotos de las imágenes satelitales y las capas de información vectorial, podemos observar una enorme diferencia en la gestión de esos recursos de información espacial. Como veremos, los catálogos de publicación de imágenes satelitales han avanzado mucho en las últimas décadas en cuanto al desarrollo y riqueza de herramientas, formas de consulta, descarga y detalles de sus metadatos. Detrás de una imagen satelital, hay un programa de desarrollo, construcción, calibración y mantenimiento y recursos humanos especializados dedicados a cada una de esas tareas, lo cual implica un gran financiamiento por parte de las agencias espaciales. Poner en órbita un satélite no da lugar a improvisaciones, cada detalle debe estar registrado, controlado y automatizado lo más posible. Existe una gran diferencia en la gestión de la información espacial

proveniente de las imágenes satelitales y la producción de información vectorial, la cual se pondrá en evidencia a lo largo de este capítulo.

Podemos caracterizar la producción de la información vectorial en sus inicios como atomizada a nivel de usuario-productor, desorganizada, sin un plan estratégico, con escasos recursos humanos dedicados y casi sin financiamiento para su implementación y mantenimiento (si bien existen casos excepcionales). Con la implementación de las IDE se tiende a ordenar y estructurar la información en organismos responsables de su producción y mantenimiento.

Como mencionan Iniesto Alba y Núñez Andrés, 2021 citando a Luaces et al., (2011), antes de que existieran iniciativas formales que abordaran la problemática de la información geográfica, ya estaban identificados los siguientes puntos problemáticos: calidades muy diferentes y sin especificar, disparidad de escalas y formas de representación, políticas de precios que suponen, en la práctica, la inaccesibilidad de los datos espaciales, un mercado sin regular (distintos proveedores con productos similares) y falta de estándares de intercambio (cada proveedor suministra la información en el formato de fichero de su programa propietario). En este sentido, la directiva europea INSPIRE (*Infrastructure for Spatial Information in Europe*, por sus siglas en inglés) declara que los problemas relativos a la disponibilidad, calidad, organización y accesibilidad de información espacial son comunes a un gran número de políticas y de temáticas, y se hacen sentir en los diferentes niveles de la administración. Por lo cual, plantea que para la resolución de estos problemas se requiere medidas que atiendan al intercambio, puesta en común, acceso y utilización de datos espaciales interoperables y de servicios en dicho ámbito, medidas que conciernen a los diferentes niveles de la administración y a los diferentes sectores. En ese sentido, Iniesto Alba y Núñez Andrés (2021) afirman que las IDE se han consolidado como la estrategia tecnológica más adecuada para abordar las exigencias de la sociedad de la información, para facilitar las posibilidades de acceso de ciudadanos, instituciones y empresas a la información geográfica y servicios de geoprocésamiento a través de la red.

Todo lo mencionado anteriormente nos hace pensar que el surgimiento de las IDE estuvo motorizado, no solo por la globalización de la internet y la ubicuidad de la información geográfica, sino por la imperiosa necesidad de organizar, consensuar, responsabilizar y estandarizar la producción de información vectorial tan caótica e indefinida.

Figura 3.1



Nota. Esquema de gestión de la información geográfica según el ciclo de vida de la información. Fuente: Modificado a partir de Vargas Velásquez, 2022.

El concepto de Infraestructura de Datos Espaciales (IDE)

Desde la experiencia y la práctica adherimos a la definición de IDE planteada por la Infraestructura de Datos Espaciales de la República Argentina (IDERA), que la conceptualiza de una manera integral como:

“Un conjunto articulado de tecnologías, políticas, acuerdos institucionales, recursos y procedimientos estandarizados de trabajo, cuya meta principal es asegurar la cooperación entre diferentes instituciones para hacer accesible la Información Geoespacial. Las IDE proporcionan una base para la búsqueda, evaluación y aprovechamiento de la información geográfica para usuarios y generadores de todos los niveles de la administración pública, sector comercial, organizaciones sin ánimo de lucro, sector académico y ciudadanos en general. La palabra infraestructura es utilizada con el objeto de enfatizar el concepto de entornos solventes, permanentes y bien mantenidos, de modo análogo a como ocurre con las carreteras o las redes de telecomunicaciones. Las IDE facilitan el transporte de información geoespacial, promoviendo el desarrollo social, económico y ambiental del territorio (IDERA, 2019)”.

Aunque el concepto de IDE haya ido cambiando a través del tiempo, queda claro que su principal objetivo es democratizar y/o poner a disposición los datos espaciales mediante servicios, los cuales permiten su uso o consumo por parte de cualquier tipo de usuario y en una

amplia variedad de aplicaciones. Para que ello sea posible, es imprescindible contar con un equipo que no solo se encargue del desarrollo, sino también del mantenimiento. Asimismo, se requiere también que exista comunicación y roles, es decir una organización con responsabilidades y temáticas o escalas de abordaje. De esta manera son necesarios los nodos IDE, donde cada uno es responsable de determinada información que produce o provee información georreferenciada en formatos interoperables. Los nodos IDE son “centros de información geográfica” que constituyen la estructura en red de una IDE. Cada nodo, generalmente está asociado a un organismo, administra un grupo de datos de una misma temática y a su vez es responsable por la gestión y publicación de estos (IDERA, 2019).

La materialización de un proyecto IDE se realiza fundamentalmente a través de un Geoportal (tema desarrollado en las próximas páginas), el cual constituye la puerta de acceso a la información geográfica en la red (IDERA, 2019).

Los niveles de jerarquía

Dada las diferentes escalas y temáticas que comprenden la información geográfica, es necesario establecer una estructura organizativa jerárquica con distintos niveles, asociados a la escala y administración. Abarcando desde la IDE global en el nivel superior, hasta las IDE locales y las IDE corporativas en el nivel inferior, donde cada una de ellas es administrada por el organismo responsable correspondiente. Las relaciones verticales se desarrollarán armónicamente de forma que cada nodo IDE de referencia garantice la visibilidad de todos los recursos disponibles en su ámbito de actuación (Figura 3.2).

Figura 3.2



Nota. Esquema de organización en jerarquías administrativas, de escala y toma de decisión.
Fuente: Adaptado de IDERA.

En el esquema anterior se puede identificar que la IDE a nivel nacional en nuestro país es la IDERA, creada en el año 2007 a partir de la Ley Nacional de Catastro Nro. 26.209 (Art. 16) (Balestrini *et al.*, 2007). Su creación se vincula con la realización de las 1^{eras} Jornadas sobre Infraestructura de Datos Espaciales de la República Argentina, llevadas a cabo en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires en las instalaciones del Instituto Geográfico Militar, bajo el lema “El desafío es la integración”.

La IDERA tiene como principal objetivo propiciar la publicación de datos, productos y servicios, de manera eficiente y oportuna como un aporte al acceso de la información producida por el Estado y diversos actores. Está integrada por organismos nacionales, provinciales y municipales, universidades, ONG y empresas que integran grupos de trabajo de acuerdo con las temáticas a abordar.

Es importante mencionar que la necesidad de desarrollar una IDE es anterior a la creación de la IDERA. De hecho, algunos grupos de trabajo provinciales estaban en funcionamiento desde algunos años antes. La provincia de Santa Fe fue pionera en este proceso, impulsada por un hecho fortuito: la inundación que afectó a la ciudad de Santa Fe y su área metropolitana en el año 2003. Esta situación generó la necesidad imperiosa de utilizar la información geográfica para gestionar adecuadamente el territorio afectado. Algo similar ocurrió en la provincia de Buenos Aires en el 2020 durante la pandemia de COVID. Dada la dimensión territorial de la provincia más poblada del país, se hizo imprescindible contar con información actualizada y oportuna para gestionar y optimizar no solo los recursos sanitarios, sino también las diversas actividades desarrolladas en toda la provincia. En la Figura 3.3 se muestra la cronología de creación de las IDE provinciales y sus marcos regulatorios.

Figura 3.3

Cronología de creación las IDE provinciales y sus marcos legales

	Año	Provincia	Marco Legal
IDERA	2005	Santa Fé	Decreto 1680 - Año 2005 y Decreto 3033 - Año 2005
	2007	Santa Cruz	Decreto 3447 - Año 2007
	2008	Chaco	Decreto 1565 - Año 2008
	2009	Formosa	Decreto 1539 - Año 2009 y Ley de Catastro 1315
	2012	Jujuy	Decreto 1048 - Año 2012
		San Luis	Decreto 7372 - Año 2012
	2013	Córdoba	Decreto 1075 - Año 2013
		Río Negro	Decretos 1839 y 1846 - Año 2013
	2016	Catamarca	Decreto 2169 - Año 2016
		La Pampa	Decreto 1959 - Año 2016
		Mendoza	Decreto 276 - Año 2015 y Resolución 168 - Año 2016
		Salta	Decreto 1567 - Año 2016
	2020	Buenos Aires	Decreto 609 - Año 2020
		Corrientes	Decreto 803 - Año 2020
	2022	Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur	Decreto 1069 - Año 2022

Los componentes de una IDE

Así como el concepto de IDE fue evolucionando, la caracterización de sus componentes también. Durante los primeros abordajes del tema, se presentaban solo dos componentes: el tecnológico y el de socialización. El componente tecnológico incluía los datos, los servicios y los metadatos y en el componente de socialización estaban la estandarización y la organización. Actualmente, la IDERA define cuatro grupos de componentes con los cuales se estructuran y organizan las IDE: Geográfico, Tecnológico, Político y Social (Figura 3.4).

Componente geográfico

Datos básicos y fundamentales: representan una fuente amplia y consistente de Objetos Geográficos (OG) básicos considerados como fundamentales en los procesos de integración con información temática. Representan el contenido que se identifica como información básica y son la base sobre la cual se construyen otros datos espaciales. Estos deben estar disponibles y ser fuente fiable para la generación de nuevos datos.

Servicios: se consideran una tecnología que utiliza un conjunto de protocolos y estándares para intercambiar datos entre aplicaciones. Tienen un rol esencial dado que definen la funcionalidad que el sistema va a ofrecer a los usuarios, basándose en la información geográfica (IG) subyacente.

Metadatos de datos y servicios: es la información referente a cierto recurso o dato (información espacial, capa digital o conjunto de información). Es, en esencia, el dato acerca del dato. Brinda información referente a la captura o creación del recurso en sí: qué es, quién lo genera, cómo, cuándo, etc. Esta información es indispensable para el usuario ya que brinda garantías acerca de su calidad, fiabilidad, grado de actualización, alcance, etc.

Componente tecnológico

Hardware y Software: son recursos de suma importancia que permiten la implementación y desarrollo de las IDE, asegurando la disponibilidad de información geográfica y la posibilidad de operar sobre los datos compartidos.

Lenguaje unificado: En materia de programación, al igual que en varios de otros de los puntos mencionados en el resto de los componentes de una IDE, la interoperabilidad es una cuestión fundamental, por lo que la utilización de un lenguaje unificado es clave. Entre ellos se encuentran el XML¹, GML, KML y HTML.

Normas y estándares: la base de la interoperabilidad requiere el cumplimiento de determinados criterios acordados internacionalmente en base a estándares y normas.

¹ El lenguaje de Marcas Extensible (*Extensible Markup Language XML*) fue creado en 1996 por el Word Wide Web Consortium (W3C) partiendo de las especificaciones del Lenguaje Estándar Generalizado de Marcas (SGML). La primera definición que apareció fue la de: «sistema para definir, validar y compartir formatos de documentos en la web» (Inierto Alba y Núñez Andrés: 265, 2021).

Componente político

Políticas y acuerdos: el proceso de implementación de una IDE requiere del apoyo de diferentes actores que son claves en la toma de decisiones de las organizaciones. En este sentido, para la implementación y sostenimiento de la IDE es importante la construcción de consensos entre actores sobre la relevancia que tiene la misma, reconocer la necesidad de trabajar con información geográfica georreferenciada y definir acciones que permitan contar con una IDE acorde a la organización.

Marco legal: las definiciones relacionadas a la implementación de la IDE y los lineamientos básicos acerca de su gestión, mantenimiento, financiamiento, contenido, entre otros, servirán de guía y permitirán su sostenimiento si se plasman en normas jurídicas. Las normas garantizan su permanencia y le otorgan una mayor relevancia a la política pública.

Capacitación: las IDE requieren de recursos humanos idóneos que comprendan su funcionamiento y que estén en contacto constante con sus cambios y actualizaciones vinculadas. En este sentido, el rol de los actores decisores es promover la capacitación continua del personal de la organización dedicado a la IDE.

Componente social

Productores de datos: son fundamentales los encargados de producir y actualizar los datos geográficos que se publican. Dependiendo de los tipos de datos estos actores pueden ser organismos públicos u organizaciones privadas.

Proveedores de servicios: son necesarios para la implementación y mantenimiento de servicios web donde va a visualizarse la información. Resulta conveniente que los organismos productores de los datos sean quienes brindan el servicio web.

Desarrolladores: son aquellas personas u organizaciones que crean algoritmos, métodos, programas y aplicaciones que intervienen en las IDE, permiten publicar un servicio o implementar geoportales, visualizadores, clientes y aplicaciones en general.

Usuarios básicos y avanzados: las IDE son creadas para aquellas personas u organizaciones públicas o privadas que acceden a las mismas y realizan diferentes operaciones. Según la capacidad para explotar los datos se puede dividir a los usuarios en básicos, que son aquellos que realizan funciones de navegación y/o consulta de información, medición, etc. a través de un visualizador web y en avanzados, que son quienes utilizan herramientas más complejas y aplicaciones específicas no disponibles para el público general.

Comunidades IDE: están conformadas por una variedad de actores de todo tipo que cooperan a través del intercambio de información. Cumplen un rol fundamental en la difusión, formación y realización de encuentros donde se debaten y realizan aportes vinculados a las IDE.

Personal: es el recurso humano abocado al mantenimiento y funcionamiento de los sitios web y los recursos informáticos que contribuyen a la IDE.

Figura 3.4



Nota. Esquema de los componentes y subcomponentes de una IDE, elaborado sobre la base de IDERA

Integrando los cuatro componentes en distintos nodos IDE y niveles de jerarquía podemos ver el esquema organizativo ideal que propone la IDERA (Figura 3.5) para el trabajo en red de la información geográfica.

Figura 3.5



Nota. Esquema de componentes de nodo IDE interconectados en red con niveles de jerarquía implícita. Fuente: IDERA.

Interoperabilidad y estándar

Estos dos conceptos van de la mano y son la piedra fundamental de toda IDE.

Interoperabilidad

Es la capacidad que tienen distintos sistemas para comunicarse y comprender que están manejando la misma información sin necesidad de realizar una transformación profunda de la misma. Eso se logra mediante estándares, es decir, con normas que regulan la generación de ese dato o información.

La interoperabilidad permite que los datos producidos por distintas organizaciones y usuarios, empleando simplemente un navegador, puedan utilizarlos y combinarlos según sus necesidades. Para ello, los datos y servicios, armonizados y coordinados, deben ser acordes con ciertas normas y estándares y los recursos informáticos cumplir una serie de especificaciones, protocolos e interfaces que la garanticen (Iniesto Alba y Núñez Andrés, 2021).

Estándar

Se puede entender a estándar como un patrón, pauta o un criterio común para entender de qué se está hablando, por lo que sirve para facilitar la comunicación y para garantizar que los datos o información transmitida pueda intercambiarse sin problemas. Implica el uso de lenguaje unificado, perfiles de metadatos, catálogo de objetos geográficos, formatos de archivos y servicios, entre otros.

Cuando hablamos de estándares, no podemos dejar de mencionar a las Normas ISO. La Organización Internacional para la Estandarización (de su sigla en inglés ISO, *International Organization for Standardization*) (<https://www.iso.org/home.html>) es una organización para la creación de estándares internacionales, compuesta por diversas organizaciones nacionales de estandarización. La ISO 19100, es la vinculada a la temática abordada en este libro, ya que es una familia de normas relacionadas a la IG de fenómenos espaciales, desarrolladas y gestionadas por un Comité Técnico (TC211). Por otro lado, el OGC (*Open Geospatial Consortium*) es un consorcio internacional sin fines de lucro fundado en 1994, que propuso los estándares de los servicios (<https://www.ogc.org/>), y cuya misión es liderar el desarrollo, promoción y armonización de estándares geoespaciales abiertos facilitando el intercambio de geoinformación.

Resumiendo, un estándar es un documento o práctica que busca armonizar los aspectos técnicos de un producto o servicio. Se lo considera como tal cuando es empleado por un grupo o comunidad que lo acepta para la definición de las características de ese producto o servicio. De este modo, el formato *shapefile* para capas vectoriales, por ejemplo, es uno de estos estándares, ya que está ampliamente difundido y existe tal cantidad de datos en este formato que todas las aplicaciones deben implementarlo para tener valor práctico.

Un estándar abierto es aquel cuya definición es pública, se encuentra disponible y todo aquel que lo desee puede conocerla y emplearla para el desarrollo de la actividad relacionada con ese

estándar. Su uso debe estar disponible de manera gratuita o a un coste que no suponga una dificultad de acceso (Francesca Bria *et al.*, 2017). En nuestro campo de trabajo, eso quiere decir que cualquier desarrollador que desee crear un nuevo cliente o servidor para datos SIG puede acceder al estándar y desarrollar en base a este.

A continuación, se desarrollan un poco más los conceptos de metadato y servicios que se materializan a través de los conceptos de estándar e interoperabilidad.

Los metadatos

Como se describió en el componente geográfico, los metadatos, describen información sobre un recurso (información espacial, capa digital o conjunto de información) y consisten en un conjunto de atributos o elementos necesarios para documentar un recurso en particular.

Literalmente, los metadatos son «datos acerca de los datos», y su misión es explicar el significado de los datos. Es decir, ayudan a los usuarios de los datos a entender mejor el significado que estos tienen y la información que guardan. Los metadatos son un documento adicional que acompaña a los datos, permitiendo una mejor gestión y una utilización más precisa de ellos. Representan el quién, qué, cuándo, dónde, cómo y por qué de ese recurso (Olaya, 2014).

Un ejemplo sencillo son los catálogos de biblioteca, en los cuales un sistema de archivos, fichas o bases de datos permiten contener, consultar y gestionar conjuntos de datos con descriptores de las publicaciones disponibles (autorías, títulos, editoriales, año de publicación y codificación para su ubicación en la biblioteca, entre otros atributos). Su propósito principal es asegurar, para el usuario interesado en un recurso, la documentación mínima indispensable para juzgar al recurso, su confiabilidad práctica y alcance, su grado de actualización y las responsabilidades involucradas en su creación y/o sostenibilidad, entre innumerables atributos posibles.

Desde IDERA se ha definido un perfil de metadato (PMIDERA), que es un estándar para la descripción, documentación y catalogación de recursos de información espacial colectada, recomendado para su utilización en otros ámbitos públicos y privados de la Argentina. De este se desprende el perfil de metadatos para datos vectoriales, para servicios OGC y para imágenes satelitales. A su vez, recomienda como gestor de metadatos el *Geonetwork*, para el cual brinda instructivos de instalación y uso.

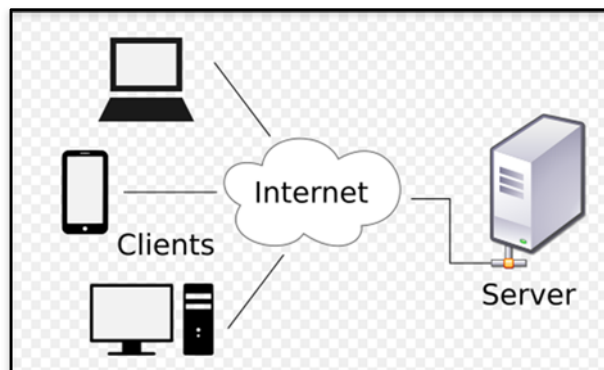
Los servicios web

Son un conjunto de tecnologías que facilitan la disponibilidad y el acceso a la información geoespacial, empleando un conjunto de estándares y especificaciones definidas por el OGC y que permiten que las aplicaciones operen bajo condiciones conocidas. Garantizan la interoperabilidad entre sistemas y funcionan en la arquitectura Cliente-Servidor. Se denomina

arquitectura Cliente-Servidor a un modelo de diseño de *software* en el que las tareas se reparten entre los proveedores de recursos o servicios, denominados servidores, y los demandantes, es decir, los clientes (Wikipedia, 2022). Un cliente realiza peticiones a otro programa, el servidor es quien le da respuesta. Esta idea también se puede aplicar a programas que se ejecutan sobre una sola computadora, aunque es más ventajosa en un sistema operativo multiusuario distribuido a través de una red de computadoras.

El dispositivo que solicita información es llamado cliente, mientras que el dispositivo que responde a la solicitud es llamado servidor (Figura 3.6). Los clientes pueden ser livianos o pesados según donde se realiza la mayor parte del procesamiento. Los clientes livianos son aplicaciones que no realizan carga de procesamiento, dado que la misma ocurre del lado del servidor, ejemplos de clientes livianos en una IDE son los navegadores de internet (Chrome, Mozilla, Opera, IE o Microsoft Edge). Mientras que los clientes pesados son las aplicaciones que tienen la capacidad de asumir la carga de procesamiento, ejemplos de clientes pesados en una IDE son los *software* de escritorio como QGIS, GvSIG, ArcGIS, MapInfo, etc.

Figura 3.6



Nota. Esquema de la estructura Cliente-Servidor. Fuente: Wikipedia.

Tipos de servicios

Algunos de los estándares OGC de servicios más relevantes son los siguientes:

- WMS (*Web Map Service*): para obtener imágenes de mapas.
- WCS (*Web Coverage Service*) para obtener y consultar coberturas.
- WFS (*Web Feature Service*): para obtener y editar entidades geográficas y sus atributos asociados.
- WPS (*Web Processing Service*): para servicios de procesos remotos.
- CSW (*Catalog Service for Web*): para consultas en catálogos.

WMS (Web Map Service)

Permite la visualización de información geográfica a partir de una representación que puede provenir de un archivo vectorial, un mapa digital, una ortofoto, una imagen de satélite, entre otras

opciones. Puede organizarse en una o más capas de datos. Si bien la fuente puede ser vectorial, se accede a una fotografía de esas capas superpuestas.

WFS (Web Feature Service)

Permite el acceso y consulta de los atributos de un vector (*feature*) que representa información geográfica con una geometría descrita por un conjunto de coordenadas, por ejemplo, de un río, una ciudad o un lago. El servicio WFS permite no solo visualizar la información sino también su libre descarga y posterior edición.

La naturaleza de la Información Geográfica (IG)

Retomando el capítulo 1, dedicado a la introducción a la teledetección espacial, donde se describen las leyes y fundamentos que operan para la obtención de la información geográfica en formato ráster (como en el caso de las imágenes satelitales), se evidencia el alto grado de estandarización e integridad de la información geográfica captada por los satélites o sensores remotos. En cambio, para el caso de los fenómenos geográficos representados en formato vectorial, se trata de información producida y registrada por los propios usuarios, lo que da lugar a una gran variabilidad y heterogeneidad de formas de generación de estos datos. Por esta razón, surge el concepto de Objeto Geográfico, definido y consensuado en el marco de una IDE, junto con su correspondiente catalogación.

Objeto Geográfico (OG)

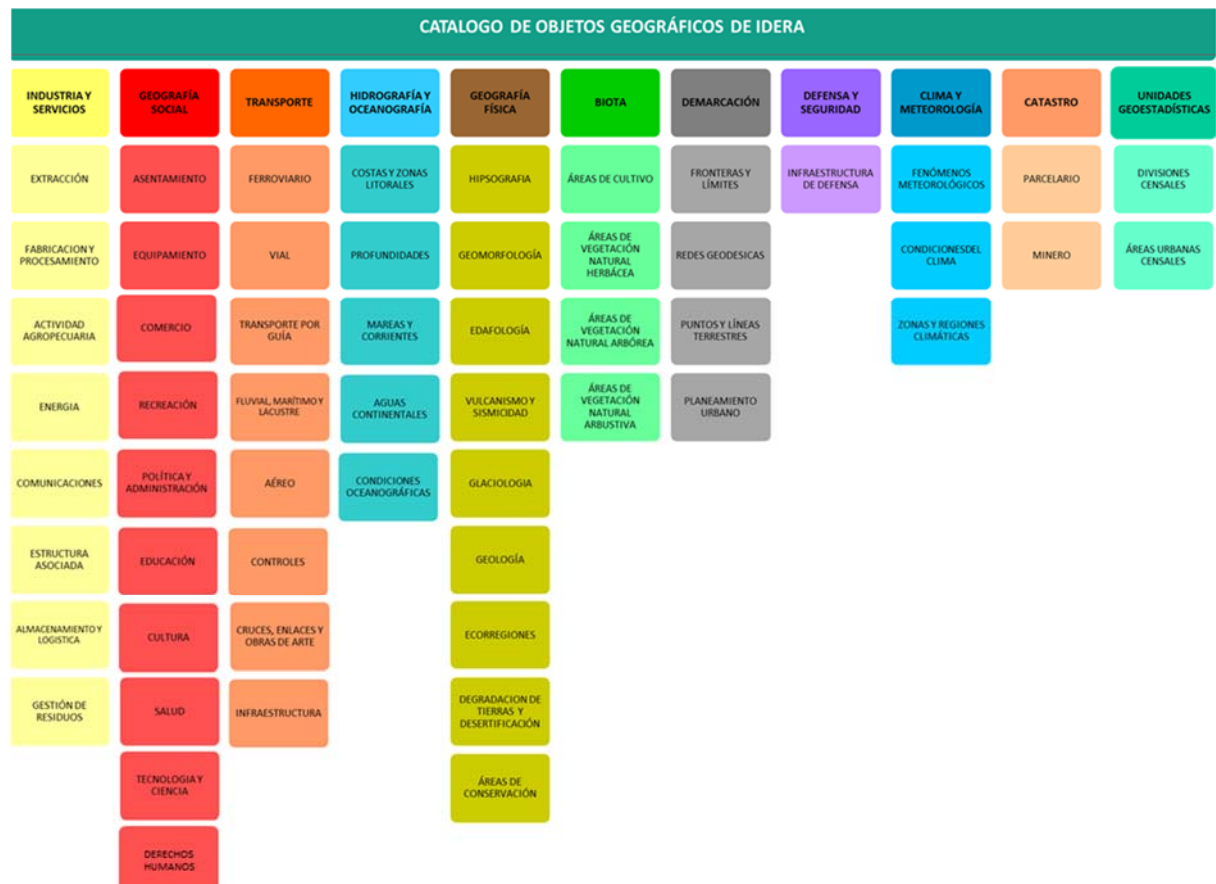
En Argentina, es la IDERA quien define el objeto geográfico como una abstracción de elementos del mundo real asociados con una posición geográfica y temporal, respecto a los cuales se recolectan datos, manteniendo y difundiendo IG. Son los organismos/instituciones los responsables de la creación del objeto geográfico de su incumbencia. Cada OG tiene una definición que implica una geometría, la cual es resultado del debate dentro del grupo de trabajo, de la consulta a diferentes fuentes y de los aportes realizados por los organismos especializados en cada temática. Para ello, se organiza el Catálogo de Objetos Geográficos.

Catálogo de objetos geográficos

Es donde se organizan los OG, sus definiciones y características, es decir, su geometría, sus atributos, valores de dominios, relaciones y operaciones. La catalogación conduce a los usuarios y productores de IG a tener una definición de los OG en un lenguaje común con respecto al contenido de los conjuntos de datos, permitiendo una mayor comprensión y alcance (IDERA, 2019). A su vez, establece las bases para la interoperabilidad y el uso e intercambio de datos geográficos entre diferentes usuarios.

En marzo del 2023, el catálogo de OG de IDERA contaba con 11 Clases (Industria y Servicios, Geografía Social, Transporte, Hidrografía y Oceanografía, Geografía Física, Biota, Demarcación, Defensa y Seguridad, Clima y Meteorología, Catastro y Unidades Geoestadísticas), 57 Subclases (Figura 3.7) y 275 OG. La definición de lista de atributos consta de 226 atributos codificados, definidos con el tipo de atributo y si poseen dominio o no. También se definen los dominios o valores posibles de los atributos que lo requieran.

Figura 3.7



Nota. Esquema del catálogo de Objetos Geográficos de IDERA.

Los geoportales

Geoportal es una palabra compuesta que incluye dos términos: geográfica y portal. Es un sitio web que actúa como puerta de entrada a la colección de recursos de información, en este caso, de información geográfica (Garzón Barrero *et al.*, 2019).

Según Bernabé Poveda y López Vázquez (2012), el geoportal es a una IDE lo que el mostrador a una tienda: tiene por objeto despertar el interés de los usuarios, animarlos a que exploren el contenido y que, tras interactuar con la IG, logren sus fines.

Generalmente, un geoportal ofrece la visualización de datos espaciales a través de un visor interactivo, así como un catálogo de metadatos y una sección destinada a la publicación

mediante servicios. Además, suele disponer de apartados de capacitaciones, novedades e instructivos de publicación o uso de herramientas específicas. En las Figuras 3.8 y 3.9 se ejemplifican geoportales de IDE y de catálogo de imágenes satelitales.

La proliferación de geoportales destinados a compartir información basada en regiones o en temáticas es reciente. En las secciones siguientes se listan algunos de los sitios de IDE y catálogos de imágenes satelitales que recomendamos visitar.

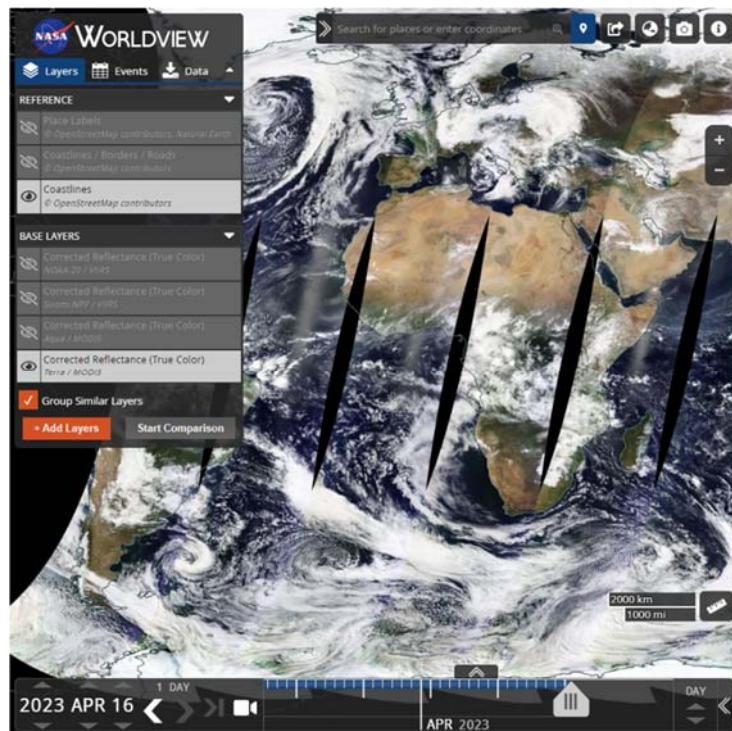
Los geoportales modernos no sólo ofrecen acceso directo a los datos crudos en múltiples formatos, acompañados de metadatos completos y herramientas de visualización online que permiten a los usuarios crear mapas directamente en el portal. También integran *links* cruzados que vinculan usuarios, *datasets* y mapas creados en varios formatos. Además, muchos de estos geoportales permiten la participación activa de los usuarios, quienes pueden contribuir con información o contenidos, como es el caso de plataformas colaborativas como [Poblaciones.org](https://poblaciones.org).

Figura 3.8



Nota. Ejemplo de geoportal de una IDE provincial, Tucumán, <http://idet.tucuman.gob.ar/> accedido 16 de abril 2023.

Figura 3.9



Nota. Ejemplo de geoportal de imágenes satelitales, de la NASA, Worldview, <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>, accedido el 16 de abril 2023

Acceso a IDE a través del portal de IDERA

Es importante destacar que estos enlaces fueron accedidos al momento de escribir esta obra. En el caso de que no estén activos, invitamos al/la lector/a a buscarlos manualmente en la página oficial de IDERA (<https://www.idera.gob.ar/>).

Jurisdicción Nacional

Organismo	IDE
Autoridad de Cuenca Matanza-Riachuelo (ACUMAR)	https://www.acumar.gob.ar/institucional/mapa/
Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE)	https://geoportal.conae.gov.ar/mapstore/#/viewer/openlayers/geoportal
Dirección Nacional de Población (RENAPER)	https://poblacion.idear.gov.ar/
Instituto Geográfico Nacional (IGN)	https://geoportal.ign.gob.ar/
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria	https://geo-backend.inta.gob.ar/#/

(INTA)

Ministerio de Ambiente y
Desarrollo Sostenible

<https://ciam.ambiente.gob.ar/>

Ministerio de Educación

<https://mapa.educacion.gob.ar/>

Ministerio de Transporte

<https://ide.transporte.gob.ar/>

Observatorio Nacional de
Degradación de Tierras y
Desertificación

<http://www.desertificacion.gob.ar>

Servicio de Hidrografía
Naval (SHN)

<http://www.hidro.gov.ar/>

Servicio Geológico Minero
Argentino (SEGEMAR)

<https://sigam.segemar.gov.ar/wordpress>

Servicio Nacional de
Sanidad y Calidad Agroalimentaria
(SENASA)

<https://geonode.senasa.gob.ar/>

Subsecretaría de
Servicios y País Digital

[https://www.argentina.gob.ar/ Jefatura/innovacion-publica/servicio pais-digital](https://www.argentina.gob.ar/ Jefatura/innovacion-publica/servicio-pais-digital)

Ministerio de Obras
Públicas

<https://geoportal.obraspublicas.gob.ar/mapa/#4/-39.02/-66.77>

Datos espaciales de Argentina,
CONICET y ODSA
(Observatorio de la Deuda
Social Argentina)

<https://poblaciones.org/>

Jurisdicción Provincial

Provincia	IDE
Buenos Aires	https://ideba.gba.gob.ar/
Catamarca	http://nodoide.catamarca.gob.ar/
Chaco	http://idechaco.gob.ar/
Chubut	http://sit.chubut.gov.ar/cbtweb/forms/Main.aspx
Córdoba	https://www.idecor.gob.ar/
Corrientes	https://ide.corrientes.gob.ar/
Entre Ríos	https://geoservicios.entrerios.gov.ar/#/
Formosa	http://idef.formosa.gob.ar/geoportal/
Jujuy	http://idej.jujuy.gob.ar/

La Pampa	https://idelp.lapampa.gob.ar/
Mendoza	https://www.mendoza.gov.ar/idem/
Misiones	https://ordenamientoterritorial.misiones.gob.ar/ide-misiones
Neuquén	http://catalogo.neuquen.gov.ar/portal/
Río Negro	https://ide.rionegro.gov.ar/
Salta	https://www.idesa.gob.ar/
San Juan	https://web.sanjuan.gob.ar/unide/
Santa Cruz	https://situ.santacruz.gob.ar/portal/
Santa Fe	https://www.santafe.gob.ar/idesf/geoportal/
Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur	https://www.tierradelfuego.gob.ar/idetdf/
Tucumán	http://idet.tucuman.gob.ar/

Gestión Local

Provincia	Organismo	IDE
Buenos Aires	Municipalidad de Balcarce	http://ide.balcarce-app.gob.ar/
	Municipalidad de Moreno	http://ide.moreno.gob.ar/
	Municipalidad de Olavarría	https://mapas.olavarria.gov.ar/
	Municipalidad de Pergamino	https://pergamino.ar/ide/
	Municipalidad de Tandil	http://mapa.tandil.gov.ar/IdeTandil/
Catamarca	Municipalidad de Fray Mamerto Esquiú	https://nodoide.catamarca.gob.ar/fme/
	Municipalidad de San Fernando del Valle de Catamarca	https://nodoide.catamarca.gob.ar/
Córdoba	Municipalidad de Río Cuarto	https://datos.riocuarto.gov.ar/dataset/sistema-de-informacion-geografica-municipal-
Entre Ríos	Municipalidad de San Benito	https://sanbenito.gob.ar/servicios/ide/
	Municipalidad de Concordia	https://ide.concordia.gob.ar/#/home
La Pampa	Municipalidad de Santa Rosa	https://ide.santarosa.gob.ar/
Mendoza	Municipalidad de la ciudad de Mendoza	https://webgis.ciudaddemendoza.gob.ar/portal/apps/sites/#/portal-ciudadano

Misiones	Municipalidad de Oberá	https://obera.gob.ar/geoportal-ide-municipal/
	Municipalidad de Posadas	https://www.ide.posadas.gob.ar/
Salta	Municipalidad de Salta	http://idemsa.municipalidadesalta.gob.ar/

Geoportales Universitarios

Universidad	Facultad/Instituto	URL
		http://geonode.filo.uba.ar/
Buenos Aires	Ingeniería Departamento de Agrimensura	http://geo.fi.uba.ar/geoserver/www/index.html
	Arquitectura, Diseño y Urbanismo	https://cim.fadu.uba.ar/ide/
General Sarmiento	Instituto del Conurbano	http://ideconurbano.ungs.edu.ar/
La Pampa		http://ideigunlpam.humanas.unlpam.edu.ar/
Patagonia San Juan Bosco		http://geoportal.unp.edu.ar/
Luján		https://geo.cidetic.unlu.edu.ar/
Mar del Plata		http://ideunmdp.mdp.edu.ar/
San Juan	Centro de Investigaciones de la Geósfera y la Biósfera	https://ide-cigeobio.conicet.gob.ar/
Tucumán	Arquitectura y urbanismo	https://observatoriofau.com.ar/
del Centro		http://ide.fch.unicen.edu.ar/
Comahue		http://ideunco.fi.uncoma.edu.ar/
del Sur		https://geoportal-idesob.uns.edu.ar/geoportal/?zoom=7&lat=-38.6499&lng=-62.3937&layers=argenmap

Existen además otros geoportales y visualizadores, cuyo acceso se encuentra disponible desde la página web de IDERA. Entre ellos se incluyen las IDE de empresas, así como visualizadores de mapas desarrollados por instituciones u organismos de jurisdicción nacional, provincial y municipal, además de aquellos pertenecientes a empresas y organizaciones no gubernamentales (ONG).

Acceso a algunos portales de IDE internacionales

- IDE Global, **GSDI** (*Global Spatial Data Infrastructure*) <http://gsdiassociation.org/>
- Directiva europea **INSPIRE** (*Infrastructure for spatial information in Europe*) <https://inspire.ec.europa.eu/>
- IDE española, **IDEE** (*Infraestructura de Datos Espaciales de España*) <https://www.idee.es/>
- Comité Regional de Naciones Unidas sobre Gestión Global de Información Geoespacial para las Américas, **UN-GGIM: Américas** <http://www.un-ggim-americas.org/>

- IDE colombiana **IDESC** (Infraestructura de Datos Espaciales de Santiago de Cali)
https://www.cali.gov.co/planeacion/publicaciones/46675/que_es_la_idesc/

Catálogos de productos geospaciales nacionales

CONAE

Desde su portal de información geoespacial es posible acceder a catálogos de imágenes y productos geospaciales: <https://catalogos.conae.gov.ar/catalogo/catalogo.html>,

SAOCOM: <https://catalogos.conae.gov.ar/catalogo/catalogoSaocom.html>

GeoCatálogos de Metadatos: búsqueda y vista previa de productos satelitales con metadatos interoperables:

<https://geocatalogos.conae.gov.ar/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/search?resultType=conae&sortBy=changeDate&from=1&to=20>

GeoVisor General: búsqueda y visualización de capas de productos geospaciales disponibles como WMS y WFS <https://geoportal.conae.gov.ar/mapstore/#/viewer/openlayers/geoportal>

GeoServicios: acceso a la dirección Web de los servicios WMS y WFS <https://catalogos.conae.gov.ar/catalogo/catalogoGeoServiciosOGC.html>

GeoVisores temáticos: búsqueda y visualización de capas organizadas en torno a una temática <https://catalogos.conae.gov.ar/catalogo/visores.html>

Consultas interactivas: incendios (<https://catalogos5.conae.gov.ar/catalogofocos/>), humedad del suelo (https://catalogos5.conae.gov.ar/humedad_serie/) y firmas espectrales (<https://catalogos5.conae.gov.ar/FirmasEspectrales/>)

Catálogos satelitales: búsqueda y vista previa de productos satelitales con metadatos interoperables <https://catalogos.conae.gov.ar/catalogo/otrosCatalogos.html>. Acceso diferenciado a varios productos satelitales regulares y con valor agregado, focos de calor, productos decádicos/quincenales, entre otros.

Acceso libre	Acceso con registro	Acceso bajo licencia
MODIS y VIIRS	SAC-C y SAC-D	SPOT 4 a 7
GOES	Serie Landsat	COSMO Skymed
CBERS	Suomi NPP	SAOCOM
	SMAP	
	SMOS	
	NOAA	

IGN

Proyecto MDE-Ar. Modelo Digital de Elevaciones de la República Argentina.
<https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/Geodesia/ModeloDigitalElevaciones/Introduccion>

Catálogos de productos geospaciales internacionales

Agencia	Portal	URL
NASA	World View	https://worldview.earthdata.nasa.gov
	NEO Earth Observations	https://neo.gsfc.nasa.gov/
	EarthData Search	https://search.earthdata.nasa.gov/search https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/
	United States Geological Survey	https://www.usgs.gov/
USGS	Global Visualization Viewer	https://glovis.usgs.gov/app?fullscreen=1
	Earth Explorer	https://earthexplorer.usgs.gov/
	Landsat Archive Dashboard	https://landsat.usgs.gov/landsat-archive-dashboard
	LSDS Science Research and Development (LSRD)	https://espa.cr.usgs.gov/
	Modelo digital de elevación Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second Global	https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-shuttle-radar-topography-mission-srtm-1-arc?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects
Alaska Satellite Facility		https://search.asf.alaska.edu/#/
ESA y otros organismos europeos	Copernicus Data Space Ecosystem	https://dataspace.copernicus.eu
	EO Browser ESA y Sinergise	https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser
	EUMETSAT European Organization for Meteorological Satellites	https://eoportal.eumetsat.int/userMgmt/protected/welcome.faces
	Ocean Data Laboratory	https://ovl.oceandatalab.com/

Referencias

Balestrini, A. Pampuro, J.J.B., Hidalgo, E. y Estrada, J. H. (2007). Ley Nacional 26.209. *Ley Nacional de Catastro*. Congreso Argentino. CABA, Argentina. Disponible en línea: <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/120000-124999/124298/norma.htm>.

Acceso: abril 2025.

Bernabé Poveda, M.A. y López Vázquez, C.M. (2012). *Fundamentos de las Infraestructuras de Datos Espaciales*. Madrid: SERIE CIENTÍFICA UPM Press. Disponible en línea: <https://www.ign.es/web/libros-digitales/fundamentos-ide>. Acceso: abril 2025.

- Bria, F. (2017). *Guía sobre soberanía tecnológica en el Ayuntamiento de Barcelona*. Ayuntamiento de Barcelona. Barcelona: Barcelona Ciutat Digital. Disponible en línea: https://bcnroc.ajuntament.barcelona.cat/jspui/bitstream/11703/106302/1/guia_sobre_sobirania_tecnologica.pdf. Acceso: abril 2025.
- Garzón Barrero, J., Mejía Cardona, V. y Jiménez Cleves, G. (2019). ¿Qué es un geoportal y cómo se hace? Libro de resúmenes del *Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería*. Disponible en línea: <https://acofipapers.org/index.php/eiei/article/view/101>. Acceso: abril 2025.
- IDERA (2019). *Infraestructura de Datos Espaciales de la República Argentina*. <https://www.idera.gob.ar/>
- Iniesto Alba, M.J, y Núñez Andrés M.A. (2021). *Infraestructura de datos espaciales*. Ministerio de Transporte, movilidad y agenda urbana, Gobierno de España. Disponible en línea: <https://www.ign.es/resources/acercaDe/libDigPub/Libro-IDE-2020.pdf>. Acceso: abril 2005
- Olaya, V. (2014). *Sistemas de Información Geográfica*. Disponible en línea: <https://volaya.github.io/libro-sig/>. Acceso: abril 2025.
- Olaya, V., Turton, I. y Fonts, O. (2012). Servidores remotos y clientes. Web Mapping. En V. Olaya, *Sistemas de Información Geográfica*.
- Ponjuán Dante, G. (2011). La gestión de información y sus modelos representativos. *Valoraciones Ciencias de la Información*, 42(2), 11-17. Disponible en línea: <https://www.redalyc.org/pdf/1814/181422294003.pdf> Acceso: abril 2025.
- Vargas Velásquez, G.G. (2022). *Incorporación de la tecnología QR en el almacenamiento y visualización de metadatos geográficos en el marco de una IDE Corporativa*. Trabajo de Fin de Máster del Máster en Geotecnologías Cartográficas en Ingeniería y Arquitectura. Disponible en línea: <http://hdl.handle.net/10366/150681> Acceso: abril 2025.
- Wikipedia. (2022). Cliente (informática). Disponible en línea: [https://es.wikipedia.org/wiki/Cliente_\(inform%C3%A1tica\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Cliente_(inform%C3%A1tica)). Acceso: abril 2025.

ANEXO 3

Desarrollo de Capacidades para la IDE

Luis Reynoso

Resumen

La gestión de la información geoespacial comienza a adquirir cada día mayor relevancia en diferentes niveles jurisdiccionales. Las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE) permiten configurar servicios web con información geoespacial detrás de los cuales se articulan grupos de actores o involucrados que permiten el mantenimiento de dicha información. Para tal propósito es imprescindible el desarrollo de capacidades, la construcción colaborativa de aplicaciones entre distintos organismos que aprovechen tal información y un marco de trabajo coordinado. En esta comunicación describimos dos iniciativas para el desarrollo de capacidades para la gestión de la información geoespacial: la primera llevada adelante a nivel nacional por el grupo de trabajo de Academia y Ciencia de IDERA (Infraestructura de Datos Espaciales de la República Argentina), y la segunda en el marco de la jurisdicción de la provincia del Neuquén.

Palabras Claves

Gestión de la información geoespacial, desarrollo de capacidades, gestión colaborativa, arco integrado de información geoespacial IGIF.

Introducción

Una infraestructura de Datos Espaciales (IDE) está esencialmente asociada a la gestión de información geoespacial sobre fenómenos de la vida real. Lo más habitual es que la información espacial publicada en una IDE sea administrada a partir del uso de Sistemas de Información Geográfica. Por ello, IDE y SIG son dos recursos tecnológicos inherentemente relacionados. La puesta en marcha de un nodo IDE requiere de aspectos tecnológicos, legales, organizacionales y de financiamiento (entre otros). No es una tarea sencilla, pero una vez iniciada dicha tarea, tiene la ventaja de poder articular políticas de estado y políticas públicas basadas en información real.

El crecimiento adecuado de las IDE depende en muchos casos del desarrollo de capacidades de diferentes actores vinculados a la IDE. Estas capacidades están en continua evolución ya que las IDE son consideradas dispositivos tecnológicos y la tecnología evoluciona constantemente.

Sin ir más lejos en los últimos años se avanza significativamente en temáticas como: análisis de grandes volúmenes de datos (*big data*): por ejemplo procesamiento de cúmulos de imágenes provenientes de vuelos de drones, imágenes satelitales, etc.; el uso de inteligencia artificial (IA) y *machine learning* en bases de datos ej. modelos de predicción en distintas temáticas (valores de mercado, fraude fiscal, etc.); modelamiento 3D y 4D, desarrollo de nuevos estándares (por ej. SDMX² para estadísticas internacionales); etc.

El Marco Integrado de Información Espacial de las Naciones Unidas, UN-IGIF (su sigla en inglés), nos invita a toda la comunidad de IDERA a revisar el plan estratégico nacional y regional, y a emprender una mirada más amplia y abarcativa de la gestión de la información espacial en todos los niveles jurisdiccionales. Esta mirada tiene presente aspectos transversales como lo son las nueve vías estratégicas: Gobernanza e Instituciones, Legal y Políticas, Financiera, Datos, Innovación, Estándares, Asociaciones, Capacidad y Educación, Comunicación y Compromiso (Figura 1).

Figura 1

Vías estratégicas del marco integrado del IGIF



Desde el punto de vista tecnológico, considerando tecnología como sinónimo de *know-how*, es fundamental los conceptos de capacidad y desarrollo de capacidades: La **capacidad** es la aptitud de las personas, las organizaciones y la sociedad en su conjunto para gestionar sus asuntos con éxito. En cambio, el **desarrollo de capacidades** (DC) es un proceso de cambio interno de las personas, las organizaciones o la sociedad. DC es el “proceso mediante el cual las personas, las organizaciones y la sociedad en su conjunto adquieren, fortalecen, crean, adaptan y mantienen la capacidad a lo largo del tiempo”.

Como lo indican las herramientas e inventario de necesidades de la vía estratégica 8 (Capacidad y Educación) debemos considerar el desarrollo de las siguientes capacidades asociadas a la gestión espacial (la lista no es taxativa):

- Conceptos de SIG generales

² SDMX es un estándar ISO (ISO 17369:2013) que describe cómo deben estructurarse y intercambiarse los datos estadísticos y sus metadatos.

- Generación de datos geoespacial, conversión y mantenimiento
- Diseño gráfico y Cartografía
- Creación y edición de metadatos
- Interpretación de imágenes
- Análisis SIG
- Flujos de trabajo SIG
- Modelamiento 3D y modelamiento 4D
- Comprensión básica de programación
- Conocimiento de Lenguaje de Consulta Estructurado (SQL)
- Programación Orientada a Objetos
- Arquitectura SIG Básica (de escritorio y en la nube)
- Conocimiento y experiencia en servicios web
- Desarrollo de aplicaciones móviles
- Habilidades gestión de proyectos

Estas capacidades se desarrollarán en distintos niveles de profundidad en relación con las funciones que tienen diferentes agentes trabajando en torno a SIG e IDE.

La presente comunicación describe en los siguientes párrafos una iniciativa nacional vinculada al desarrollo de capacidades llevada a cabo por el grupo de trabajo de Academia y Ciencia (AyC) de IDERA. Sigue una sección que menciona distintos tópicos de una iniciativa provincial llevada a cabo en la provincia del Neuquén que se relacionan directamente con la IDE, estos son: la actualización del sistema catastral provincial (utilizado por más de 1500 usuarios incluyendo organismos nacionales, provinciales y municipales); su base de datos para administrar grandes volúmenes de información, y de su sistema de información geográfica (SIG); la publicación de sus servicios en portales y geoservicios; la transformación a Posgar07 en conjunto con otros organismos; la reducción de tiempos de visados de organismos visadores y el mejoramiento de la información publicada en IDE por dichos organismos (no solo de objetos territoriales sino también de sus restricciones). Finalmente se incluyen las principales conclusiones sobre los contenidos explicitados en la presente comunicación.

Iniciativa nacional

El grupo de trabajo de Academia y Ciencia (AyC) tiene como misión: “Articular medios y soluciones para generar sinergia entre Academia, Ciencia, IDERA y sociedad, y promover la democratización de la información geoespacial académica”.

En 2022 AyC comenzó a trabajar activamente con la vía estratégica 8 “Capacidad y Educación”. A continuación, se presentan los componentes de dicha vía que fueron presentados durante el último encuentro de Grupos de Trabajo de IDERA (Elementos. Principios Rectores, Acciones, Entregables y Resultados).

Figura 2

Los cuatro elementos de la vía estratégica 8 “Capacidad y Educación” del marco integrado IGIF



Los cuatro elementos, descriptos a continuación, que conforman esta vía 8 (Figura 2) son a su vez sobre los que todo programa de desarrollo de capacidades debería focalizarse:

- La **Sensibilización o Concientización** plantea, defiende y promueve los principios, valores, necesidades y beneficios de la información geoespacial a través de técnicas que incluyen cursos de ‘contacto’, cursos en línea y programas de divulgación que involucran a diferentes grupos de interés, comunidades e individuos.
- La **Educación formal** imparte conocimiento, ciencia y tecnología, y desarrolla competencias, habilidades e instintos en el manejo de la información geoespacial y su aplicación.
- El **Entrenamiento profesional** debe ofrecer experiencia práctica, intensiva y de mejora de las habilidades, y promover el aprendizaje y el desarrollo de por vida necesarios para sustentar la gestión de la información geoespacial. Esto ayuda a la adopción, adaptación y aceptación de paradigmas, tecnologías y métodos nuevos y emergentes, brindando beneficios duraderos a una organización de información geoespacial.
- El **Emprendimiento** fomenta la capacidad a través de aplicaciones innovadoras y creativas, el diseño, el lanzamiento y la operación de nuevas empresas comerciales respaldadas por información geoespacial.

En relación con dicha vía, uno de los objetivos del trabajo de la coordinación del grupo de trabajo de AyC de IDERA en conjunto con los representantes de Universidades Públicas es emprender un ciclo de desarrollo de capacidades y capacitación abierto a todo público (técnicos, profesionales e interesados de la comunidad de IDERA) brindado en forma periódica durante el año. Esta acción se relaciona directamente con los elementos de sensibilización y entrenamiento profesional (Figura 2). Se planifica brindar al menos un encuentro virtual por mes. Hasta el momento se desarrollaron dos capacitaciones virtuales, sobre:

- **Evaluación de Calidad de la Información geográfica mediante ISO 19157:** en la cual se analizaron las características de las normas: exactitud posicional, exactitud temática, compleción, consistencia lógica, calidad temporal, exactitud temática y usabilidad.

- **Metodología para evaluar la exactitud posicional de límites territoriales:** La metodología a partir de una tesis de maestría (de Ecuador), distingue pasos esenciales como: Revisión bibliográfica, recopilación de información geográfica, depuración de la información geográfica, evaluación de la exactitud, conclusiones y recomendaciones.

En AyC, y en función del trabajo con la vía estratégica 8, se tiene en cuenta un amplio conjunto de destinatarios de toda capacitación o programa de desarrollo de capacidades. En particular la vía 8 considera los siguientes grupos objetivos incluidos en la Figura 3. A mediano plazo se pretende avanzar en un programa de desarrollo de capacidades considerando iniciativas nacionales, regionales y locales que sustenten y corroboren la propuesta de Capacidad y Educación del IGIF para la comunidad de IDERA.

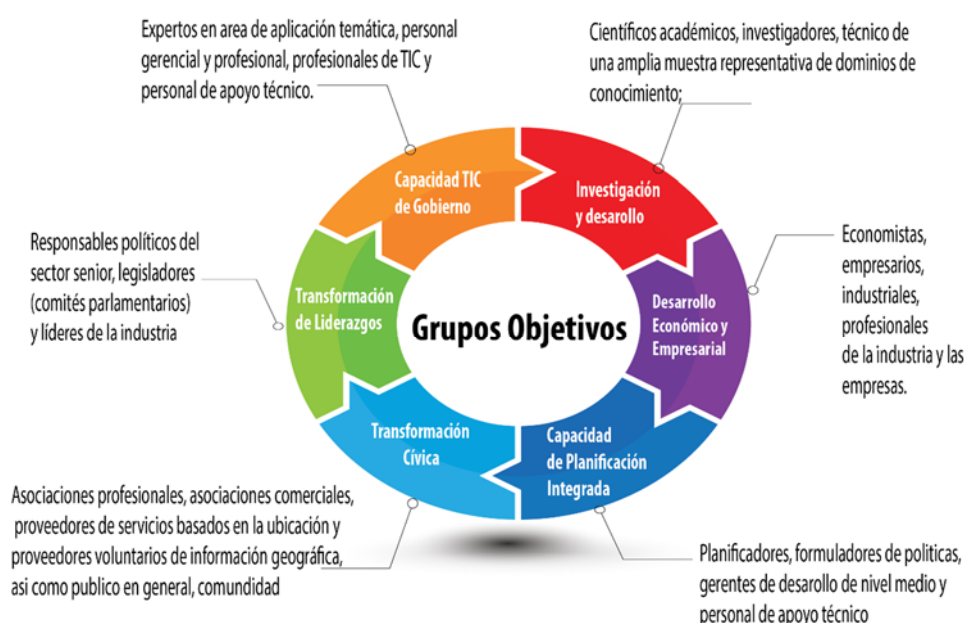
Iniciativa provincial

Transformación conjunta a Posgar07

En el marco de la IDE de la provincia del Neuquén, actualmente toda la información geográfica disponible en el portal, <http://catalogo.neuquen.gov.ar/portal/>, y su catálogo, <http://ideneu.neuquen.gov.ar:8080/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/home>, utilizan el mismo CRS (*Coordinate Reference System*), en este caso el Posgar94. Esta condición de usar el mismo CRS por parte de todos los geoservicios de una IDE es el eje vertebral que garantiza la superposición de capas.

Figura 3

Grupos Objetivos. Vía Estratégica 8 Capacidad y Educación (IGIF)



Actualmente se está coordinando a nivel interministerial la transformación de toda la información de la IDE a Posgar07. Esta actividad requiere de un marco legal que lo sustente, por ello se está terminando la confección de una norma legal para articular la tarea entre todos los organismos al mismo tiempo.

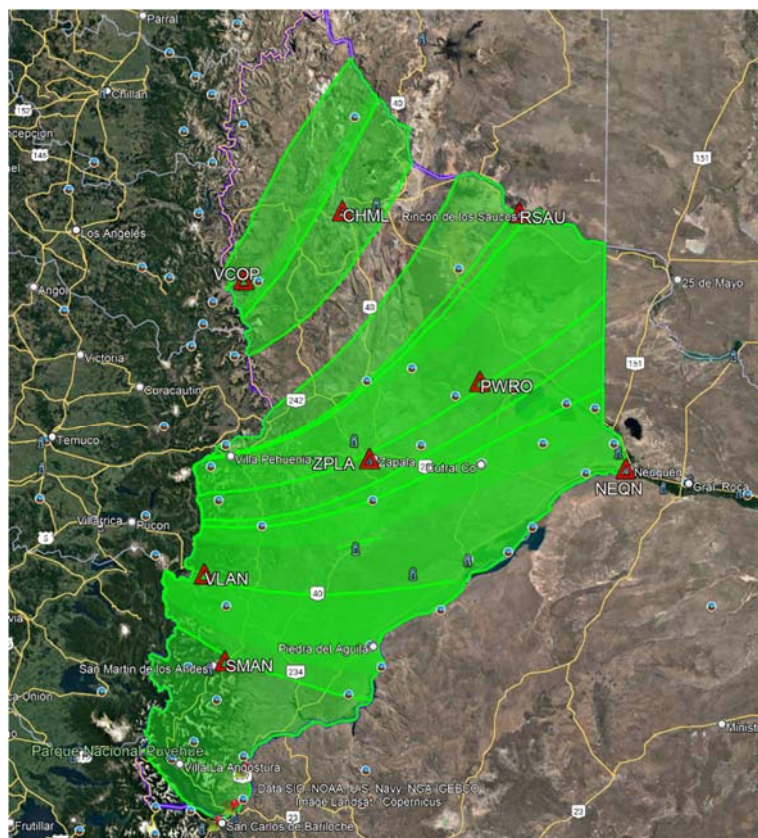
Estaciones permanentes existentes y por instalar

La provincia cuenta actualmente con 8 estaciones permanentes (Figura 4) y franjas cubiertas por constelaciones. En el marco del proyecto “Mejora de la Infraestructura Territorial Catastral (ITC) de la Dirección Provincial de Catastro e Información Territorial de la Provincia del Neuquén” (Programa de Fortalecimiento de la Gestión Provincial, Préstamo BID 3835 OC-AR) se incluyó la adquisición de 4 estaciones permanentes (Equipos Doble Frecuencia, Multiconstelación: GPS, Glonass, Galileo, Beidou, Receptor GNSS, Conectividad Wifi) con el fin de cubrir la totalidad de la provincia. Para validar tal especificación (de las estaciones) se trabajó en conjunto con el IGN para detallar especificaciones genéricas (similares a otras especificaciones incluidas en previas licitaciones nacionales).

Las estaciones se instalarán en: Piedra del Aguila, Cutral-Có, Loncopué, Chorriaca, Manzano Amargo. La ubicación precisa dependerá de avanzar con el estudio de la mejor posición y la conectividad disponible de estas localidades a Internet.

Figura 4

Estaciones permanentes de la Provincia de Neuquén



Las estaciones permanentes facilitarán tareas asociadas a mensuras y desarrollos de proyectos territoriales en el sector público y privado. Garantizarán la disponibilidad de uso de estaciones permanentes. Por otro lado, la transformación a Posgar07 permitirá a la DPCeIT solicitar a los agrimensores la validación de sus mensuras a partir de la aplicación ppp-Ar del IGN (<https://www.ign.gob.ar/ppp/auth/login>) (IGN, 2022).

Visados de mensura de organismos nacionales, provinciales y municipales

Por otro lado, existe un importante proceso interorganizacional que hace uso de la información publicada en IDE, esto es el proceso de registración de mensuras. Para cumplimentar dicha registración, los profesionales del sector privado que presentan la solicitud requieren del visado de ciertos organismos específicos, dependiendo de los objetos territoriales legales (OTL) involucrados en las mensuras. Los organismos visadores son: Municipios, Desarrollo Urbano, Dirección Provincial de Tierras, Recursos Hídricos, Ente provincial del Neuquén (EPEN), Subsecretaría de Hidrocarburos, Dirección Provincial de Bosques, Industria y Comercio, Vialidad Provincial, Vialidad Nacional, Parques Nacionales. Agencia de Administración de Bienes del Estado (AABE), Cancillería, Entes Reguladores. Todos estos organismos con excepción de algunos municipios, provee información en el nodo IDE de la provincia IDENEU, nodos nacionales e IDERA.

Comunidades de práctica y desarrollo de capacidades provinciales

La provincia del Neuquén participa activamente en IDERA. Organizó en los años 2009 y 2016 dos jornadas nacionales y dos jornadas de capacitación en SIG e IDE. Así mismo se trabaja activamente en la IDE a partir de un “Comunidad de Práctica SIG” que se compone de referentes de SIG designados por todos los organismos de la provincia que utilizan SIG y/o publican geoservicios. Las comunidades de práctica son mencionadas como una forma de tomar acciones en camino sugerido por la vía estratégica 8 del IGIF. Estas comunidades constituyen “redes de intercambio de conocimientos y prácticas” que son clave para enriquecer las conversaciones y conectar a los involucrados para: formular políticas públicas, identificar temas específicos o problemas temáticos en torno a los cuales centrar el intercambio de conocimientos para mejorar las capacidades; utilizar plataformas existentes como mecanismo de comunicación; optimizar las actividades de financiación existentes y nuevos recursos financieros.

Durante el año 2022 también se desarrollaron dos capacitaciones para profesores de enseñanza de geografía, una se desarrolló en Neuquén y otra en San Martín de los Andes. Las cuales fueron brindada por personal del Instituto Geográfico Nacional (IGN), y organizada en conjunto entre el organismo de planificación de la provincia COPADE y el IGN. De acuerdo con el IGIF “existe una creciente defensa de que las tecnologías geoespaciales se enseñen en los sistemas de educación primaria y secundaria” y se propone como línea de acción el abordaje de alfabetización geoespacial y el aprendizaje basado en problemas en etapas tempranas del proceso de enseñanza-aprendizaje. Esto se fortalece con el “Acceso ampliado en línea a

herramientas y datos geográficos”; y la proliferación de dispositivos geohabilitados (ej. celulares inteligentes).

Conclusiones

La consideración del concepto de “desarrollo de capacidades”, nos permite pensar con relación a cómo los individuos, las organizaciones y la sociedad adquieren, fortalecen, crean, adaptan y mantienen una capacidad a lo largo del tiempo. Este enfoque es imprescindible cuando se requiere que un conjunto de agentes de distintos organismos del estado y del sector privado gestionen, administren y publiquen información geoespacial, y cuando los recursos tecnológicos, los estándares internacionales y la interoperabilidad que subyace en la interacción de los organismos, evolucionan constantemente y requieren adquirir y aplicar nuevas capacidades.

A nivel nacional la presente comunicación, describió un nuevo enfoque de la coordinación del grupo de trabajo de AyC, y de los representantes de Universidades Públicas trabajando en base a la Vía Estratégica 8 “Capacidad y Educación” del marco integrado IGIF. Este enfoque se basa en gestionar un programa de desarrollo de capacidades (en etapa de formulación) y de desarrollar un ciclo de desarrollo de capacidades a partir de talleres virtuales brindados en forma periódica para toda la comunidad de IDERA y abierto a todo público. Se pretende con dicho ciclo: “adquirir, fortalecer y mantener capacidades en relación a SIG e IDE” y aspectos de calidad de la información y gestión de la información geoespacial. Hasta la actualidad se han desarrollado dos talleres en dicho ciclo, pero se planifica un evento por mes.

A nivel provincial, la presente comunicación detalló diferentes iniciativas del catastro de la provincia del Neuquén, a partir de la ejecución de un proyecto con financiación externa. El proyecto permitirá la mejora y actualización del sistema catastral, fundamentalmente de su base de datos, su SIG, sus servicios web publicados y portal web, contemplando la transformación del sistema de referencias de coordenadas actual, de Posgar84 a Posgar07. Tal transformación requiere que todos los organismos que publican geoservicios en el portal de la IDE provincial (IDENEU) transformen sus bases a Posgar07 al mismo tiempo. Por tal motivo, esta actividad se realizará en forma coordinada y colaborativa, bajo un marco legal, con el cual se espera también disminuir los procesos de visados de mensuras tramitadas por el catastro provincial, y mejorar la calidad de la publicación en IDE de los objetos territoriales legales (OTL) que los organismos visadores administran, en conjunto con las restricciones de dichos objetos.

Agradecimientos

La presente comunicación se realiza en el marco del proyecto “Mejora de la Infraestructura Territorial Catastral (ITC) de la Dirección Provincial de Catastro e Información Territorial de la Provincia del Neuquén”, Programa de Fortalecimiento de la Gestión Provincial (Préstamo BID 3835 OC-AR); del proyecto 04/F023 “Tecnologías de Datos Espaciales, Visualización y Realidad

Virtual” y del proyecto “Mapas web & Datos Abiertos” (opendata.fi.uncoma.edu.ar) de la Facultad de Informática de la Universidad Nacional del Comahue.

Referencias

Capacity Development: A UNDP Primer. [Online] disponible en:

<https://www.undp.org/publications/capacity-development-undp-primer>

European Parliament (EP) 2017. European Parliament, Understanding capacity-building/capacity development: A core concept of development policy [Online] Disponible en:

[https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document.html?reference=EPRS_BRI\(2017\)59941_1](https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document.html?reference=EPRS_BRI(2017)59941_1)

IDE, Transparencia y Participación Ciudadana. Libro XII Jornadas IDERA. Disponible en https://www.idera.gob.ar/images/stories/downloads/jornadas/XIII_SanJuan/Libro_Ponencias_XIII_IDERA_SanJuan_OK.pdf [accedido 19 de noviembre 2022].

Instituto Geográfico Nacional, IGN, (2022) Servicio PPP-Ar Posicionamiento Puntual Preciso de la República Argentina. [Online] disponible en:

https://www.ign.gob.ar/archivos/ppp/Informe_tecnico_PPP-Ar.pdf

LenCD (2011) Learning Package on Capacity Development, Produced by Learning Network on CAPACITY Development, [Online] disponible en: <http://lencd.org/learning/how>, Accessed January 2019.

Nussbaum, M. C., (2012), Crear capacidades: Propuesta para el desarrollo humano, Paidós, Barcelona.

Reynoso, L. (2018) Hacia Nuevas Prácticas en Gobierno Abierto y Electrónico:

IDE, Transparencia y Participación Ciudadana. Libro XII Jornadas IDERA. Disponible en:

https://www.idera.gob.ar/images/stories/downloads/jornadas/XIII_SanJuan/Libro_Ponencias_XII_IDERA_SanJuan_OK.pdf [accedido 19 de noviembre 2022].

UNDP Capacity Development Group (2008), Practice Note on Capacity Development, UNDP, Nueva York.

UNDP IGIF (2022), Marco Integrado de Información Geoespacial (IGIF) [Online] disponible en:

<https://ggim.un.org/IGIF/>

CAPÍTULO 4

Introducción a la Cartografía

Sandra E. Torrusio, Betina I. Zucchini y Natalia S. Morales

Generalidades

En este capítulo brindaremos una noción básica sobre la representación cartográfica del territorio para comprender términos y conceptos claves para el manejo de la información geoespacial, tanto se trate de imágenes satelitales como de datos geográficos de otras fuentes o los generados por ustedes mismos. Para ello, debemos recurrir a ciertos fundamentos propios de otras áreas del conocimiento como la **Geodesia**, cuyo objetivo es el estudio y determinación de la forma y dimensiones de la Tierra, de su campo de gravedad, de sus variaciones temporales, así como las ubicaciones sobre su superficie (Huerta y Noguera , 2005); y la **Cartografía**, que es la disciplina de las Ciencias Geográficas que se ocupa de la representación gráfica de la superficie terrestre en sus más diversos aspectos en documentos impresos o digitales como son los mapas. El desarrollo de la cartografía se remonta a la antigüedad, y luego encuentra soporte en los campos de la geodesia y la topografía. A lo largo de su historia, el ser humano se ha visto en la necesidad de medir superficies y distancias, así como de representar territorios, viajes y conquistas. Con el tiempo, esta necesidad impulsó el desarrollo de diversas técnicas y tecnologías, que han evolucionado hasta llegar a nuestros días con estimaciones y mediciones de alta precisión tomadas tanto desde el terreno como desde el espacio ultraterrestre.

Las disciplinas mencionadas dependen en gran medida del uso de sistemas de referencia terrestre y espacial (en el sentido del espacio exterior, el universo, que proporciona la referencia para la ubicación de nuestro planeta). Estos sistemas son necesarios para establecer puntos de referencia en la superficie de la Tierra y para la medición y análisis de datos geoespaciales.

A lo largo de este capítulo, exploraremos los conceptos que nos llevarán a comprender mejor cómo se puede representar nuestro planeta, un cuerpo tridimensional bastante irregular, a través de una figura plana, como es el mapa (bidimensional), tratando de generar mínimas deformaciones durante la transformación.

El Geoide

La Geodesia define en el geoide un modelo que representa de manera tridimensional la forma de la Tierra como una superficie irregular y no uniforme que se ajusta al campo gravitatorio terrestre, en la que todos sus puntos experimentan la misma atracción siendo esta equivalente a la experimentada al nivel del mar. El geoide es el modelo más preciso para medir altitudes y calcular la gravedad, pero debido a las diferentes densidades de los materiales que componen la corteza y el manto terrestre, así como a las alteraciones provocadas por los diversos tipos de movimientos que sufre, esta superficie no es uniforme, sino que contiene ondulaciones que alteran los cálculos de localizaciones y distancias. Toma como referencia el nivel del mar en equilibrio y su prolongación en las áreas continentales. A partir del geoide es posible acercarse sin demasiado error a otras formas que puedan ser definida geométricamente.

Sistemas y Marcos Geodésicos de Referencia

En el caso de los **Sistemas de Referencia Geodésicos** se los define como un soporte matemático para asignar coordenadas a puntos medidos *sobre la superficie terrestre*. Parte de definiciones teóricas, constantes, modelos y convenciones basadas en mediciones a través de diferentes técnicas de observación (hacia satélites y otros elementos en el espacio exterior). A estos sistemas se los debe definir para establecer la posición de puntos que respondan a un Sistema de Coordenadas con un origen, una orientación y una escala que sea accesible para todos los usuarios (IGN, 2014). Basado en esto se pueden definir dos tipos de Sistemas de Referencia y sus parámetros:

- **Sistema Local** (tangencial al elipsoide)
Con un *elipsoide* de revolución y un punto *Datum*. Ejemplo de este sistema local es Campo Inchauspe 69.
- **Sistema Global** (geocéntrico)
Con su *terna de ejes cartesianos ortogonales*, cuyo origen coincide prácticamente con el *centro de masas terrestre*. Ejemplo de este sistema global es WGS84 (*World Geodetic System 1984*)

Previamente mencionamos al geoide como un cuerpo irregular, por lo que resulta necesario definir cuerpos geométricamente suavizados para poder realizar mediciones. Así, llegamos al **Elipsoide** como una superficie definida por la longitud de su radio ecuatorial (el mayor) y un radio polar. Se genera al girar la elipse por su eje menor, siendo la forma geométrica de mayor precisión para representar a la Tierra y a partir de la cual efectuar mediciones. Estos son los parámetros de algunos de los elipsoides más comunes:

Elipsoide Hayford (el que usa el Sistema de Referencia local Campo Inchauspe 69):

Semieje mayor (a) = 6.378.388 m

Achatamiento (f) = $1 / 297$

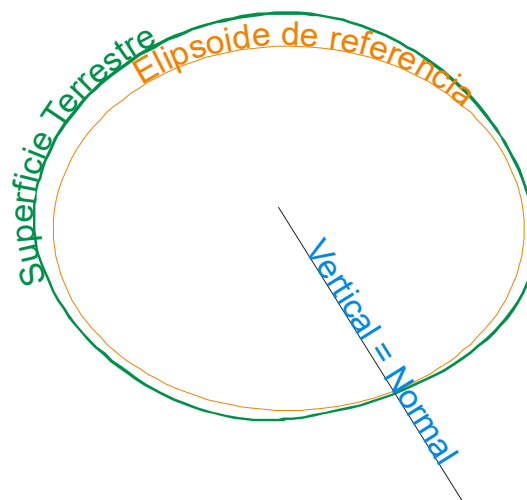
Elipsoide WGS84 (el que usa el Sistema de Referencia global homónimo)

Semieje mayor (a) = 6.378.137 m

Achatamiento (f) = $1 / 298,257223563$

En geodesia, el concepto de **Datum** define un sistema de referencia para mediciones espaciales, estableciendo un modelo matemático que relaciona coordenadas elipsoidales con la superficie terrestre. Dependiendo del ajuste empleado, estos sistemas pueden proporcionar posiciones más precisas. En algunos casos, el *Datum* determina puntos de contacto entre el elipsoide y el geoide, coincidiendo con la normal a ambos modelos en regiones específicas como se ve observa en la Figura 4.1. Esta definición es válida para los sistemas de referencia locales, no tiene alturas asociadas.

Figura 4.1

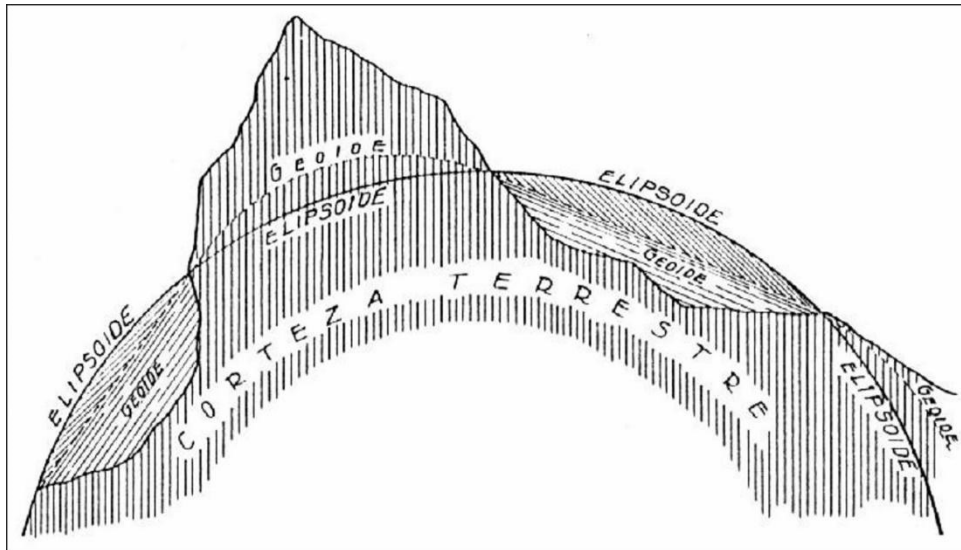


Nota. Datum: punto de origen de las mediciones, donde coinciden la normal al elipsoide y al geoide. Fuente: IGN.

La Figura 4.2. representa esquemáticamente la conjunción de geoide, elipsoide, con su proyección en el nivel medio del mar, y la corteza terrestre. Se observan también *datum* en los puntos de contacto elipsoide-geoide para los sistemas locales.

Figura 4.2

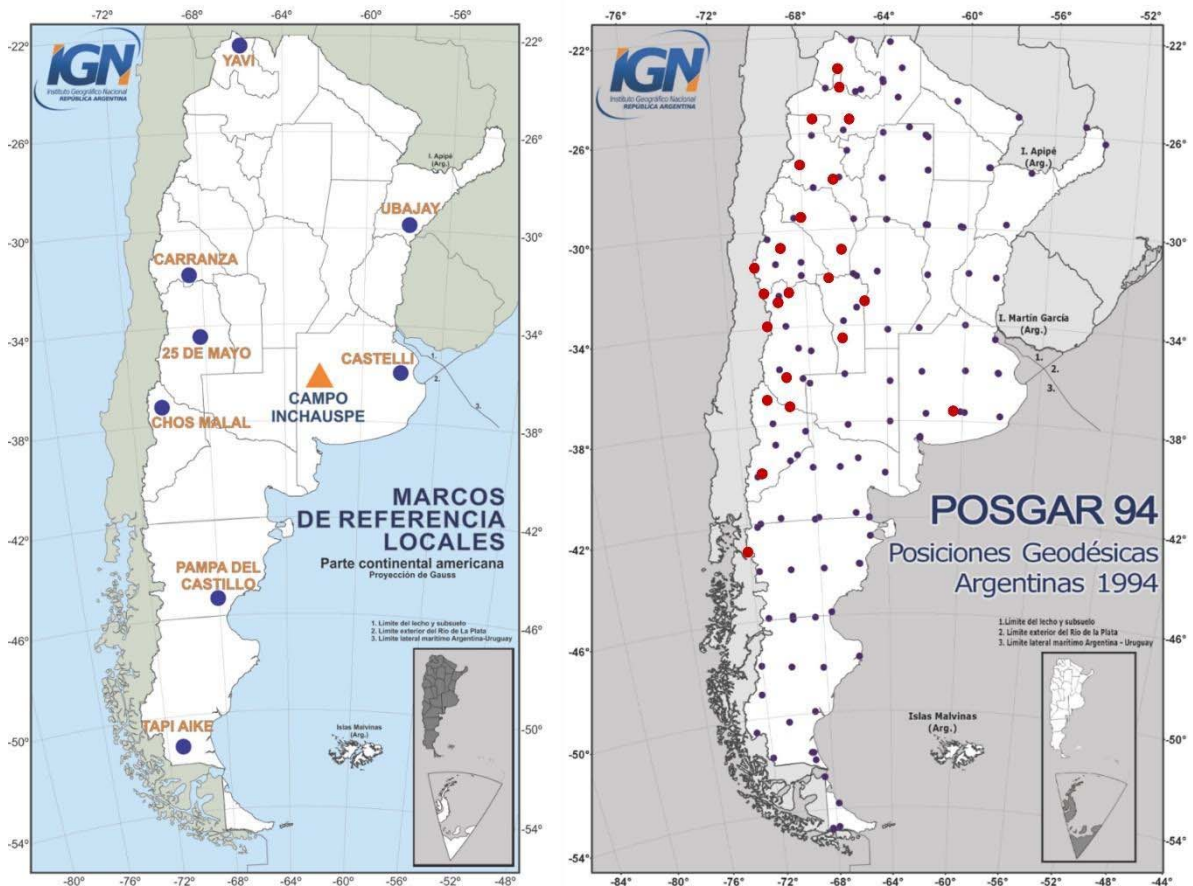
Representación conjunta de la corteza terrestre – geoide – elipsoide



Los sistemas de referencia presentados deben materializarse en el terreno. Esta materialización se denomina **Marco de Referencia** e incluye la construcción, la medición y el posterior cálculo de las coordenadas de una serie de puntos o pilares localizados sobre la superficie terrestre. Estos puntos conforman una **Red Geodésica**. En nuestro país esas redes se fueron construyendo por años, pero cabe mencionar que recién en las últimas décadas del siglo XIX se unificaron los sistemas de referencia, ya que antes coexistían varios a nivel local con sus marcos de referencia, como los que se observan a la izquierda de la Figura 4.3. Hacia finales del siglo XX y con los avances tecnológicos, las redes fueron creciendo en número de puntos y calidad de las mediciones, llegando por ejemplo en 1994 a la red geodésica POSGAR 94 (**Posiciones Geodésicas Argentinas**). En la Figura 4.3 (sector derecho) se muestra la distribución de puntos materializados en el territorio nacional vinculados al WGS84. En la actualidad se hallan distribuidas en el país estaciones GNSS (*Global Navigation Satellite System*) permanentes que registran la posición de cada punto de la red durante los 365 días del año y forman parte de marcos globales modernos. Actualmente el Marco de Referencia de nuestro país es el **POSGAR 07**, que reemplazó al POSGAR 94 en el año 2009. Retomaremos el tema un poco más adelante en este capítulo.

Algunos ejemplos de marcos de referencias globales donde se incluyen las redes geodésicas nacionales son SIRGAS 95, SIRGAS 2000, ITRF, entre otros.

Figura 4.3



Nota. Mapas de la Rep. Argentina donde se ubican los marcos de referencias locales (izq.) y las Posiciones Geodésicas Argentinas 94 (POSGAR 94) (der.). Fuente: IGN.

Características de los Sistemas de Referencia Local y Global más empleados

Sistema de referencia local: Campo Inchauspe

Este sistema estuvo vigente en nuestro país entre 1969 y 1997, cuando luego se pasó al sistema de referencia global WGS84. Su elipsoide fue el de Hayford, y su datum estuvo ubicado en un lote del Partido de Pehuajó, el campo Inchauspe, en la provincia de Buenos Aires (Figura 4.4). Su marco de referencia fue la red geodésica homónima: Campo Inchauspe.

Figura 4. 4



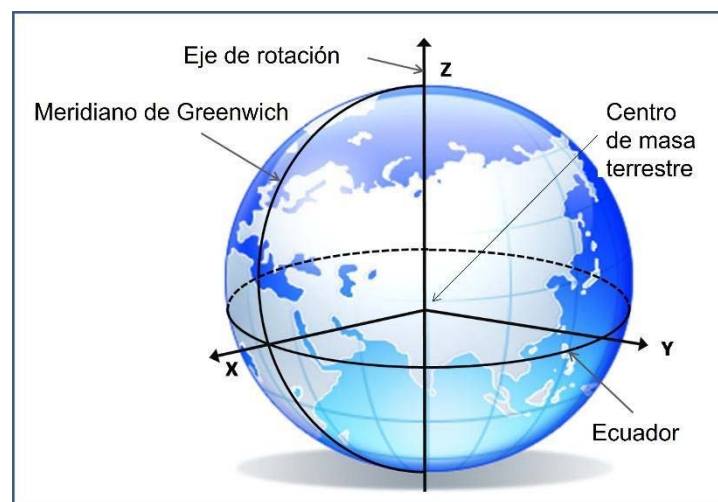
Nota. Datum Campo Inchauspe en el partido de Pehuajó, provincia de Buenos Aires. Fuente: IGN.

Sistema de referencia global: WGS84

Para la generación del Sistema de referencia global WGS84 es necesario (Figura 4.5):

- Trazar meridianos y paralelos al elipsoide generado.
- Insertar una Terna de Ejes Cartesianos Ortogonales, con centro coincidente con el centro del elipsoide.
- Centro de la Terna y del elipsoide coincidente con centro de masas de la Tierra.
- Eje Z coincidente con eje de rotación de la Tierra.
- Ejes X e Y en el plano del Ecuador. Meridiano de Greenwich pasante por eje X.

Figura 4.5

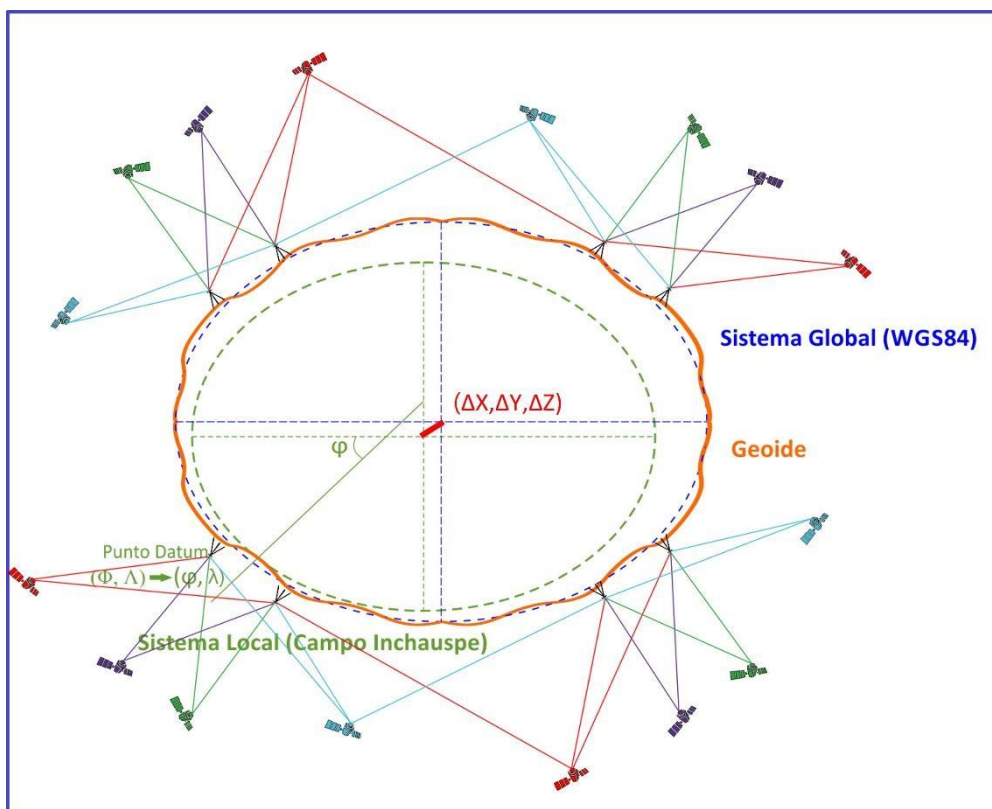


Nota. Estructura y componentes del sistema de referencia global (WGS84). Fuente: IGN.

Diferencias entre ambos sistemas

Si bien hoy el sistema WGS84 (geocéntrico, global) es el vigente, en nuestro país sigue conviviendo con el C. Inchauspe 69 (tangencial al geoide, local), por lo que existen diferencias en las mediciones entre ambos, como puede apreciarse en la Figura 4.6. Allí, vemos en color azul el sistema WGS84, en verde el Campo Inchauspe 69 y en anaranjado el geoide, mientras que la línea roja representa la diferencia entre ambos sistemas. De modo análogo, los sistemas locales previos al Campo Inchauspe 69 presentan diferencias de varias decenas de metros con éste al momento de medir.

Figura 4.6



Nota. Diferencias entre los sistemas de referencia WGS84 y Campo Inchauspe 69. Fuente: IGN.

La esfera como cuerpo que representa la Tierra: Sistema de coordenadas geográficas

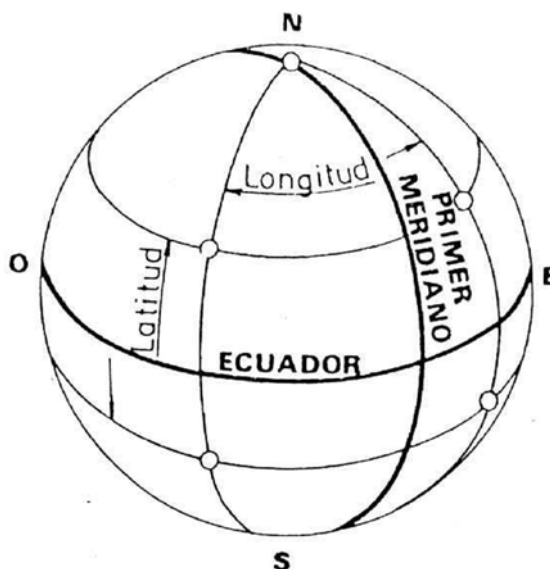
Como explicamos al inicio del capítulo, se requiere de formas geométricas suavizadas para representar al geoide y poder realizar mediciones. Mencionamos previamente que el elipsoide es el más preciso, por lo que aquí abordaremos a la esfera como una simplificación matemática del elipsoide para ciertos cálculos y representaciones.

La esfera es un modelo que representa la forma de la Tierra como una superficie suave y uniforme en la que todas las coordenadas tienen la misma distancia al centro de la Tierra y siguen una forma geométrica perfecta de una esfera. Aunque la Tierra no es exactamente una esfera, este modelo se utiliza a menudo como una aproximación para cálculos simples y para describir la forma de otros planetas o cuerpos celestes.

El Sistema de Coordenadas Geográficas es un sistema de coordenadas esféricas (Figura 4.7). Utiliza los grados de latitud (paralelos) y longitud (meridianos) y en ocasiones un valor de altitud para definir la situación de un punto sobre la superficie terrestre. La latitud es un ángulo que se mide a partir de Ecuador a lo largo de los meridianos. Tiene valor positivo hacia el Norte y negativo hacia el Sur. En el hemisferio sur, los grados de latitud se miden desde cero en el ecuador a -90 en el polo Sur, y en el hemisferio norte desde cero en el Ecuador hasta 90° en el polo Norte. La longitud de un grado de latitud se mantiene constante a lo largo del meridiano. La longitud es el ángulo que se mide a partir del meridiano de Greenwich. Tiene valor positivo al este y negativo al oeste. La longitud de un grado varía con respecto a la latitud, es decir, un grado de longitud será más pequeño a medida que nos acercamos a los polos.

Figura 4.7

Sistema de coordenadas geográficas



Sistemas de Proyección Cartográfica

Hasta aquí hemos explicado básicamente cómo medir sobre la superficie terrestre, ahora ahondaremos en cómo proyectar esta información sobre el mapa o lo que es igual, sobre el plano.

Son precisamente los **Sistemas de Proyección Cartográfica** los que permiten hacer la transformación tratando de tener mínimas deformaciones. En pocas palabras, debemos pasar de superficies curvas (la Tierra y sus modelos) a una superficie plana (el mapa).

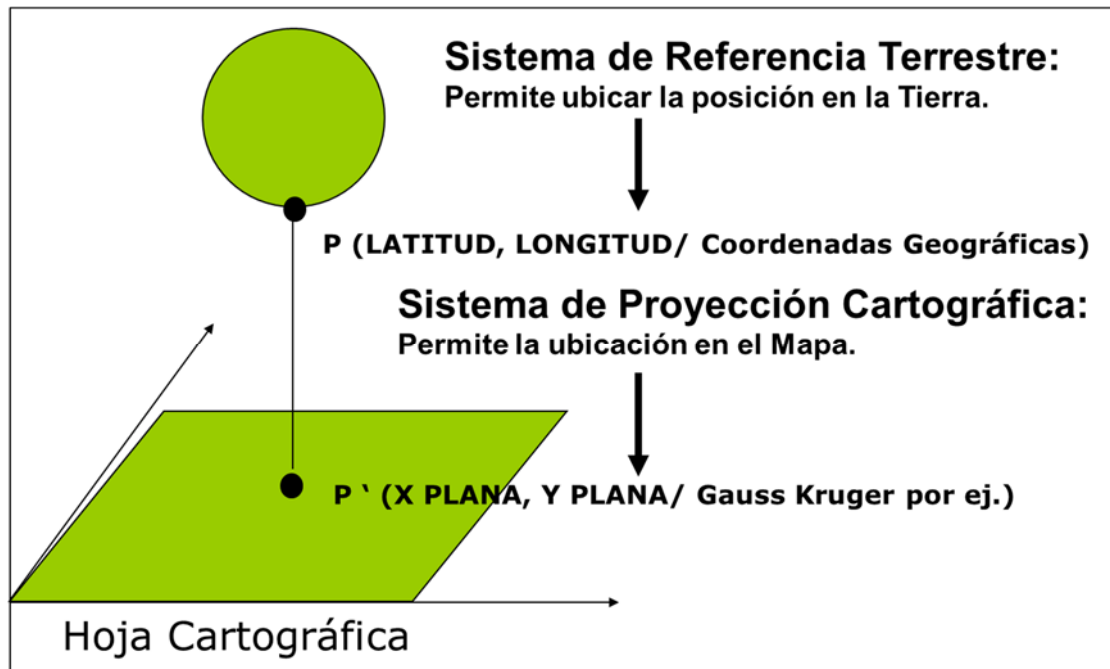
Los diferentes tipos de proyección cartográfica y la elección de un sistema en particular dependerán de las características de la superficie que se quieran conservar (la forma, las áreas o alguna cualidad especial) y según las características del territorio que se quiera representar (si

es un país extendido en sentido norte-sur, o este-oeste, o si está cerca del Ecuador o de los polos requerirá diferente sistema).

Ejemplos de estos sistemas de coordenadas planas (en metros) son el Sistema Gauss Kruger (sistema oficial de la República Argentina) y el Sistema UTM (*Universal Transverse Mercator*) que describiremos más adelante.

En la Figura 4.8. se resumen, de forma esquemática, parte de estos conceptos descriptos arriba.

Figura 4. 8



Nota. Esquema de la relación entre el concepto de Sistema de Referencia Terrestre y el Sistema de Proyección Cartográfica. Fuente: Elaboración propia.

Clasificaciones de las proyecciones cartográficas

Las proyecciones cartográficas se clasifican considerando ciertos aspectos:

a) Según la forma o superficie que se asuma para representar la Tierra:

Proyecciones Geodésicas: se asemeja el geoide a un elipsoide, y se establece una correspondencia entre este último y el plano. Son las de mayor precisión.

Proyecciones Geográficas: se asume el geoide como una esfera y de ésta se establece la correspondencia al plano. Son de menor precisión comparadas a las geodésicas.

Proyecciones Topográficas: se considera a la Tierra como un plano, y la correspondencia en este caso es de plano a plano. Son menos precisas que las dos anteriores.

b) Según la característica que conservan:

Conformes ó Isogónicas: conservan los ángulos, pero producen errores en las superficies cuando se trata de grandes áreas. Se utilizan en las cartas de navegación.

Equivalentes ó Equiáreas: conservan las superficies, pero producen importantes cambios angulares.

Equidistantes ó Automecoicas: permiten conservar algunas distancias.

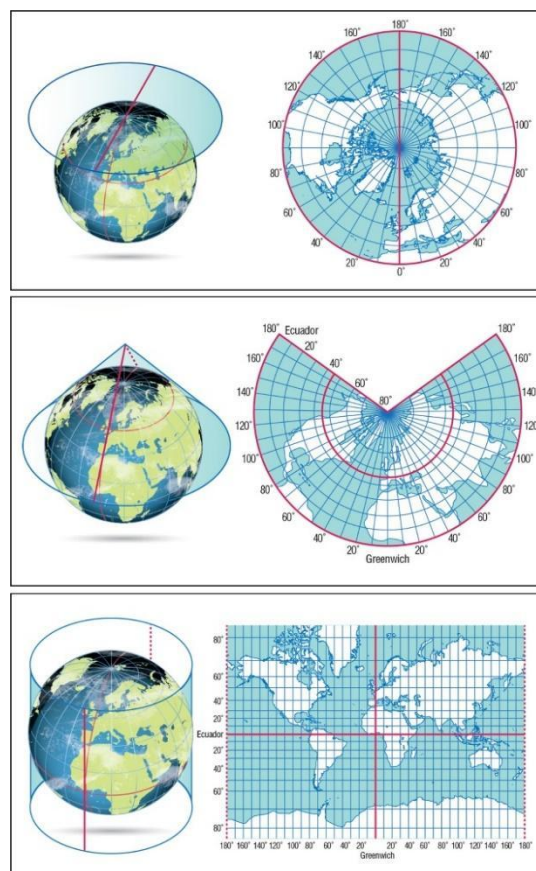
c) Según el plano de proyección (es decir, una superficie desarrollable en un plano) (Figura 4.9):

Azimutales: utilizan un plano.

Cónicas: utilizan un cono.

Cilíndricas: utilizan un cilindro.

Figura 4.9



Nota. Tipos de proyecciones cartográficas según el plano de proyección: Azimutal (arriba), Cónica (centro), Cilíndrica (abajo). Fuente: IGN.

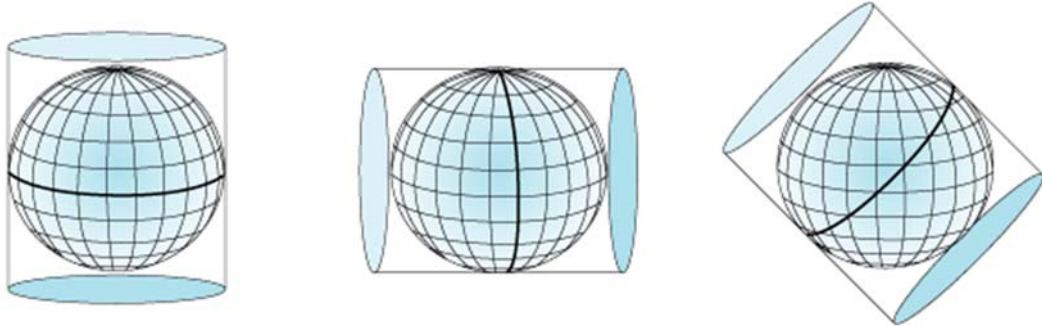
d) Según la posición de la superficie de representación (Figura 4.10):

Directas: el eje de revolución terrestre coincide con el eje de revolución del cono o cilindro y, en el caso de un plano, este es tangente al polo.

Transversas: el eje de revolución del cono o cilindro pertenece al plano ecuatorial y, en el caso del plano, éste es tangente al ecuador.

Oblicuas: el eje de revolución del cono o cilindro no pertenece al plano del ecuador ni coincide con el eje de revolución terrestre, y en las proyecciones azimutales el plano es tangente en cualquier punto.

Figura 4.10



Nota. Proyecciones cartográficas según su superficie de representación: Directa (izq.), Transversa (centro), Oblicua (der.). Fuente: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/map/projections/projection-types.htm>

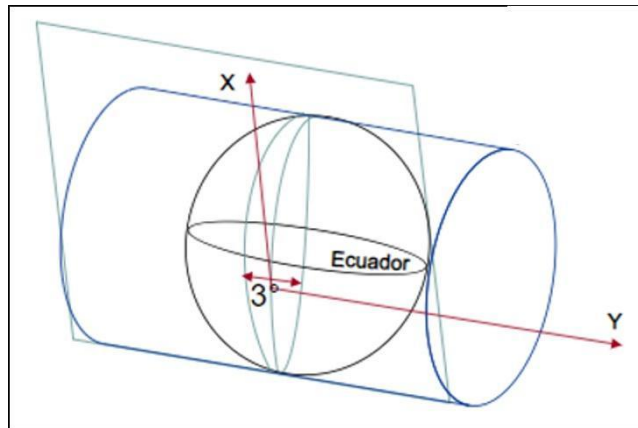
Sistema de proyección cartográfica de la República Argentina: Gauss-Krüger

Como ya mencionamos la elección de un sistema de proyección no es arbitraria, depende de las características que se quieran conservar en la representación y de la forma y orientación que tenga el área a ser representada.

En Argentina, el Instituto Geográfico Nacional (IGN) adoptó el sistema de proyección Gauss-Krüger para la elaboración de cartografía. Este sistema actualmente tiene como **Sistema de Referencia Geodésico al WGS84 y al Marco de Referencia POSGAR 07** que fueron descriptos más arriba. En el pasado estuvo asociado al Campo Inchauspe 69.

La proyección Gauss-Krüger utiliza un cilindro tangente a un meridiano como superficie auxiliar (Figura 4.11). Se trata de una *proyección geodésica, conforme y cilíndrica transversa*, de acuerdo con las clasificaciones descriptas previamente. Las deformaciones aumentan al alejarse del meridiano de tangencia, por lo que es apropiado para regiones que se desarrollan en el sentido meridional (norte-sur) como la Argentina, pero no es conveniente para aquellos que se extienden en el sentido de los paralelos.

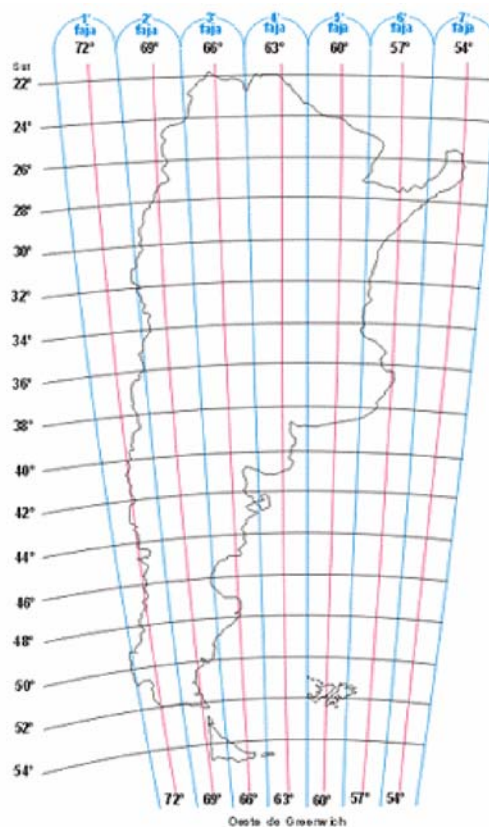
Figura 4.11



Nota. Representación del cilindro tangente a un meridiano (celeste). La coordenada X de un punto representa su distancia (en metros) al Polo Sur, la coordenada Y los metros al meridiano central más 500.000 (y por delante el número de faja correspondiente, por ej. 5.500.000 para la faja 5). Fuente: <https://slideplayer.es/slide/10651704/>

Para reducir las deformaciones en Argentina, se limitó el ancho del cilindro, dividiendo al país en siete fajas independientes cuyo ancho es de 3° de longitud. Los meridianos centrales de cada faja coinciden con los meridianos -72°, -69°, -66°, -63°, -60°, -57° y -54° (Figura 4.12).

Figura 4.12



Nota. División del territorio en las siete fajas del sistema Gauss Kruger (de 1 a 7, en color celeste) y los meridianos centrales (en color rosa). Fuente: IGN.

Este sistema es ortogonal e independiente para cada faja. El eje de las X es vertical y tiene su origen de coordenadas en el polo sur, en nuestro caso (latitud -90°). El mismo constituye el eje de partida a partir del cual se define la posición vertical de un punto, midiendo la distancia en metros.

El eje de las Y es horizontal y tiene su origen en el meridiano de tangencia. Este constituye el eje a partir del cual se define la posición horizontal de un punto, pero su origen no es igual a cero, sino que se le asignó el número de faja como unidad de millón más 500.000 metros. Esto hace que no existan coordenadas con valores negativos.

Sistema de proyección cartográfica a nivel global: *Universal Transverse Mercator* (UTM)

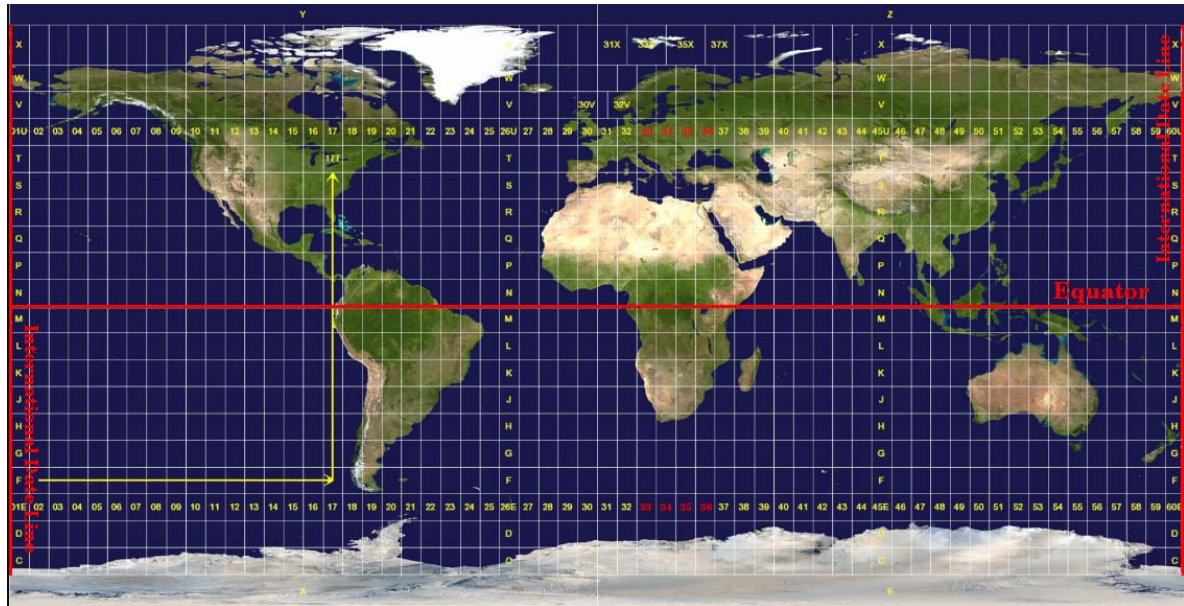
El sistema UTM tiene un alcance global, está dividido en zonas identificadas con Número (zonas de un ancho de 6° de longitud [el doble que Gauss Krüger] entre 80°S y 84°N) y Letra (zonas de 8 grados al sur y norte del Ecuador) (Figura 4.13).

El meridiano central es el origen de coordenadas. Los términos “*Easting*” y “*Northing*” representan la distancia horizontal y vertical a puntos de referencia (en metros) respectivamente. En el primer caso, es la distancia medida desde el meridiano central (500 km “falso este” para asegurar los valores positivos). En el segundo caso, es la distancia medida a partir del Ecuador (10.000 km “falso norte” para sitios al sur del Ecuador).

En la Práctica se usan solo los números para identificar las zonas, así para Argentina corresponden las zonas 19, 20 y 21 de oeste a este. Para evitar tener las coordenadas negativas para el hemisferio sur se trabaja con UTM Sur que recalcula los valores a partir del falso norte partiendo de UTM Norte.

Figura 4.13

Las zonas de Universal Transverse Mercator (UTM)



Nota. Fuente:

https://docs.qgis.org/2.18/es/docs/gentle_gis_introduction/coordinate_reference_systems.html

Mapas y escalas

Hasta aquí hemos visto gran parte de lo necesario para generar mapas, para entenderlos y comprender su alcance como una herramienta que nos permite representar el territorio.

Podemos definir a los mapas como representaciones reducidas, simbólicas y aproximadas de toda la superficie terrestre o de una parte de ella (Corberó Pascual y Figueras Mestre 1998).

Para trabajar con mapas resulta necesario establecer una relación entre las dimensiones reales del terreno y las del mapa que las representa. Lo cual nos lleva al **concepto de escala cartográfica**: que puede definirse como la relación numérica que existe entre una distancia medida sobre el mapa y la distancia que le corresponde sobre la superficie de la Tierra (Corberó Pascual y Figueras Mestre 1998).

Cuando se estudia la información geográfica es posible hacerlo desde dos niveles distintos, y según el nivel que se elija los resultados pueden variar. Debemos considerar el concepto de *escala cartográfica* (Olaya, 2017) para representar y gestionar la información o los datos en un SIG, como mencionamos en el párrafo previo.

La escala cartográfica puede ser expresada en forma numérica o gráfica.

La escala numérica se presenta como un número fraccionario.

$$\frac{1}{50.000} \quad \text{ó} \quad 1:50.000 \quad \text{ó} \quad 1/50.000$$

El numerador 1 significa unidad en el mapa, reducida tantas veces como lo indica el denominador. Es decir que una unidad del mapa (cm, mm, etc.), en el ejemplo, equivale a 50.000 unidades (cm, mm, etc.) en la realidad.

La escala gráfica es una línea dividida en segmentos numerados, expresados en m y km que permite, midiendo las distancias en la carta y comparando con dichos segmentos, determinar las medidas del terreno (Figura 4.14).

Figura 4.14

Escala gráfica



Por otro lado, debemos considerar el concepto de *escala de análisis*, el cual depende del dato en sí mismo (precisión, tipo, etc.), así como del análisis que se va a realizar con este (Olaya, 2017).

Según la dimensión o tamaño de la escala que adoptemos, podemos tener más o menos detalle de los fenómenos representados. La escala de análisis puede abarcar más o menos superficie o extensión. Estas relaciones se muestran en la Figura 4.15, donde se resumen ambos conceptos y se incluye el tipo de mapa.

Figura 4.15

Relación de tipo de mapa, escalas y detalles

Tipos de mapas	Escala	Detalle	Abarca	Tamaño
Mapamundis y Planisferios	1:100.000.000	Continentes y océanos	Mucha extensión	Pequeña escala
Mapas Geográficos	1:10.000.000	Continentes		
	1:1.000.000	Países		
Mapas estatales y/o regionales	1:500.000	Países y provincias		
	1:100.000	Municipios	Poca Extensión	Gran escala
Mapas topográficos	1:100.000	Municipios		
	1:50.000	Zonas urbanas y metropolitanas		
	1:25.000	Zonas urbanas y metropolitanas		
Mapas y Planos	1:10.000	Zonas urbanas y metropolitanas		
	1:5.000	Loteos		
	1:2.000	Catastrales		

Nota. Esquema modificado a partir de Corberó Pascual y Figueras Mestre, 1998.

Generación de mapas en los SIG

Los SIG permiten la creación y manipulación de información espacial, como vimos en el Capítulo 2, en donde los mapas resultan ser el medio de comunicación por excelencia para transmitirla. Es importante tener presente que los mapas son una síntesis de los análisis realizados y constituyen una herramienta útil para la toma de decisiones. Por este motivo, deben

transmitir de forma visual su información y la simbología utilizada debe ser la adecuada según la naturaleza de la información.

Elementos fundamentales de un mapa

Cuando se construye un mapa, el objetivo principal es transmitir información geográfica, por lo que resulta muy importante que el usuario utilice el modo correcto para ser interpretado por los destinatarios. Por este motivo, siempre debe tenerse presente para qué fue generado y/o para quiénes está dirigido, y emplear un diseño cartográfico apropiado para que esto sea posible. En general, independientemente del tipo de mapa y de los destinatarios, los mapas deben incluir los siguientes elementos:

- Título del mapa, que indica qué información se está representando;
- El área de representación de la información (mapa propiamente dicho) con la simbología apropiada;
- La escala, que dependerá del propósito del mapa y de la zona y detalle a representar. En lo posible, debe indicarse de forma gráfica y numérica;
- La grilla de coordenadas, es decir, la red de meridianos y paralelos;
- La indicación del norte, que sirve para indicar la orientación del mapa;
- La leyenda, que debe ser clara y fácil de interpretar;
- Las etiquetas, que indican todo aquello que sea considerado relevante.

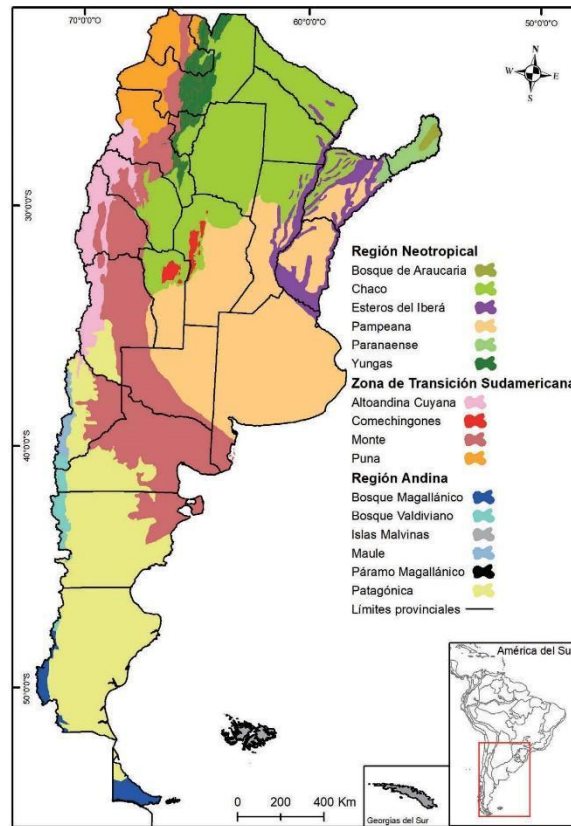
Tipos de mapas

Los mapas pueden clasificarse según el tipo de información que comunican en mapas de cartografía base (también denominados mapas topográficos) y mapas de cartografía temática. Los primeros tienen carácter general y recogen información física del terreno (por ej. información topográfica), habiendo sido durante mucho tiempo el objetivo principal de la cartografía. Los segundos, surgidos a partir del siglo XVIII, se apoyan sobre la cartografía de base y están diseñados para mostrar características o conceptos particulares de cualquier clase de fenómeno que posea una variabilidad espacial de cualquier índole (por ej. física, social, política). En los mapas topográficos, los fenómenos geográficos (por ej. ríos, accidentes topográficos) representados por elementos geométricos son en sí la información que se intenta comunicar (por ej. ríos, accidentes topográficos), mientras que en los mapas temáticos la geometría es parte de la información y el foco está puesto en la representación de valores y atributos (se ampliará en el Capítulo 5).

Los mapas temáticos son los mapas generados con mayor frecuencia en los SIG y pueden clasificarse en función de la información que transmiten en cualitativos y cuantitativos. Los mapas cualitativos son aquellos que muestran la distribución espacial o la situación de un grupo de datos clasificados en escalas de medidas alfanuméricas o nominales (por ej. mapas de suelos, mapas geológicos, mapas ambientales), mientras que los mapas cuantitativos son aquellos que muestran aspectos espaciales de datos numéricos, normalmente ordinales o en escalas de

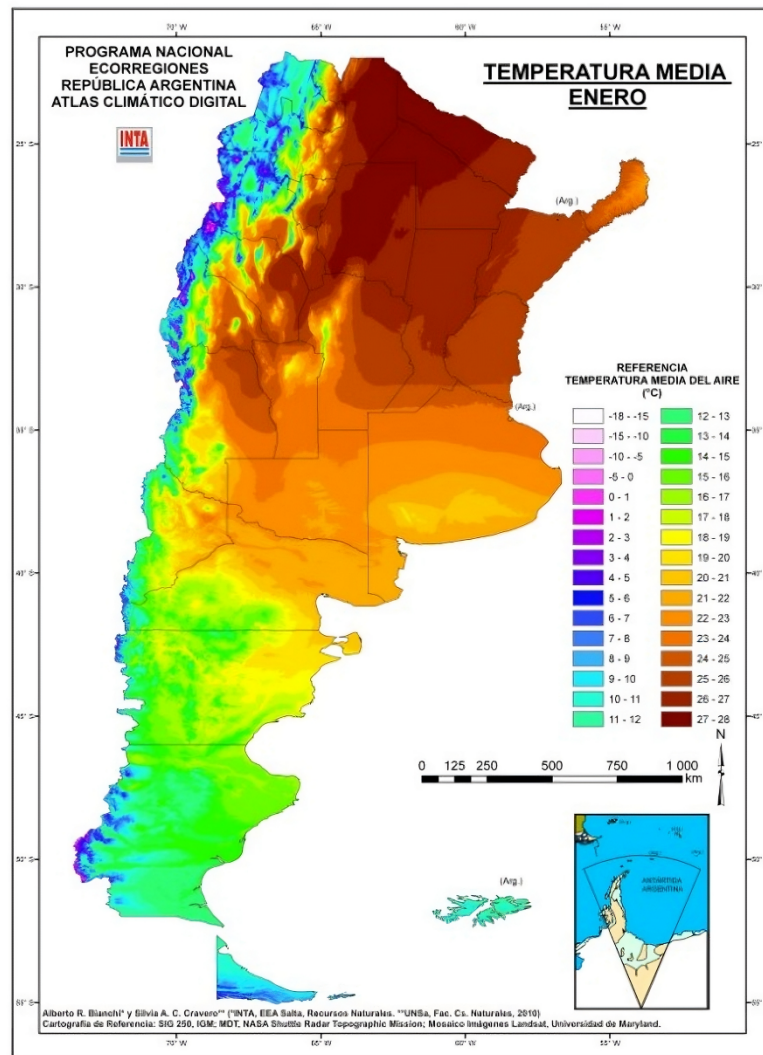
intervalos o razones (por ej. mapas de coropletas, mapas de isolíneas, mapas de flujos) donde resulta relevante agrupar los datos en clases. En general, cuando se utilizan variables cualitativas se emplean variables visuales como el color, la forma y la textura. Por el contrario, cuando se trata de mapas cuantitativos, el valor del color y el tamaño son las más apropiadas (Olaya, 2014).

Figura 4.16



Nota. Ejemplo de mapa cualitativo: mapa de las Regiones Biogeográficas de la República Argentina. Obtenido de Arana et al., 2021.

Figura 4.17



Nota. Ejemplo de mapa cuantitativo: mapa de la temperatura media anual de la República Argentina. Obtenido de Bianchi y Cravero, 2010.

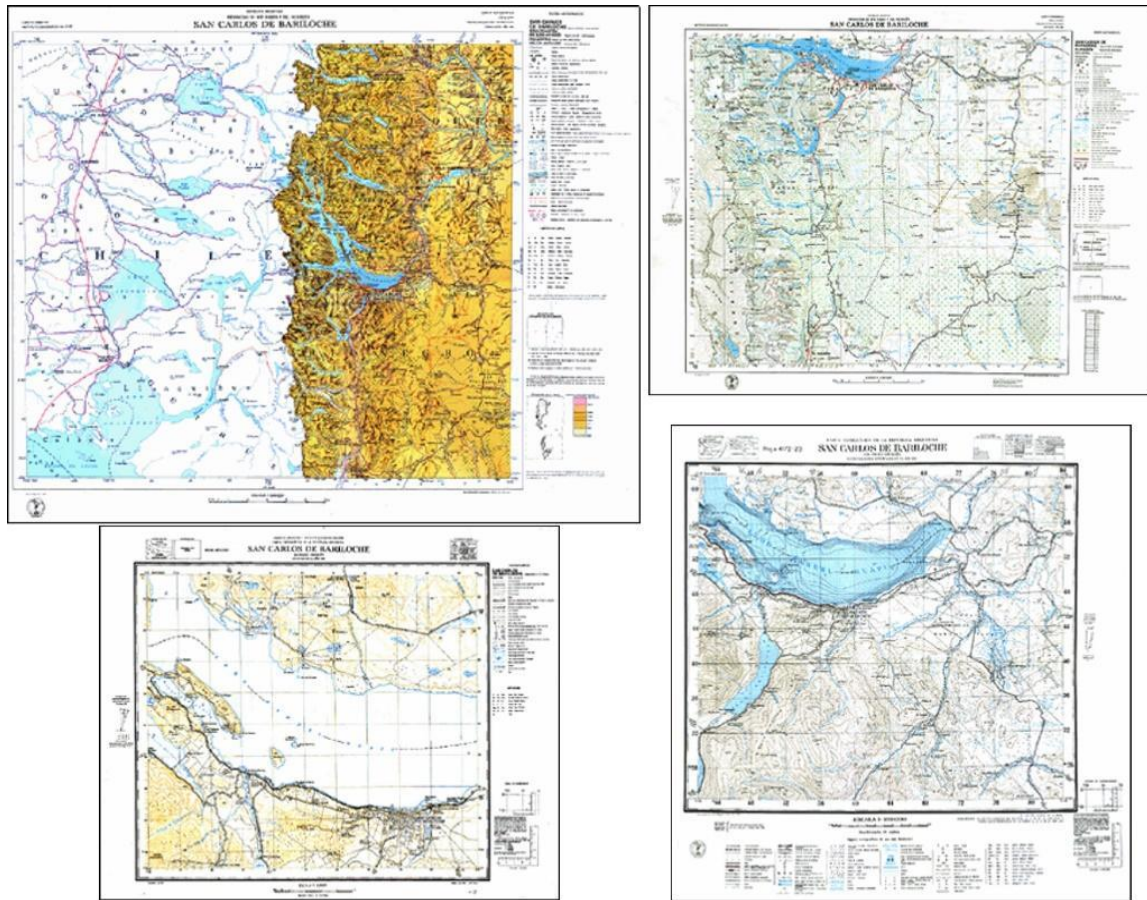
Productos cartográficos de la República Argentina

Cartas topográficas

El IGN es el organismo responsable de la generación de las cartas topográficas, las cuales expresan con cierto detalle, la configuración del terreno y los elementos culturales más importantes. Son el producto de trabajos de compilación y de levantamientos topográficos.

Nuestro país tiene cartas topográficas realizados desde escalas de poco detalle que abarcan extensas áreas (1:500.000), hasta aquellas de mayor detalle y de menor cobertura areal (1:25.000), aunque no se tiene una cobertura completa según las zonas (Figura 4.18).

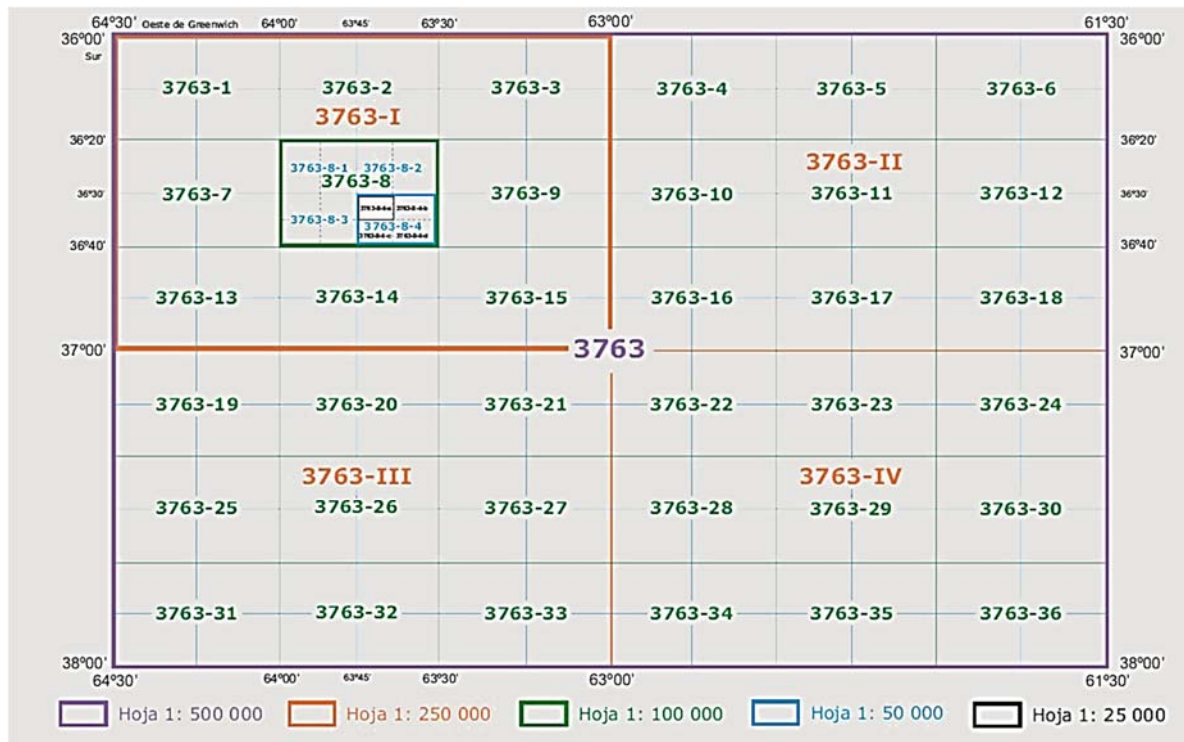
Figura 4.18



Nota. Cartas topográficas: Arriba: 1:500.000 (izq.), 1:250.000 (der.). Abajo: 1:50.000 (izq.), 1:25.000 (der.). Fuente: IGN.

Según la escala, las cartas topográficas poseen una nomenclatura y organización específica, como se aprecia en la Figura 4.19. Esta estructura facilita la búsqueda y ubicación en territorio, ya que cada carta se identifica con un número de cuatro cifras: las dos primeras refieren a la latitud y las dos últimas corresponden a la longitud.

Figura 4.19

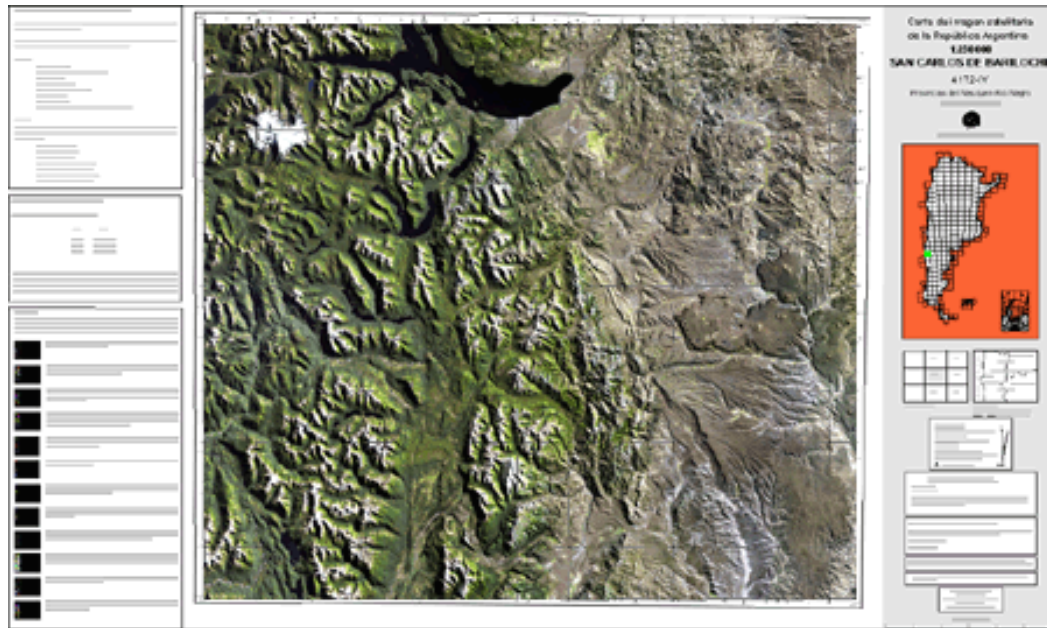


Nota. Esquema de la nomenclatura de las cartas topográficas según la escala. Fuente: IGN.

Carta imagen satelital

Es el resultado de una serie de procesos y ajustes radiométricos y geométricos, , que se aplican a las imágenes satelitales. Este tipo de carta es de utilidad para múltiples usuarios y satisface requerimientos de actualización de información cartográfica. De esta manera, contiene otro tipo de información comparada con la carta topográfica. Sobre ella es posible medir distancias y calcular perímetros y/o superficies (Figura 4.20).

Figura 4.20

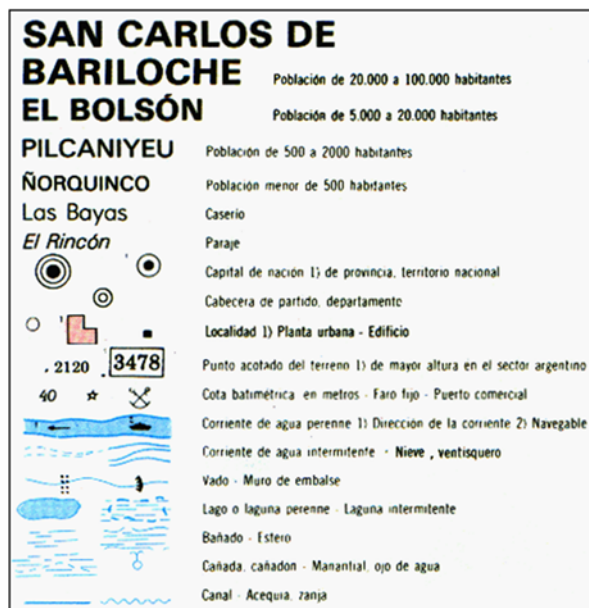


Nota. Ejemplo de Carta Imagen Satelital. Fuente IGN.

Las referencias marginales de la cartografía

Las referencias marginales de una carta, ya sea topográfica o satelital, constituyen el conjunto de datos técnicos a tener en cuenta para su correcta lectura. En una carta esas referencias varían según la zona que ésta representa y la escala utilizada. Su lectura e interpretación resulta sencilla, conociendo las prescripciones de los reglamentos "Lectura de Cartografía" y "Signos Cartográficos". Se recomienda acceder a estas obras desde la página web del IGN. Esta información cobra mayor importancia en la cartografía antigua, donde el relevamiento a campo de épocas del siglo XX tiene un valor histórico incalculable que se ha volcado de manera analógica al papel. Siguiendo con la zona de Bariloche de las cartas presentadas previamente, se presenta en la Figura 4.21 la información marginal de una de ellas.

Figura 4.21



Nota. Ejemplo de referencias marginales de la carta.

Insumos geoespaciales y su relación con las coordenadas

Como hemos visto, las proyecciones cartográficas intentan representar la superficie de la Tierra o una parte de ella, en una superficie plana (un mapa en papel o en la pantalla de la computadora). Un sistema de referencia de coordenadas (SRC)³ permite asociar un sitio real sobre la superficie de la Tierra con un mapa bidimensional proyectado en un papel o en un SIG.

La decisión sobre el sistema de proyección cartográfica y el sistema de coordenadas de referencia a utilizar depende, principalmente, de la extensión regional de la zona en la que se trabaja y del análisis que se quiere hacer. Con la ayuda de los SRC cualquier punto de la Tierra puede ser definido mediante coordenadas. Los SRC se pueden dividir en sistemas de referencia de coordenadas geográficos y sistemas de referencia de coordenadas proyectados.

Al tratar un insumo geoespacial (raster o vector) en un SIG, este puede estar en distintas situaciones respecto de su Sistema de Referencia de Coordenadas (SRC), pero siempre, para su incorporación y trabajo posterior en un SIG, debe estar relacionado a un espacio geográfico. El estado de un insumo geoespacial con relación a su SRC se puede consultar desde las propiedades de la capa, y/o en los metadatos de este. De acuerdo con la “situación” de la capa en relación con su SRC, es importante analizar y decidir las acciones a seguir (Figura 4.22):

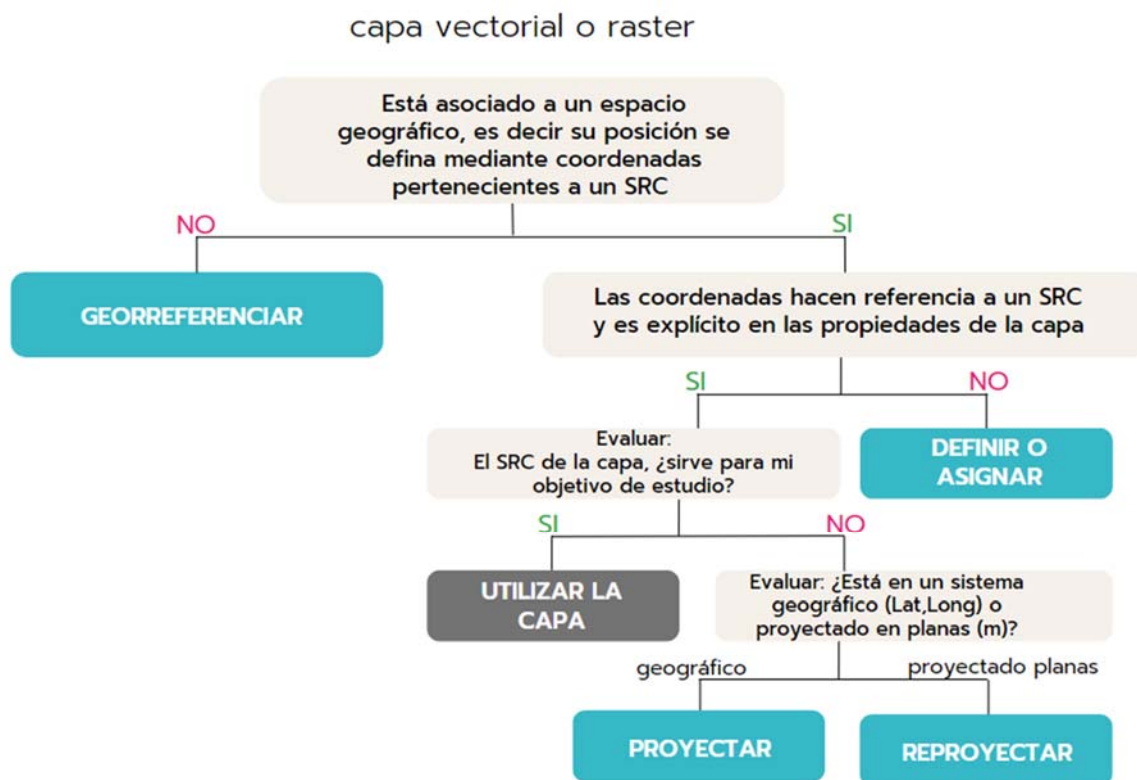
Georreferenciar: en aquellos casos en los que la capa no tiene una referencia espacial, la georreferenciación permite establecer la posición espacial de un objeto en una localización geográfica única y bien definida en un sistema de coordenadas y datum específicos. Se puede

³ Pueden aparecer en la bibliografía o en distintos menús de los *softwares* algunas variantes de esta sigla, que son equivalentes: **SRE** (Sistema de Referencia Espacial) o en inglés: **CRS** (Coordinate Reference System), **SRC** (Sistema de Referencia de Coordenadas) o **SRS** (Spatial Reference System).

realizar mediante puntos de control tomados a campo e ingresados en la capa, o mediante una imagen o fuente georreferenciada y puntos de control de esa referencia.

Actualmente las imágenes satelitales se obtienen georreferenciadas, y las capas vectoriales provenientes de una IDE también, ambos productos detallan esa información en sus metadatos.

Figura 4.22



Nota. Esquema de decisiones a tomar según el estado del insumo geoespacial (capa vectorial o raster) con el SRC. Elaboración propia.

Definir o Asignar: consiste en asignarle o definir un nombre al sistema de referencia espacial que tiene implícitamente la capa. Cuando una capa tiene referencia espacial, pero no tiene asignado su SRC en las propiedades, se asigna o define el nombre estandarizado a partir de la librería del programa para que este lo reconozca. El resultado es la misma capa ya que no se aplica un proceso de transformación durante la definición.

Proyectar⁴: es importante recordar que existen SRC geográficos y proyectados. La acción de proyectar consiste en pasar una capa vectorial o ráster desde un sistema de coordenadas geográficas (esféricas, latitud, longitud) a un sistema de proyección en el plano mediante un algoritmo de cálculo. Se obtiene otra capa con sus nuevas coordenadas planas. Las capas proyectadas en planas son las requeridas para análisis de distancia y cálculos de superficies, ya que estarán en las unidades de magnitud referidas a metros.

⁴ Tener en cuenta que los *software* SIG toman indistintamente proyectar y reproyectar aunque conceptualmente tienen significados distintos.

Reproyectar: consiste en pasar una capa vectorial o ráster de un SRC plano a otro mediante un algoritmo matemático. Cuando se trabaja con varias capas y se realizan procesos tales como recortes, apilado de bandas u operaciones matemáticas entre distintos rásteres y/o vectores, es requisito que todas las capas utilizadas tengan el mismo SRC. Entonces, se elige el SRC adecuado para el proyecto en el que se está trabajando y se reproyectan todas las capas necesarias, generando otros archivos de capas con el nuevo SRC.

Estandarización de los sistemas de referencia geoespacial

Tal y como se abordó en el Capítulo 3 respecto a la necesidad de estandarizar y normalizar la información geográfica IG, esta misma lógica se aplica a la gestión de la información proveniente de la diversidad de sistemas de referencia espacial, recurriendo a la estandarización. Distintos organismos se dedican a ello, por ejemplo, la “*European Petroleum Survey Group*” (EPSG) es una organización relacionada con la industria petrolera y del gas en el continente europeo que ha desarrollado a lo largo del tiempo un repositorio de parámetros geodésicos sobre sistemas y marcos de referencia, elipsoides y proyecciones cartográficas utilizados en todo el mundo.

Por lo tanto, gracias a esta iniciativa, todos los Sistemas de Coordenadas llevan asociados un código EPSG que los identifica de forma unívoca. Por ejemplo: El SRC para coordenadas geográficas en lat/lon WGS84 se conoce por el identificador EPSG 4326.

Se recomienda especialmente la documentación provista por el IGN referida a la definición de sistemas de coordenadas y proyecciones oficiales (EPSG), publicada en el año 2017:

https://ramsac.ign.gob.ar/posgar07_pg_web/documentos/Informe_sobre_codigos_oficiales_EPSG.pdf

Sistema Global de Navegación por Satélite (*Global Navigation Satellite System -GNSS-*)

No podemos concluir este capítulo sin mencionar los sistemas GNSS, que forman parte de nuestra vida cotidiana. Gracias a ellos, es posible determinar nuestra ubicación en cualquier parte del globo y en cualquier momento, trazar rutas a seguir o encontrar lugares específicos. Esto es posible gracias a varias constelaciones de satélites (GPS de EEUU, BeiDou de China, Glonass de Rusia, Galileo de la Unión Europea) que orbitan la Tierra a más de 20.000 km de distancia. En el Anexo 4 encontraran, de la mano de un experto, toda la explicación necesaria para comprender de qué se trata y cómo se vincula con las herramientas geomáticas que estamos recorriendo en esta obra.

Las principales funciones de los GNSS son:

- Geoposicionamiento.
- Medición de áreas y distancias.
- Marcado de caminos.

- Medición de altitud.
- Navegación.

Referencias

- Arana, M. D., Natale, E., Ferretti, N., Romano, G., Oggero, A., Martínez, G., Posadas, P. y Morrone, J. (2021). *Esquema Biogeográfico de la República Argentina*. Fundación Miguel Lillo.
- Bianchi, A. y Cravero, S. (2010). *Atlas Climático Digital de la República Argentina*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Corberó Pascual, M. V. y Figueras Mestres, P. (1998). *Trabajar mapas*. Longman de México Editores.
- Huerta, E., Mangiaterra, A. y Noguera, G. (2005). *GPS: Posicionamiento satelital*. UNR Editora.
https://www.fceia.unr.edu.ar/gps/GGSR/libro_gps.pdf
- IGN (2014). 6tas. Jornadas de Capacitación Regional en Georreferenciación. San Juan
- Olaya, V. (2017). *Introducción a los Sistemas de Información Geográfica*. IGN Edición para FOSSG+SOTM Argentina.
https://ramsac.ign.gob.ar/posgar07_pg_web/documentos/Informe_sobre_codigos_oficiales_EP_SG.pdf. Accedido el 21 de abril de 2023.
- https://docs.qgis.org/2.18/es/docs/gentle_gis_introduction/coordinate_reference_systems.html
Accedido el 21 de abril de 2023.
- <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/map/projections/projection-types.htm> Accedido el 21 de abril de 2023.

ANEXO 4

Sistemas de Navegación Global por Satélite

Mauricio Gende

Introducción

El estudio de la naturaleza en forma empírica requiere recolectar datos para describir y modelar los fenómenos que en ella ocurren. Los datos relevados suelen tener asociados algún parámetro. Por ejemplo, a la recolección de un dato particular se le suele asociar el momento en el cual el mismo fue tomado. Hoy en día nos resulta natural esta tarea, ya que hace más de un siglo podemos registrar con exactitud el momento en qué observamos algo.

Hace pocas décadas tenemos además acceso a la ubicación dónde estamos tomando nuestros datos. Esto es así porque ha aparecido una tecnología que permite ubicarnos de manera global, de un modo rápido, económico, en cualquier momento del día, todos los días del año, y en cualquier lugar de la Tierra. Esta técnica lleva el nombre genérico de GNSS, acrónimo de *Global Navigation Satellite System*. Existen varios GNSS entre ellos: el GPS, el GLONASS, el BeiDou y el Galileo, que son respectivamente los GNSS de Estados Unidos, Rusia, China, y la Unión Europea.

Los GNSS están presentes en nuestra vida cotidiana cuándo, por ejemplo, utilizamos una aplicación de telefonía celular para saber cuándo llega el próximo ómnibus, o al hacer el seguimiento de la posición de una mercadería que nos está llegando por correo, o cuando le hacemos saber a otra persona en qué lugar nos encontramos en un determinado momento a través de una aplicación de mensajería, o cuando intentamos averiguar dónde podemos encontrar un comercio con unas características determinadas en las cercanías de dónde estamos. Cada uno de estos ejemplos de la vida cotidiana son posibles de realizarse hoy gracias a que tenemos disponibles la técnica de posicionamiento GNSS.

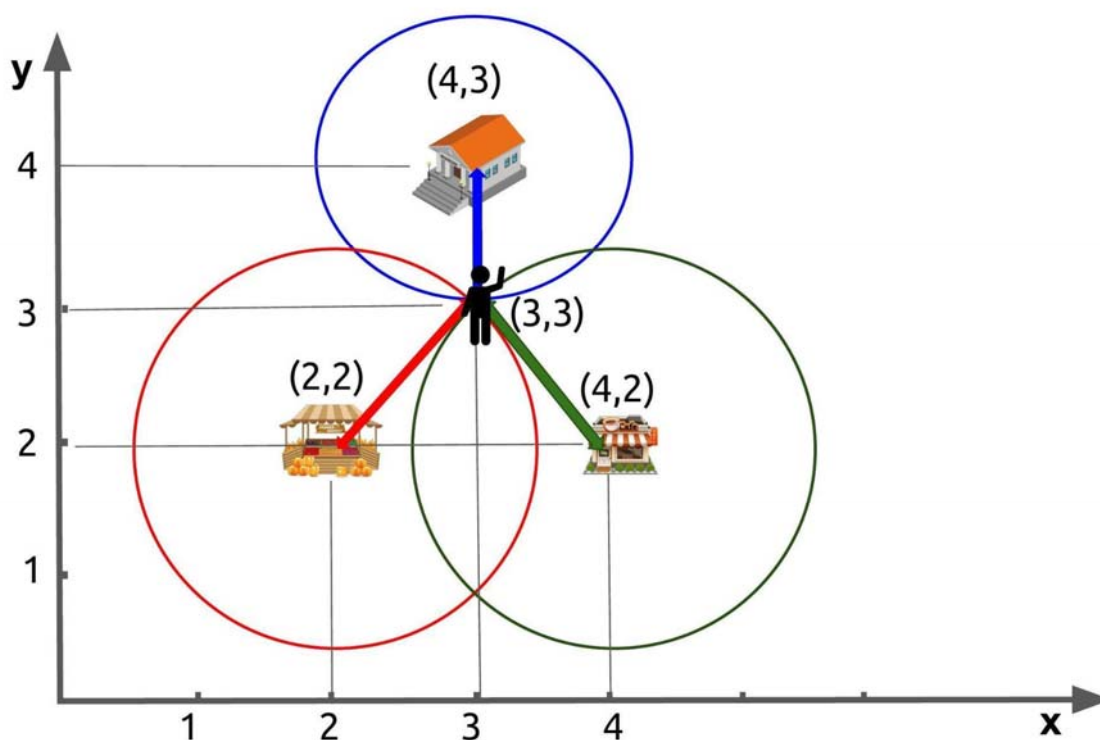
Trilateración

La trilateración es el método que permite la geolocalización. El principio básico de la técnica consiste en la medición de distancias a puntos de coordenadas conocidas a priori desde un punto del que se ignoran sus coordenadas y del cual se obtendrá su posición.

Geométricamente el problema se resuelve de esta manera: 1) observando la distancia desde un lugar de coordenadas desconocidas a uno de coordenadas conocidas, queda definida una

circunferencia cuyo centro es el objeto de coordenadas conocidas. En algún lugar de esa circunferencia debe estar el punto de coordenadas desconocidas; 2) repitiendo el procedimiento observando la distancia a otros objetos de coordenadas conocidas el punto de coordenadas desconocidas debería estar en la intersección de las circunferencias. La Figura 1 ilustra esta situación para el caso bidimensional.

Figura 1



Nota. Principio de trilateración en el plano. Conocidas las coordenadas de un puesto de frutas, un museo y un café, y midiendo las distancias a ellos, queda determinada nuestra posición.

Principio de medición

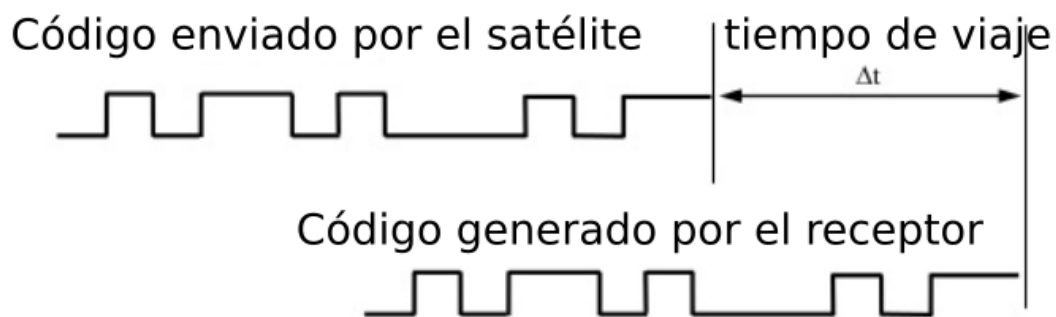
La medición de la distancia desde un receptor a cada satélite GPS se realiza de la siguiente manera:

- 1) Cada satélite emite una señal particular que comienza en un instante conocido.
- 2) El receptor conoce todas las señales que los satélites están emitiendo y las genera él internamente.
- 3) Tomando las señales de los satélites sobre el horizonte el receptor las compara con las que él genera.
- 4) Las señales deben ser idénticas salvo por un desfase temporal (ver Figura 2), ese desfase no es otra cosa que el tiempo de viaje de la señal del satélite al receptor
- 5) El tiempo de viaje multiplicado por la velocidad a la que viaja la señal da la distancia satélite-receptor.

Notar que:

- 1) Las señales solo recorren el camino de ida desde cada satélite a los receptores y estos no interactúan con los satélites, por eso decimos que el sistema es pasivo.
- 2) El receptor y los satélites deben tener relojes sincronizados para hacer la medición del tiempo de viaje. Como esto no sucede el sistema agrega como incógnita la sincronización temporal del receptor lo que obliga a agregar una observación a un cuarto satélite además de los tres que ya se necesitaban para la posición. Esta necesidad produce un beneficio ya que ahora los sistemas GNSS además de brindar posición proveen una manera de diseminar un patrón de tiempo de muy alta precisión. Muchos usuarios de GNSS no lo utilizan para posicionarse sino para materializar en forma local un patrón de tiempo muy bueno.

Figura 2.



Nota. Las señales son códigos binarios que al compararse son idénticas en forma, pero corridas en el tiempo. Ese corrimiento temporal es la distancia satélite-receptor luego de aplicadas ciertas correcciones.

Efemérides

Las posiciones de los satélites (efemérides) deben ser conocidas para resolver el problema de la trilateración. Cada uno de los GNSS tiene su segmento de control en tierra que calcula y predice las órbitas de los satélites. Esta información es cargada a los satélites y a su vez estos las transmiten a los usuarios. De este modo los GNSS son autónomos: esto es un usuario recibe toda la información necesaria para obtener su posición en la señal que provee el sistema. Por eso la cobertura de los GNSS es global y no requiere de otra fuente de información adicional: telefonía celular, radioenlace, etc.

Navegadores

Un navegador GPS es un tipo particular de receptor caracterizado por: 1) Observar solo un parte de todas las señales disponibles, y 2) no guardar internamente lo observado.

Estas dos características implican que la exactitud de las coordenadas se limita a pocos metros y no se puede mejorar a posteriori.

Por otro lado, los navegadores tienen costos de producción muy bajos y hoy muchas veces están embebidos en otros aparatos como teléfonos celulares, *tablets*, *laptops*, automóviles, etc.

Dos términos importantes asociados a los navegadores son:

- *Waypoints*: podemos pensar a los mismos como estacas virtuales, es decir posiciones espaciales que luego de ser tomadas in situ sus coordenadas son guardadas en formato digital junto con un nombre asociado. Marcar un *waypoint* da la posibilidad de volver a él con pocos metros de error.
- *Track*: Es un archivo digital que contiene una lista de coordenadas por donde pasó un navegador GPS. Un *track* es la herramienta que permite guardar la posición de un camino andado, lo que brinda la posibilidad de que otra persona lo desande si posee el *track*.

Últimas consideraciones y cuidados

1. El receptor GPS es un instrumento que nos permite ubicarnos en cualquier lugar de la Tierra cualquier día del año y a cualquier hora, bajo cualquier condición climática.
2. Salvo utilizando equipamiento costoso y técnicas de medición avanzadas su exactitud está limitada a los pocos metros, siendo la coordenada vertical levemente más imprecisa que las horizontales. Los valores aproximados de los errores son 2 a 3 metros en la horizontal y 5 metros en la vertical.
3. Todos los sistemas GNSS requieren horizontes despejados y no funcionan bajo techo teniendo prestaciones algo limitadas bajo follaje.
4. El marco de referencia natural de los GPS es el WGS-84 y sus coordenadas geodésicas usan al elipsoide WGS-84 como figura asociada. El marco oficial argentino actual es compatible con WGS-84 para precisiones métricas, pero WGS-84 es muy distinto del viejo marco de referencia Campo Inchauspe 69. Siempre que se trabaje con coordenadas debe saberse a qué marco de referencia están referidas y si fueran coordenadas geodésicas qué elipsoide se utilizó.
5. La altura que proveen los sistemas GNSS se llaman alturas geométricas, referidas a un elipsoide, y no indican hacia donde escurre el agua como sí lo hacen las alturas físicas, usualmente referidas al nivel medio del mar. Este dato no es crítico para precisiones bajas, pero nunca deben mezclarse distintos tipos de alturas.

Este breve texto pretende solo introducir al lector en el tema de los sistemas GNSS. Es importante entender que se han realizado muchas simplificaciones a fin de mostrar los principales conceptos desde un punto de vista práctico.

Recomendamos como texto clásico y riguroso en inglés a:

B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger, E. Wasle. GNSS – Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo. Springer-Verlag. 2008.

Un texto en castellano y accesible en Internet que toca diversos temas incluidos el de GPS está disponible aquí: https://www.fceia.unr.edu.ar/gps/GGSR/libro_gps.pdf

CAPÍTULO 5

Modelo de datos vectorial

Anabel A. Lamaro, María R. Derguy y Natalia S. Morales

Introducción

Como se mencionó en el Capítulo 2, el modelo vectorial constituye un modelo matemático de representación gráfica basado en pares ordenados de coordenadas que se representan en forma de puntos, líneas y polígonos. Junto con el ráster, es un modelo matemático de representar los fenómenos geográficos.

En este capítulo se abordará con más detalle lo referente a la creación, edición y consulta de objetos vectoriales, así como su procesamiento y análisis.

Creación de objetos vectoriales

De un modo general, puede decirse que la creación de un dato digital a partir de un dato analógico se denomina digitalización.

En un entorno de SIG, la digitalización de nueva información vectorial implica trazar la información disponible en una capa digital de tipo ráster, por ejemplo, proveniente de una imagen satelital, de un mapa web o de un mapa impreso escaneado.

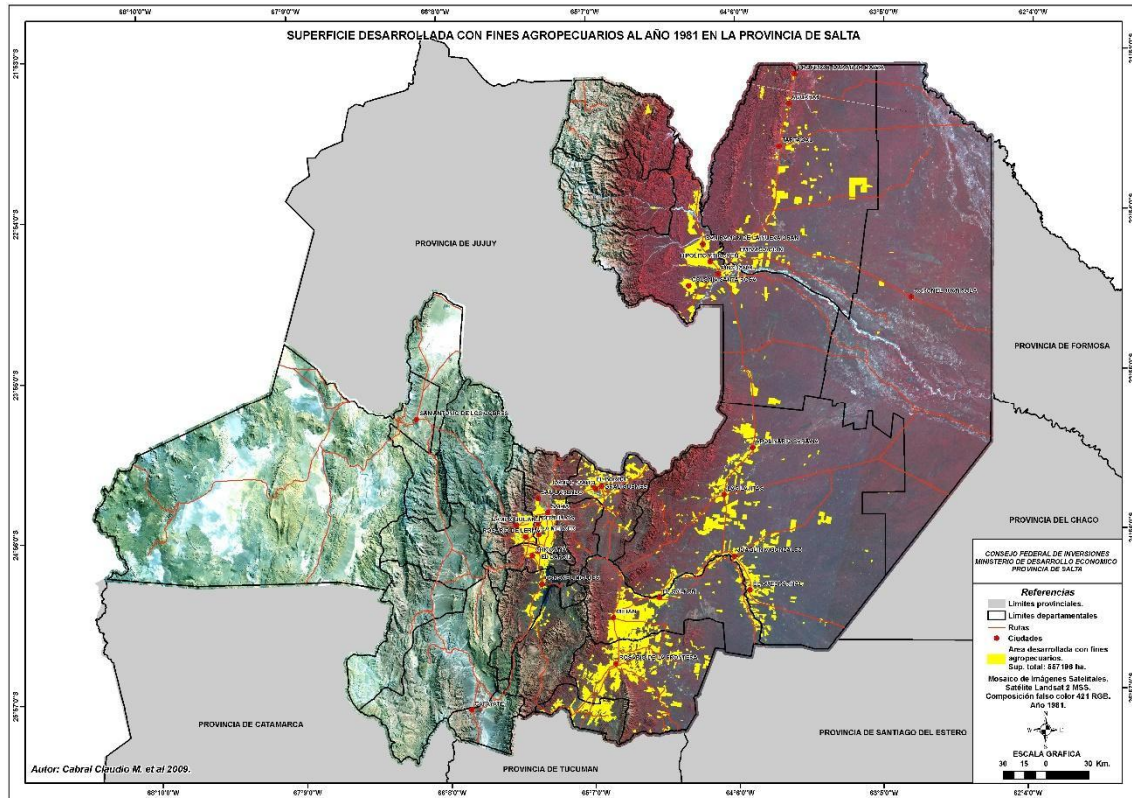
Si bien sería posible automatizar la digitalización de un objeto espacial vectorial, esta requiere mucho trabajo por parte del usuario y no es un proceso tan sencillo, llevando en muchas ocasiones a resultados desiguales o erróneos (Olaya, 2014). Por esto, la digitalización manual es el modo más habitual de creación de nueva información vectorial.

De este modo, los nuevos objetos espaciales serán trazados manualmente aplicando las herramientas disponibles en el *software* de SIG utilizado y teniendo en cuenta tanto la definición explícita de los objetos a crear (ver formatos vectoriales en Capítulo 2), así como su geometría. Una capa creada con determinada geometría no puede cambiar a otra geometría, pero la tabla de atributos puede ser modificada después que ha sido creada. Teniendo en cuenta que los campos una vez definidos el tipo tampoco se puede modificar (txt, entero, decimal), se pueden agregar o borrar campos o recalcularlos, pero no se puede cambiar el tipo de dato que almacena.

A fin de ejemplificar estos procesos, en la Figura 5.1 se presenta un mapa de la provincia de Salta, publicado por Cabral (2009), donde se observan diferentes capas de información: límites provinciales, rutas, ciudades, áreas con uso agropecuario, entre otras. Este mapa ha sido

escaneado e incorporado a un entorno SIG mediante su georreferenciación, y a partir de aquí será referido como mapa de base. Si bien los distintos *software* tienen diferentes herramientas o accesos, en general, las funcionalidades son las mismas.

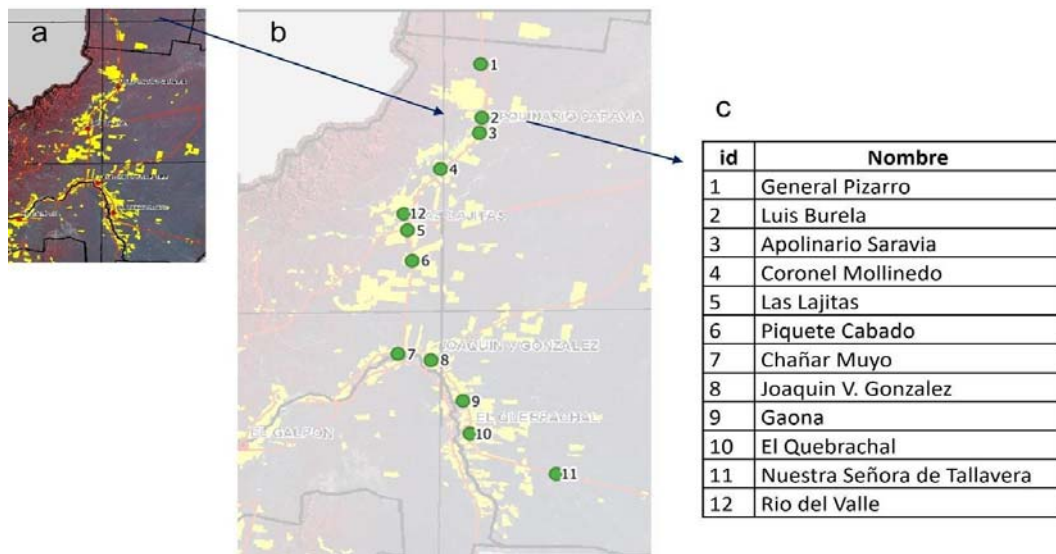
Figura 5.1



Nota. Mapa que muestra el avance agropecuario en 1981 (Cabral, 2009). El mapa fue digitalizado e incorporado a un entorno SIG. Fuente: Elaboración propia.

Los puntos son las entidades más simples que pueden crearse a partir de un mapa de base. Simplemente, se debe hacer un *clic* en el sitio donde desea crear un punto y luego cargar la información correspondiente en la tabla de atributos que se genera. Se repite el proceso tantas veces como puntos se deseen digitalizar (Figura 5.2).

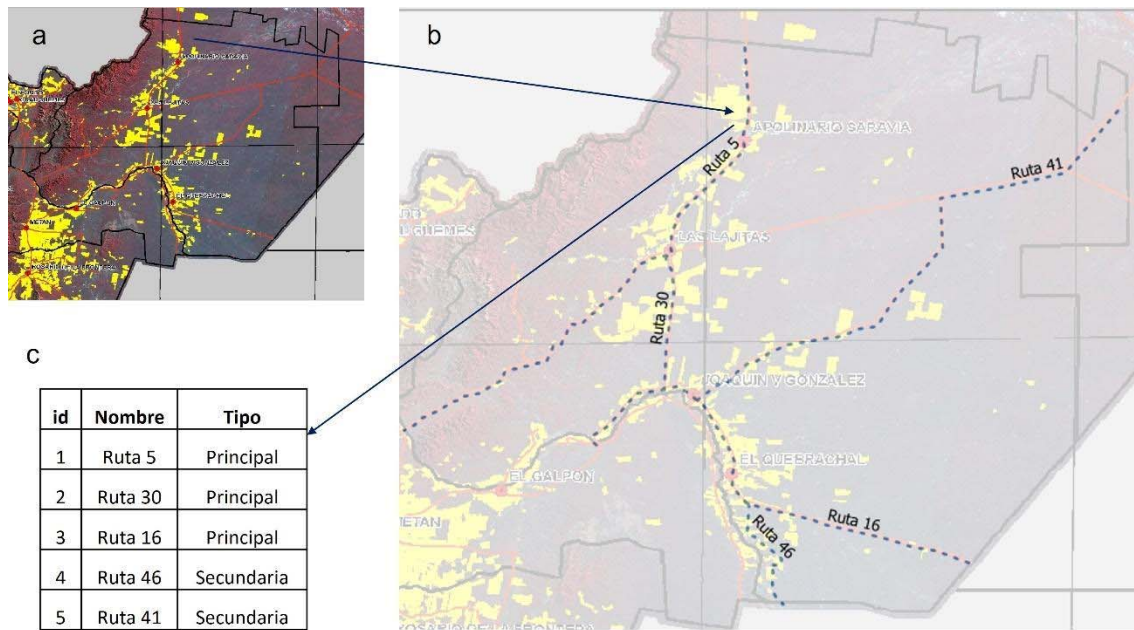
Figura 5.2



Nota. Digitalización de puntos: a. Mapa digitalizado e incorporado en un entorno SIG b. Digitalización de localidades (puntos), el mapa de base se muestra transparente para una mejor visualización. c. Tabla de atributos asociada a los objetos espaciales. Fuente: Elaboración propia.

La digitalización de líneas requiere que se inicie con un vértice y mediante una serie de *clicks* a lo largo del elemento que se desea trazar (por ejemplo, un camino) se van generando segmentos y se finaliza el proceso con un último vértice. Los vértices son los puntos donde la línea cambia de dirección o finaliza y los segmentos son las líneas que conectan a los vértices (Figura 5.3).

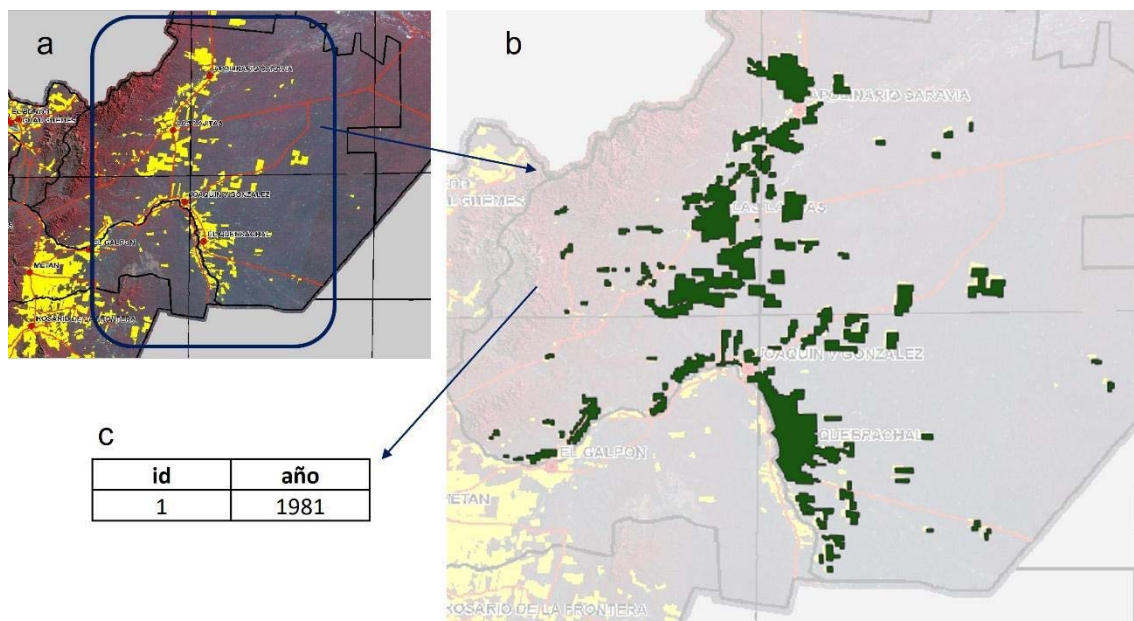
Figura 5.3



Nota. Digitalización de líneas: a. Mapa digitalizado e incorporado en un entorno SIG b. Digitalización de redes viales (líneas), el mapa de base se muestra transparente para una mejor visualización. c. Tabla de atributos asociada a los objetos espaciales. Fuente: Elaboración propia.

El procedimiento para la digitalización de polígonos es similar al de líneas, con la salvedad de que el vértice de inicio coincide con el vértice final (Figura 5.4).

Figura 5.4



Nota. Digitalización de polígonos: a. Mapa digitalizado e incorporado en un entorno SIG b. Digitalización de áreas agropecuarias (polígonos), el mapa de base se muestra transparente para

una mejor visualización. c. Tabla de atributos asociada a los objetos espaciales. Fuente: Elaboración propia.

Validación topológica

Todo proceso de digitalización de entidades vectoriales, pero sobre todo las de líneas y polígonos, debe contar con una validación de la topología. Este control de calidad permite asegurar que los polígonos realmente formen estructuras cerradas, contengan información sobre sus vecinos, y que las líneas tengan definida su direccionalidad y posean una geometría correcta. Existen muchas herramientas en los distintos *software* de SIG que permiten validar la topología, incluso durante el proceso de digitalización.

Podría decirse que, en el caso de entidades vectoriales, el proceso de creación concluye cuando se cuenta con las capas topológicamente correctas y listas para ser utilizadas, por ejemplo, en alguna tarea de geoprocetamiento.

Edición

Las entidades vectoriales creadas, pueden ser editadas en cualquier momento. La edición puede implicar la incorporación, movimiento o eliminación de: objetos espaciales a la capa vectorial, vértices (en el caso de líneas y polígonos) o información en la tabla de atributos.

Análisis espacial

De modo formal, puede decirse que el análisis espacial es el estudio cuantitativo de aquellos fenómenos que se manifiestan en el espacio (Anselin, 1989), lo cual indica una importancia clave de la posición, la superficie, la distancia y la interacción a través del propio espacio. Para que estos conceptos cobren sentido, se necesita por supuesto que toda la información esté referenciada espacialmente (Olaya, 2014). Según este mismo autor, "...no debe considerarse al análisis espacial como un conjunto de complejos algoritmos, sino como una colección de procesos con los que explotar los datos espaciales...".

Desde un punto de vista menos formal, puede considerarse que todo lo que hacemos con los datos espaciales constituye alguna forma de análisis, incluyendo acciones de distinta complejidad, desde consultas sencillas hasta la elaboración de modelos complejos (Olaya, 2014; Sherman, 2008).

Según Baxendale, Buzai y Cruz (2009), la perspectiva espacial a través del SIG se inserta en un recorrido de investigación con cinco grandes etapas: teórica, teórica-metodológica, metodológica-técnica, validación y transferencia. En este proceso, el análisis espacial cuantitativo se convierte en el hilo conductor que toma las definiciones previas, analiza el problema y genera los resultados (Buzai y Montes Galban, 2021).

Mediante el análisis espacial es posible resolver problemas complejos orientados a la ubicación, explorar y entender los datos desde una perspectiva geográfica, determinar relaciones, detectar y cuantificar patrones, y evaluar tendencias. Finalmente se pueden realizar predicciones y tomar decisiones al respecto. Las herramientas de análisis espacial o de geoprocesamiento permiten realizar operaciones espaciales para obtener nueva información.

A fin de realizar un análisis adecuado es fundamental plantear previamente las preguntas acerca de los datos y los procesos espaciales. La definición apropiada de las preguntas permitirá aplicar los algoritmos correctos para obtener las respuestas adecuadas. Según Nyerges (1991) pueden distinguirse diferentes categorías de consultas geográficas relativas a: posición y extensión, forma y distribución, y asociación, interacción y variación espacial.

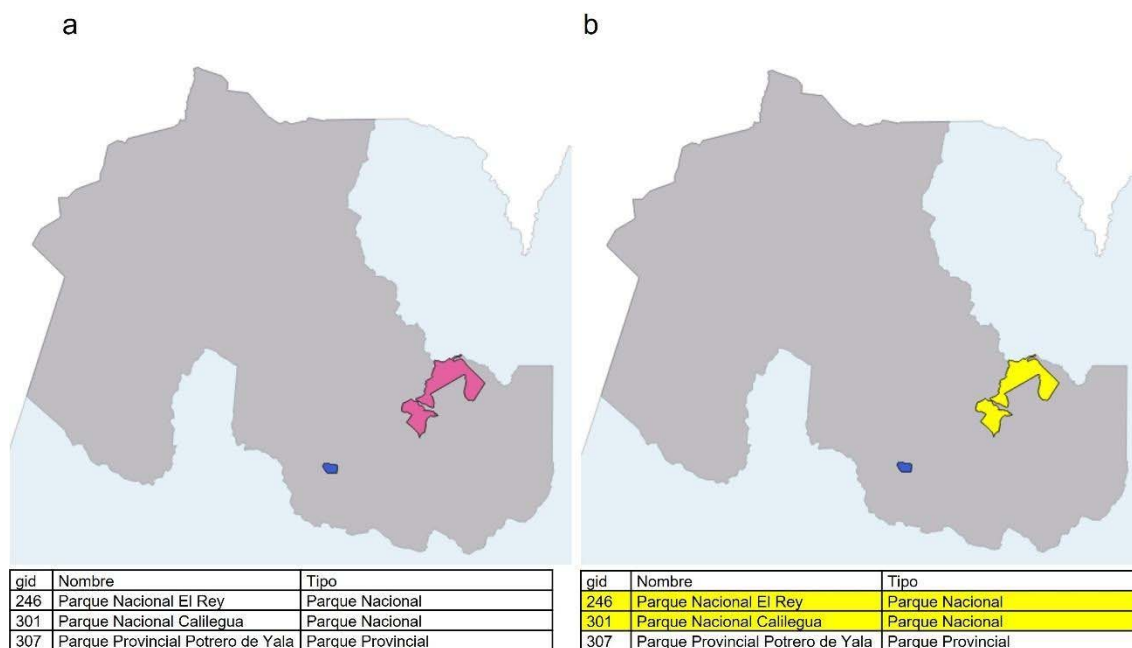
Por ejemplo, tenemos que analizar la factibilidad de construir un complejo ambiental para el tratamiento de residuos orgánicos que a la vez genere energía a través de la producción de biogás, en cercanías de una ciudad de la patagonia argentina. Algunas de las preguntas que deberíamos hacernos, entre otras, son: ¿Cuánto es el área apropiada para establecer una planta de tratamiento de residuos? ¿A qué distancia de un centro urbano debería ubicarse la planta? ¿A qué distancia de un área protegida debería instalarse la planta? ¿Hay redes eléctricas disponibles en el área de potencial instalación de la planta? ¿A qué distancia queda la ruta más cercana?

Cualquier sea el proceso que se realice entre los datos, es importante que estos cumplan ciertos requisitos para lograr un resultado correcto. El primero de ellos es que todos los datos espaciales involucrados tengan definido el mismo sistema de referencia de coordenadas, el segundo se basa en las unidades de análisis, por ejemplo, en el caso de que se apliquen cálculos en el sistema métrico, los datos espaciales deben tener definido un sistema de referencia proyectado, es decir con coordenadas planas. Así mismo hay que considerar que la escala de los datos a cruzar debe ser aproximadamente la misma y la validez temporal de los mismos sea la adecuada, datos que deberían estar en los metadatos.

Consultas

El análisis más simple que podemos efectuar sobre una o varias capas de información geográfica es una consulta, en la cual se le “pregunta” a la base de datos algún tipo de cuestión (Olaya, 2020). Sin importar si la selección fue aplicada sobre la componente espacial o la temática (ver Capítulo 2), dado que siempre se encuentran vinculadas, el resultado afecta a ambas y constituye un subconjunto de la base de datos con los elementos que cumplen el criterio expresado en la consulta (Figura 5.5).

Figura 5.5



Nota. Consultas en SIG: a. Mapa de la provincia de Jujuy mostrando algunas de sus áreas protegidas (categoría Parque). b. Consulta donde se seleccionaron solo los Parques Nacionales. El color amarillo indica los elementos seleccionados tanto en la componente espacial (mapa) como en la temática (tabla). Fuente: Elaboración propia.

Para obtener resultados correctos en una consulta, sin importar su complejidad, es importante que la tabla y sus atributos tengan un diseño adecuado en relación con los nombres de los campos y sus elementos. Se recomienda establecer un protocolo a la hora de nombrar atributos y respetarlo a lo largo de todo el conjunto de tablas de una base de datos. Por ejemplo, definir espacios en nombres compuestos, uso de mayúsculas, minúsculas, abreviaciones, acentos, etc. También es importante definir adecuadamente el tipo de dato (número, texto o fecha) que se incorpora en un campo.

Consultas temáticas

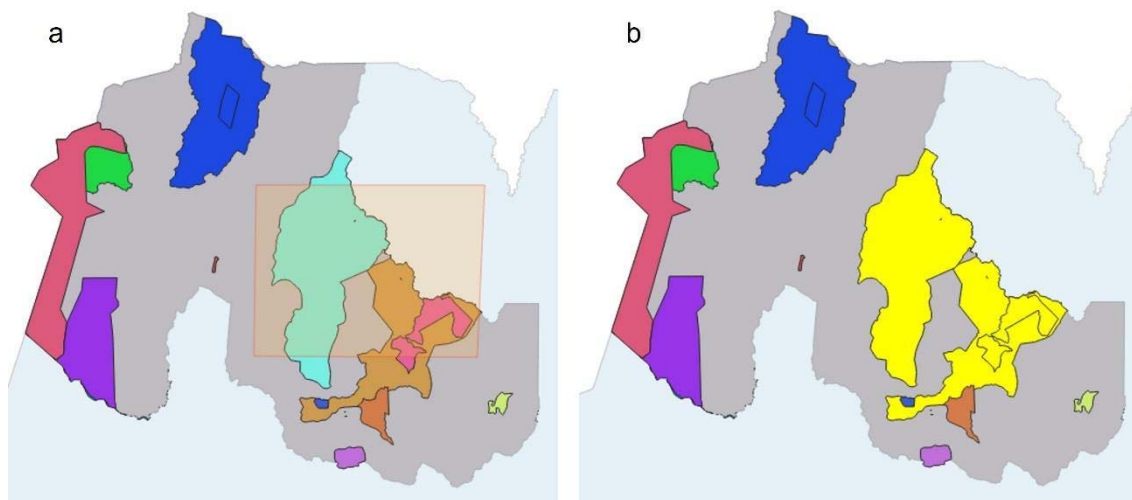
Este tipo de consultas solo utiliza información de la tabla de atributos de la componente temática, por ejemplo, respondería preguntas tales como: ¿Cuál es la provincia argentina que tiene más áreas protegidas?, ¿Cuántas provincias argentinas tienen parques nacionales? Si bien las consultas hacen referencia a provincias, relacionadas a polígonos, es decir, a una componente espacial, las respuestas a las preguntas realizadas se obtienen a partir de información de la tabla (hay que asegurarse que cuenten con esos atributos sobre los que se consulta) y no se acude a la componente espacial.

Consultas espaciales

Son el tipo de consultas en las cuales no se pueden resolver simplemente recurriendo a los datos temáticos, dado que se necesitan una o más capas para responderlas. Por ejemplo,

¿Cuáles parques nacionales son compartidos por dos o más provincias?, ¿Cuáles áreas protegidas están a menos de 1000 km de la frontera con países limítrofes? Estas consultas planteadas, si bien pueden ampliar un poco nuestro conocimiento, no aportan nueva información ya que podrían responderse analizando un mapa impreso. Una consulta espacial un poco más compleja podría incorporar la relación entre polígonos, por ejemplo, mostrar todos los objetos que se incluyen total o parcialmente dentro de un área rectangular determinada (Figura 5.6).

Figura 5.6



Nota. Consultas en SIG mediante polígono: a. Mapa de la provincia de Jujuy mostrando todas sus áreas protegidas y un polígono de selección (en rojo). b. Las áreas protegidas que intersecan con los límites del rectángulo quedan seleccionadas (en amarillo). Fuente: Elaboración propia.

Si bien los *software* de SIG cuentan con herramientas de consultas espaciales y de consultas temáticas como utilidades independientes, el verdadero potencial está en la combinación de ambas componentes del dato geográfico (Olaya, 2014). Resolviendo consultas como: ¿Cuál es la provincia argentina que tiene áreas protegidas con superficies mayores a 3000 km²?, ¿Cuáles países del hemisferio norte tienen mayor superficie de áreas protegidas en comparación con Argentina? Estas consultas incorporan elementos que hacen necesario acudir a la tabla de atributos, y otros que requieren analizar la componente espacial, estudiando las relaciones espaciales y topológicas de las geometrías asociadas (Olaya, 2014).

Índices espaciales

El concepto es similar al del índice de un libro. En un libro, el índice cumple la función de ubicar con mayor facilidad las páginas en las que se trata determinado tema. De manera similar, en un SIG un índice espacial permite mejorar el rendimiento de las operaciones que trabajan con datos vectoriales, optimizando el acceso a los datos. Los índices espaciales son necesarios e incluso imprescindibles cuando se dispone de datos de gran volumen (Olaya, 2014), ya que consisten en información adicional que incrementa la utilidad de dichos datos. Su creación supone la generación de una estructura espacial en la cual se contienen objetos más simples

que las propias entidades geométricas. Mejora el rendimiento tanto de procesos simples, como la velocidad del *zoom*, y de procesos más complejos, por ejemplo, la identificación de polígonos que intersecan determinados rectángulos. Es importante tener en cuenta que la creación de un índice espacial en tablas con gran cantidad de datos puede llevar un tiempo considerable. Los *software* de SIG permiten fácilmente crear índices espaciales desde las propiedades de los archivos vectoriales.

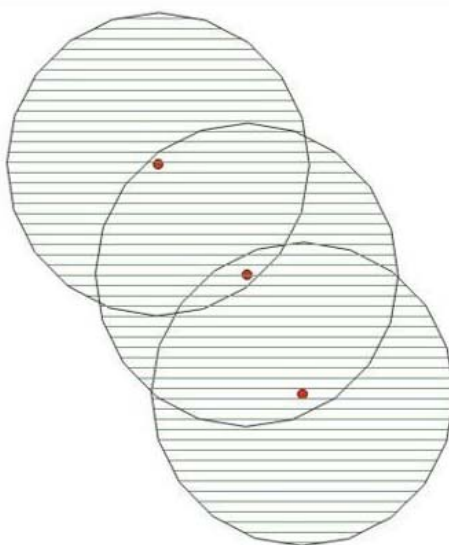
Geoprocесamiento: principales operaciones

Áreas o zonas de influencia (*Buffer*)

Los objetos geográficos tienen una funcionalidad o comportamiento sobre su entorno que depende de la distancia. El cálculo de áreas de influencia puede considerarse como un análisis de proximidad, en el que se generan zonas de una distancia dada, alrededor de los límites de un objeto. El resultado puede ser de utilidad de modo directo, es decir la influencia que ejerce el objeto al área circundante o a la inversa como influencia recibida, de modo que todos los elementos dentro del área de influencia afectan a la entidad que la genera (Olaya, 2014).

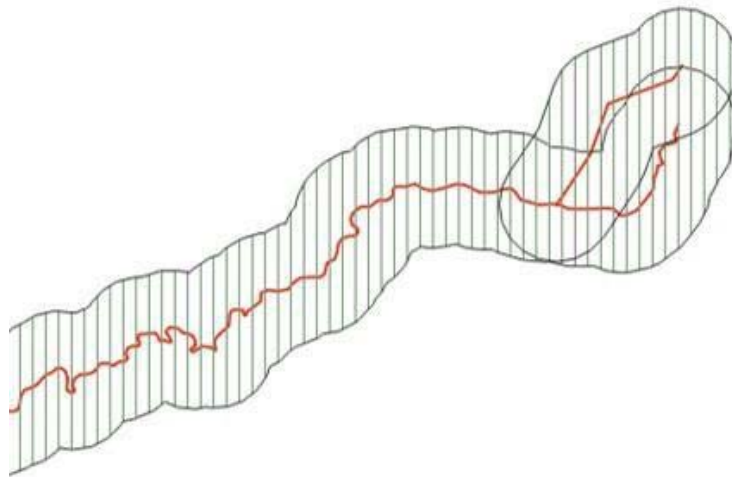
Este proceso puede llevarse a cabo con objetos de tipo punto, línea o polígono, y su resultado siempre es una nueva capa de polígonos. Un área de influencia de un punto consiste en un círculo centrado en el punto y cuyo radio se corresponde con la distancia máxima de influencia (Figura 5.7). La zona de influencia de una línea tiene el mismo principio, aunque con un algoritmo subyacente más complejo (Figura 5.8).

Figura 5.7



Nota. Zona de influencia a partir de puntos. Fuente: Elaboración propia.

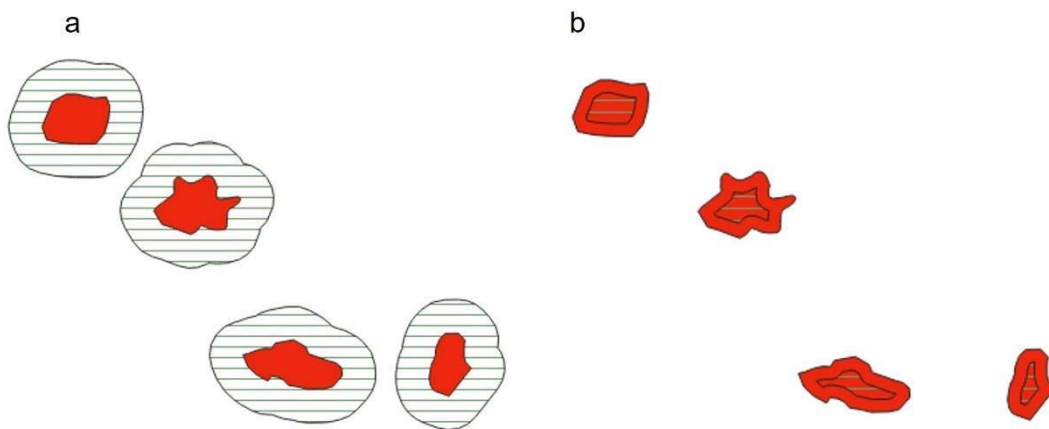
Figura 5.8



Nota. Zona de influencia a partir de líneas. Fuente: Elaboración propia.

En el caso de polígonos, las zonas de influencia pueden establecerse no solo hacia el exterior, sino también hacia el interior de la geometría. Esta última, en muchos casos se denomina zona de influencia interna. Es importante considerar que, mientras que la zona de influencia exterior no tiene ningún límite, la interna está limitada por las dimensiones del polígono de origen (Figura 5.9).

Figura 5.9



Nota. Zona de influencia a partir de polígonos: a. Hacia el exterior b. Hacia el interior. Fuente: Elaboración propia.

Retomando el ejemplo de la instalación del complejo ambiental, este presenta ciertos requerimientos y restricciones vinculados tanto con su propio mantenimiento como con la conservación de los ambientes naturales. Entre los primeros, podemos mencionar la necesidad de contar con una estación transformadora de energía para abastecer a la planta, la cual debería ubicarse a al menos a 1000 m, y un acceso ágil a redes viales para los vehículos de traslado de

residuos, que no debería superar los 500 m. Entre las restricciones, se requiere la conservación de una distancia mínima de 1000 m respecto a los cursos de agua, de 2000 m respecto a los ejidos urbanos y de 5000 m respecto a las áreas protegidas que puedan existir en las cercanías. Estas directivas pueden resolverse calculando áreas de influencia.

Operaciones de superposición vectorial

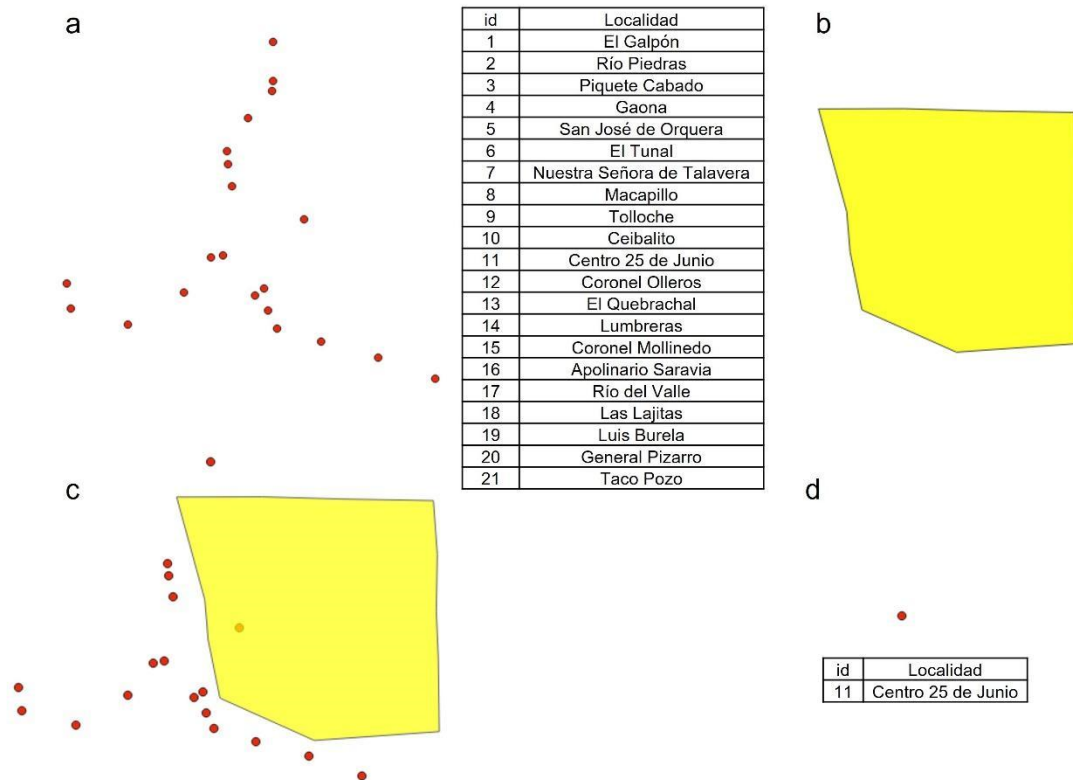
Estas operaciones generan nuevas capas vectoriales a partir de la superposición de dos capas existentes. Es importante tener en claro cuál será la capa de entrada y la capa de superposición, así como sus geometrías. También es relevante observar las tablas de atributos de la capa resultante, ya que los diferentes procesos aplicados a las geometrías podrán incluirlas total o parcialmente, alterando la cantidad de objetos espaciales, de campos o produciendo cambios en sus atributos. A continuación, veremos en detalle cada proceso y los cambios que se producen en la capa resultante.

Recorte (*clip* o *sacabocado*)

Esta operación corta una capa vectorial de cualquier geometría (capa de entrada) mediante una capa de polígonos (capa de superposición o recorte). Sólo las partes de los objetos de la capa de entrada que caen total o parcialmente dentro del área de la capa de recorte se añadirán a la nueva capa resultante.

En caso de que la capa de entrada sea de puntos, solo se mantienen aquellos que se sitúan dentro del polígono de recorte (Figura 5.10).

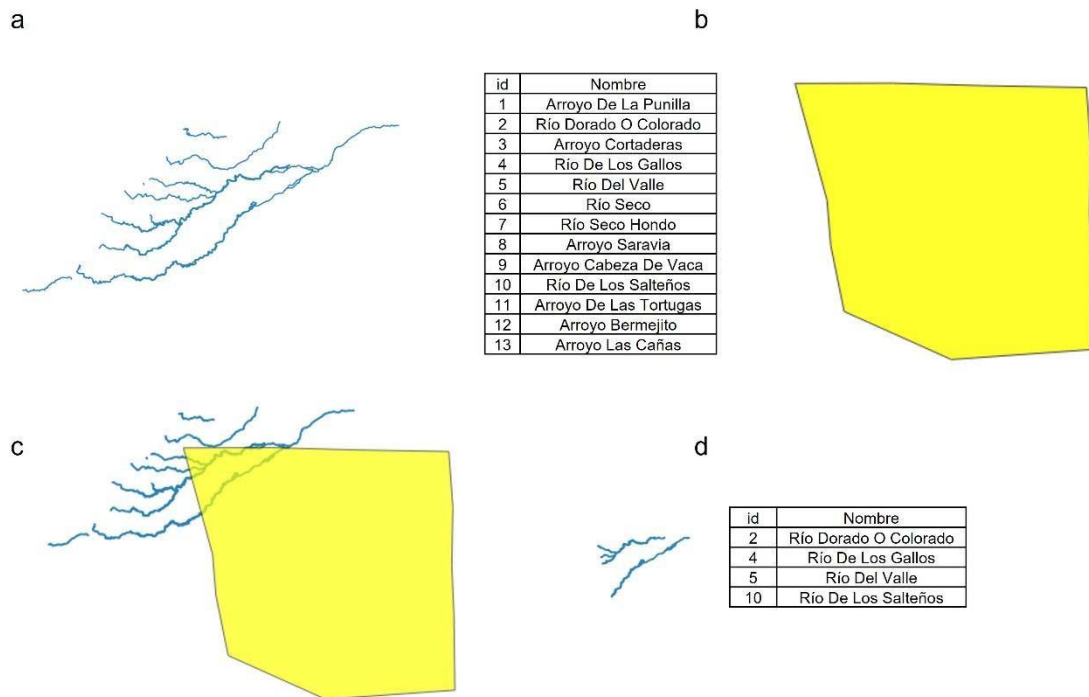
Figura 5.10



Nota. Recorte vectorial de una capa de puntos con una capa de polígonos: a. Capa de puntos de entrada y su tabla de atributos b. Capa de recorte c. Capa de puntos de entrada y capa de recorte en contexto espacial d. Capa de puntos resultante y su tabla de atributos. Fuente: Elaboración propia.

Si la capa de entrada tiene una geometría de línea, se mantienen aquellas que están total o parcialmente dentro del polígono (Figura 5.11). En este ejemplo, la tabla de atributos de la capa resultante contiene menos objetos espaciales que la capa de entrada, ya que el proceso de recorte eliminó objetos espaciales que no se incluían (totalmente) en el polígono de recorte.

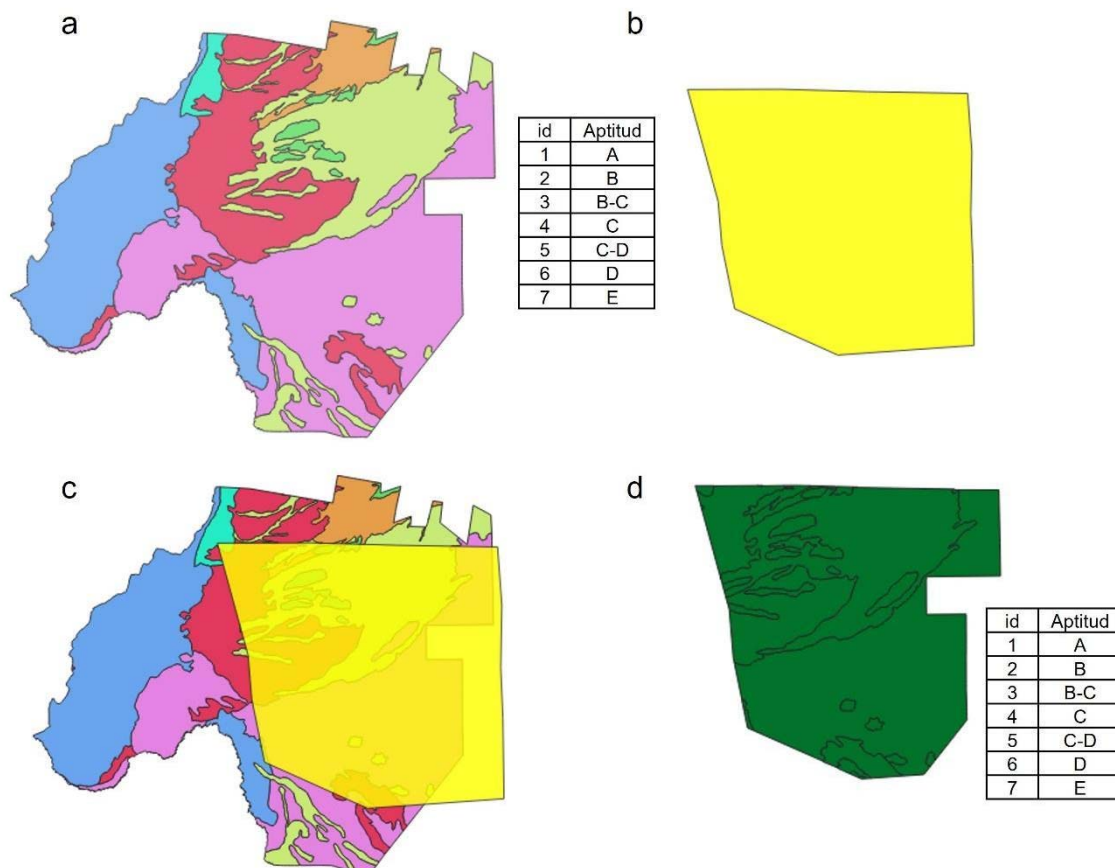
Figura 5.11



Nota. Recorte vectorial de una capa de líneas con una capa de polígonos: a. Capa de líneas de entrada y su tabla de atributos b. Capa de recorte c. Capa de líneas de entrada y capa de recorte en contexto espacial d. Capa de líneas resultante y su tabla de atributos. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, en el caso de polígonos, se recortan para restringir su extensión (se considera solamente el límite externo del polígono) a la del polígono de superposición. En el caso del ejemplo, el polígono resultante tiene representados todos los objetos espaciales del polígono de entrada, por lo que la tabla de atributos no tiene cambios (Figura 5.12).

Figura 5.12



Nota. Recorte vectorial entre dos capas de polígonos: a. Capa de polígonos de entrada y su tabla de atributos b. Capa de recorte c. Capa de polígono de entrada y capa de recorte en contexto espacial d. Capa de polígono resultante y su tabla de atributos. Fuente: Elaboración propia.

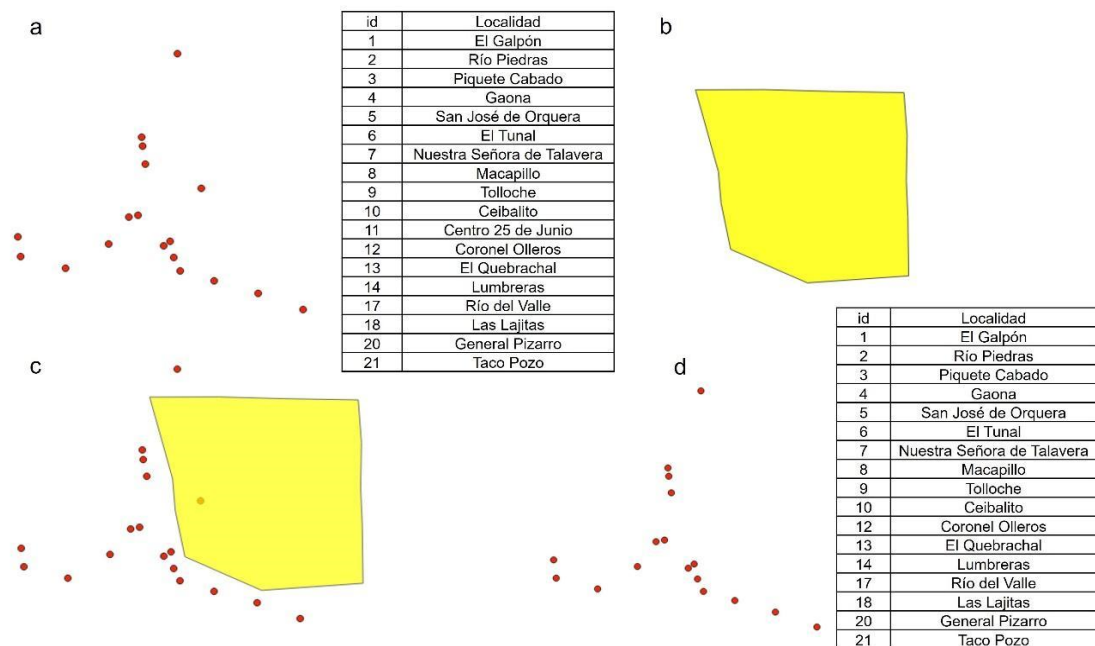
La operación de recorte puede cambiar la cantidad de objetos espaciales de las tablas de atributos, pero no actúa sobre los atributos, ya que no posee información suficiente para poder hacerlo. Una excepción es que, estos atributos indiquen algún valor numérico (área, longitud, densidad, etc.) los cuales serán modificados por la misma operación de recorte. En ese caso, deberían recalcularse los valores para que la información de la tabla de atributos sea coherente con el nuevo polígono al que se encuentra asociada.

Diferencia

Este proceso consiste en la operación inversa al recorte. Permite extraer los objetos de una capa vectorial de cualquier geometría (capa de entrada) que caen afuera o solapan parcialmente con una capa de polígonos (capa de superposición). Solo se conservan las partes que quedan afuera de la capa de superposición.

En caso de que la capa de entrada sea de puntos, solo se mantienen aquellos que se sitúan por fuera del polígono de superposición (Figura 5.13).

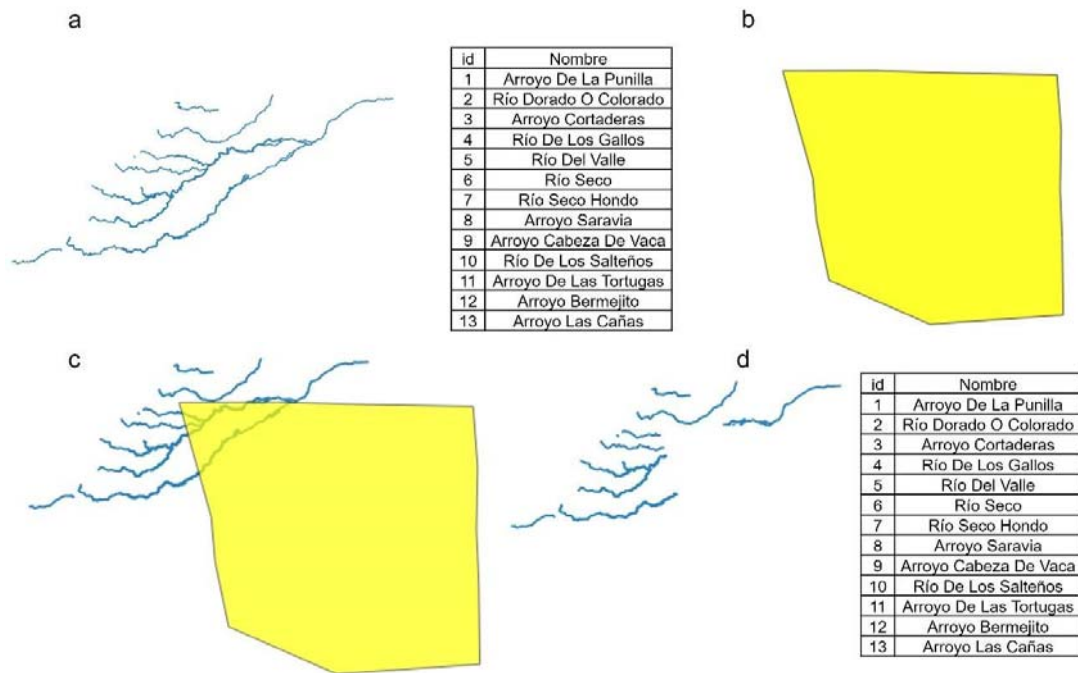
Figura 5.13



Nota. Diferencia vectorial entre una capa de puntos y una capa de polígonos: a. Capa de puntos de entrada y su tabla de atributos b. Capa de superposición c. Capa de puntos de entrada y capa de superposición en contexto espacial. d. Capa de puntos resultante y su tabla de atributos. Fuente: Elaboración propia.

En el caso del cálculo de diferencia con una capa de líneas, Solo se conservan las partes que quedan afuera de la capa de superposición. En la Figura 5.14 se muestra un ejemplo en el cual la capa resultante, luego del cálculo, igualmente contiene partes de todos los objetos espaciales de la capa de líneas, por lo que la tabla de atributos no tiene cambios.

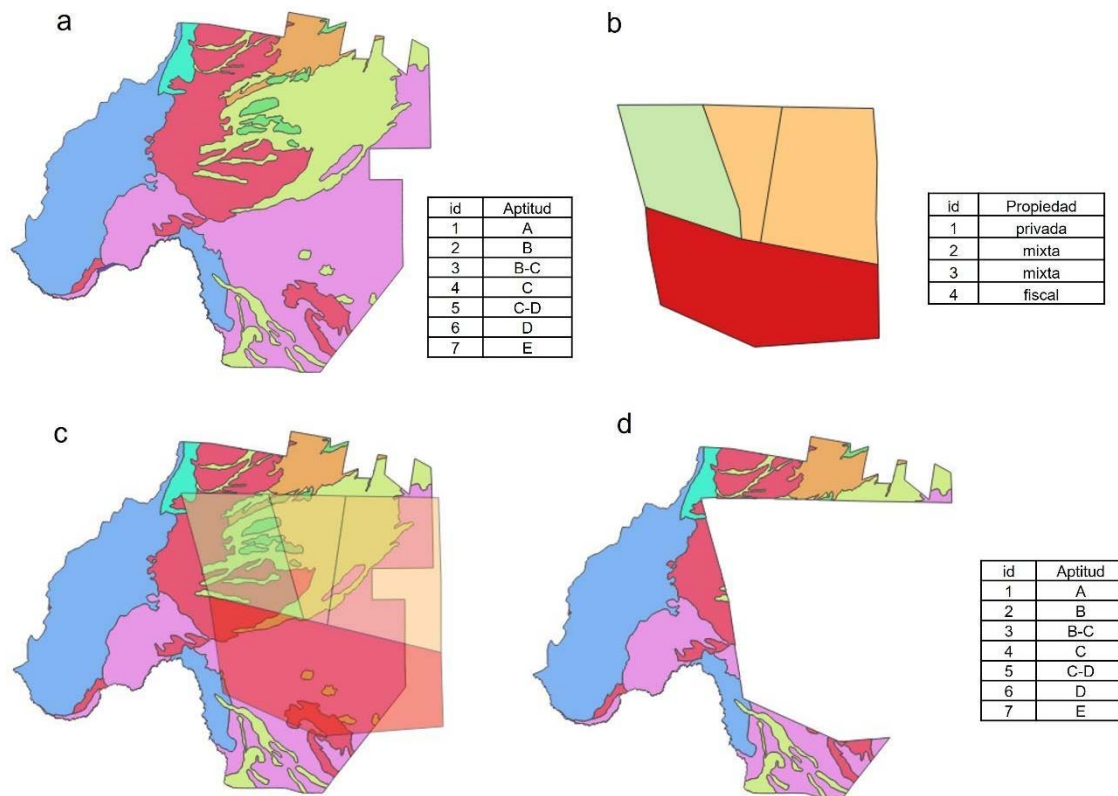
Figura 5.14



Nota. Diferencia vectorial entre una capa de líneas y una capa de polígonos: a. Capa de líneas de entrada y su tabla de atributos b. Capa de superposición c. Capa de líneas de entrada y capa de superposición en contexto espacial. c. Capa de líneas resultante y su tabla de atributos. Elaboración propia.

Finalmente, en el caso de polígonos, Solo se conservan las partes que quedan afuera de la capa de superposición. En la Figura 5.15, se muestra un ejemplo en el cual, al igual que en el ejemplo de la capa de líneas, la tabla de atributos se mantiene con la misma cantidad de objetos espaciales.

Figura 5.15



Nota. Diferencia vectorial entre dos capas de polígonos: a. Capa de polígonos de entrada y su tabla de atributos b. Capa de polígonos de superposición de entrada y su tabla de atributos c. Ambas capas en contexto espacial. d. Capa de polígonos resultante y su tabla de atributos. Fuente: Elaboración propia.

La diferencia puede cambiar la cantidad de objetos espaciales de las tablas de atributos, pero no actúa sobre los atributos, ya que no posee información suficiente para poder hacerlo. Una excepción es que, estos atributos indiquen algún valor numérico (área, longitud, etc.) los cuales serán modificados por la misma operación de diferencia. En ese caso, deberían recalcularse los valores para que la información de la tabla de atributos sea coherente con el nuevo polígono al que se encuentra asociada.

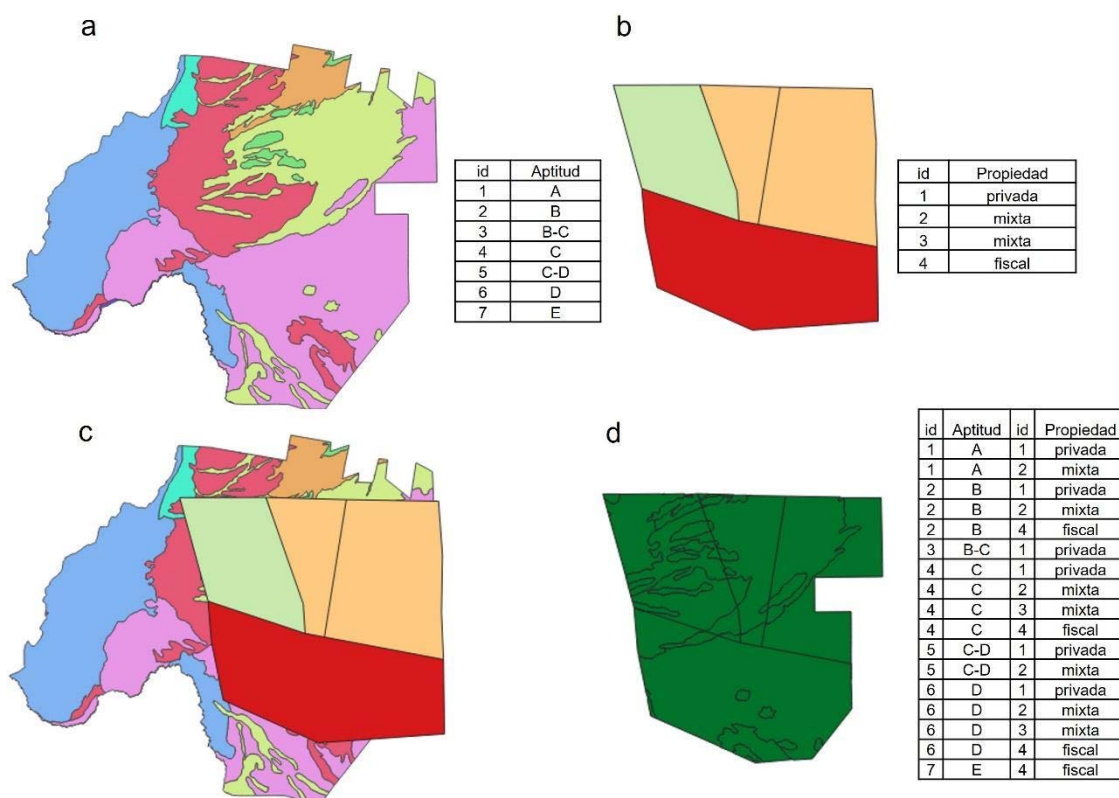
En el caso de ejemplo de la instalación del complejo ambiental, podríamos usar la operación de diferencia para eliminar las zonas que se consideran restricciones, ya que no van a tenerse en cuenta de ahí en adelante al no ser aptas para la actividad analizada.

Intersección

Esta operación implica la intersección geométrica entre dos capas: una capa de entrada y otra de superposición. El resultado es una nueva capa que contiene sólo los objetos o partes de ellos que se intersecan. Según Olaya (2014), la intersección es equivalente a una operación booleana Y (AND), ya que la capa resultante mantiene solo aquellas zonas para las que se dispone de información en ambas capas de entrada.

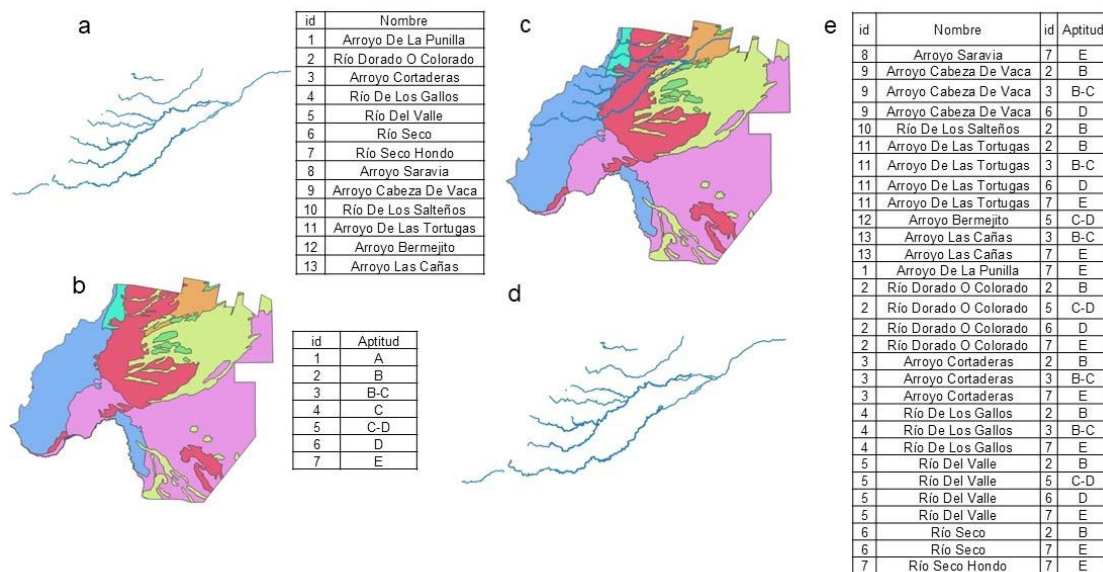
Esta operación produce modificaciones en las geometrías, que se dividen según se defina la intersección y, dado que, el resultado final contiene información de ambas capas, la tabla de atributos también se modifica, conteniendo tantos campos como la suma de campos de las capas. La intersección es aplicable a capas de punto, línea o polígono en cualquier combinación entre ellas y la geometría de la capa resultante será aquella de la capa de entrada. En las siguientes figuras mostraremos algunos ejemplos relevantes de intersección. En la Figura 5.16 se muestra la intersección entre dos polígonos, observar el polígono resultante, con información de ambas capas iniciales. La Figura 5.17 muestra la intersección entre una capa de líneas y otra de polígonos. En este caso, aunque la visualización de la capa resultado parece no cambiar (ya que se observa una geometría de líneas), lo valioso del proceso aplicado radica en la información obtenida en la tabla de atributos, en la que se sumó información sobre la aptitud a cada curso de agua.

Figura 5.16



Nota. Intersección entre dos capas de polígonos: a. Polígono 1 y su tabla de atributos. b. Polígono 2 y su tabla de atributos. c. Ambos polígonos en contexto espacial. d. Capa de polígono resultante y su tabla de atributos. Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.17

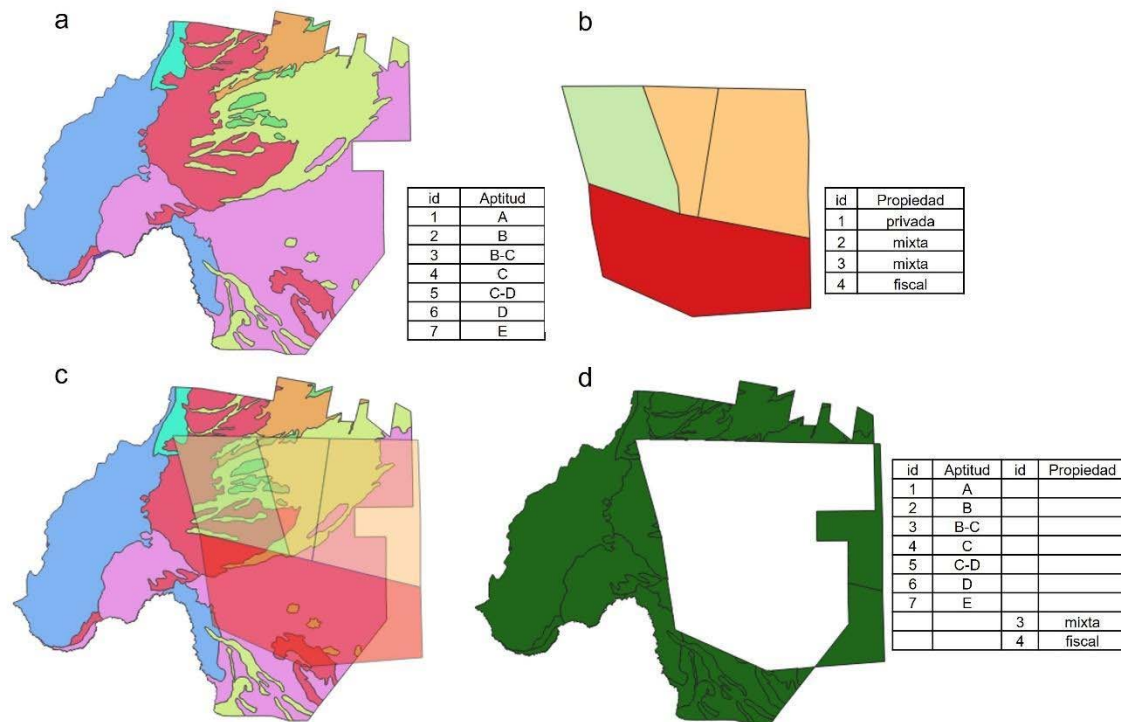


Nota. Intersección entre una capa de líneas y una capa de polígonos: a. Capa de líneas de entrada y su tabla de atributos b. Polígono de superposición y su tabla de atributos. c. Ambas capas en contexto espacial. d. Capa de líneas resultante. e. Tabla de atributos de la capa resultante. Fuente: Elaboración propia.

Diferencia simétrica

Este proceso crea una capa que contiene objetos de las capas de entrada y de superposición, pero elimina las áreas superpuestas entre las dos capas. El resultado se conoce como polígono de no ocurrencia o de no presencia simultánea de ambas capas, interpretándose como un resultado inverso a la intersección. La pregunta clave para interpretar mejor esta operación es: ¿Dónde está el polígono 1 y no está el polígono 2 y viceversa? (Figura 5.18). Es solo aplicable a capas de polígonos y el orden en que se carguen las capas no influye en el resultado. La tabla de la capa resultante se modifica, conteniendo los atributos de las capas de entrada y de superposición.

Figura 5.18

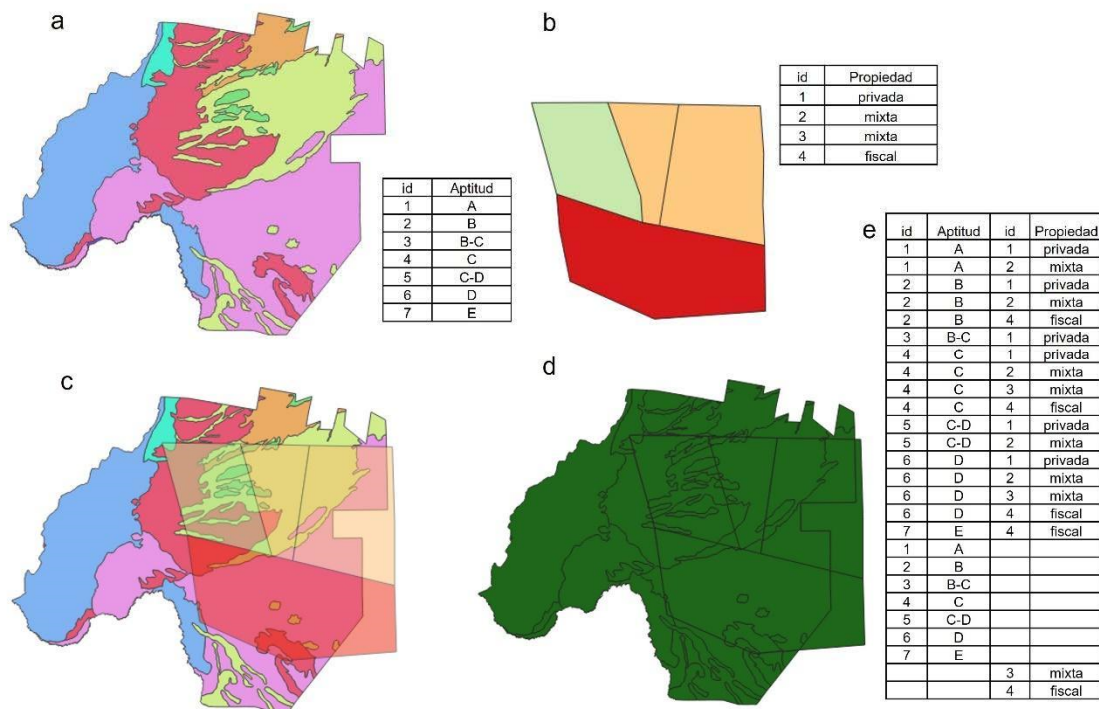


Nota. Diferencia simétrica entre dos capas de polígonos: a. Capa de entrada y su tabla de atributos b. Capa de superposición y su tabla de atributos. c. Ambas capas en contexto espacial. d. Capa de polígonos resultante y su tabla de atributos. Fuente: Elaboración propia.

Unión

Esta operación consiste en unir dos capas (una de entrada y otra de superposición), considerando todas las superposiciones entre sus objetos y creando tantos objetos superpuestos idénticos como objetos participantes. El resultado es una nueva capa conteniendo la combinación total de ambas capas de entrada, donde su tabla de atributos contendrá tantos campos como el conjunto de ambas capas de entrada, aunque si existen polígonos resultantes que estén solo en una de las capas, aparecerán campos sin información (Figura 5.19). Este proceso es solo aplicable a capas de polígonos y se asimila al operador lógico O (OR) (Olaya, 2014), ya que en la capa resultante se incluyen tanto las geometrías de la intersección como aquellas correspondientes a las áreas que aparecen únicamente en alguna de las capas de entrada.

Figura 5.19



Nota. Unión entre dos capas de polígonos: a. Capa de entrada y su tabla de atributos b. Capa de superposición y su tabla de atributos. c. Ambas capas en contexto espacial. d. Capa de polígonos resultante e. Tabla de atributos resultante. Fuente: Elaboración propia.

Estadística de datos vectoriales

Ya se han abordado algunas de las operaciones matemáticas que pueden realizarse mediante las herramientas de geoprocésamiento. En esta sección, se describe brevemente, el rol que cumple la estadística en los entornos de SIG. Desde una descripción de las estadísticas básicas de los atributos numéricos de una capa a un análisis estadístico puede determinar si los patrones observados son significativos o no, puede analizar varias capas para calcular la adecuación de un lugar para una actividad en particular o puede detectar cambios a lo largo del tiempo. Estas herramientas permiten abordar cuestiones y tomar decisiones cruciales que van más allá del alcance del simple análisis visual.

La estadística espacial, puede definirse simplemente como la rama de la estadística que analiza datos georreferenciados. En un entorno de SIG se focaliza en los componentes espaciales y sus atributos, los cuales permitan realizar los cálculos. Esta disciplina puede tener tres tipos de abordajes (Buzai y Montes Galbán, 2021): los cálculos que se aplican en la tabla de atributos, los que se aplican en la base geográfica y los que necesitan de ambos componentes. Los que se aplican a las tablas de atributos incluyen todos los procedimientos matemáticos y estadísticos realizados en los valores de cada columna (variable numérica) de la tabla, incluyendo: media, mediana, moda, desvío estándar, valores máximos y mínimos, valores únicos,

entre otros. En el segundo grupo se encuentran los procesos que se aplican solamente a los aspectos geométricos y de localización, por ejemplo, cálculo del centro medio de la distribución de puntos o el análisis del vecino más próximo, entre otros. Un ejemplo del último abordaje, en el que deben encontrarse vinculados ambos componentes, es el cálculo del centro medio ponderado en el cual además de las localizaciones puntuales es necesario tener una ponderación otorgada por cualquier variable a fin de ser utilizado en el cálculo (Buzai y Montes Galbán, 2021).

Los diferentes *software* de SIG presentan distintas herramientas para realizar estos procesos, incluso utilizando distintos entornos, como por ejemplo el lenguaje R (Lansley y Chesire, 2016; Mas, 2018; Wickham y Grolemund, 2017).

Referencias

- Anselin, L. (1989). *What is Special About Spatial Data? Alternative Perspectives on Spatial Data Analysis*. Technical Report 89-4. University of California, Santa Barbara. Disponible en línea: https://escholarship.org/content/qt3ph5k0d4/qt3ph5k0d4_noSplash_5fe73bf78ad7f74d74514ead2b799ed6.pdf?t=nq76op Acceso: abril 2025.
- Baxendale, C.A.; Buzai, G.D. y Cruz, M.R. (2010). Etapas de un proyecto de investigación en estudios de Geografía Aplicada. En Buzai, G.D. (Comp), *Geografía y Sistemas de Información Geográfica. Aportes teóricos y aplicaciones*. Luján: Universidad Nacional de Luján.
- Buzai, G. D. y Montes Galbán, E. (2021). *Estadística Espacial: Fundamentos y aplicación con Sistemas de Información Geográfica*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Impresiones Buenos Aires. Disponible en línea: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/161048> . Acceso: abril 2025.
- Cabral, C. M. (2009). *Planificación, gestión, monitoreo y control del desarrollo sustentable en bosques nativos: Sistema de información geográfico de la provincia de Salta*. Salta: Consejo Federal de Inversiones. Disponible en línea: <http://biblioteca.cfi.org.ar/documento/planificacion-gestion-monitoreo-y-control-del-desarrollo-sustentable-en-bosques-nativos-sistema-de-informacion-geografico-de-la-provincia-de-salta/>. Acceso: abril 2025.
- Lansley, G y Chesire, J. (2016). *An Introduction to Spatial Data Analysis and Visualisation in R*. Londres: University College London. Disponible en línea: <https://www.spatialanalysisonline.com/An%20Introduction%20to%20Spatial%20Data%20Analysis%20in%20R.pdf>. Acceso: abril 2025.
- Mas, J. F. (2018). *Análisis espacial con R: Usa R como un Sistema de Información Geográfica*. Macedonia: European Scientific Institute. Disponible en línea: <https://eujournal.org/files/journals/1/books/JeanFrancoisMas.pdf> . Acceso: abril 2025.
- Nyerges, T. L. (1991). Analytical map use. *Cartography and GIS* 18 (1), 11-22.
- Olaya, V. (2014). *Sistemas de Información Geográfica*. Disponible en línea: <https://volaya.github.io/libro-sig/> . Acceso: abril 2025.

- Sherman, G. E. (2008). *Desktop GIS Mapping the planet with open-source tools*. Dallas: The Pragmatic Bookshelf.
- Wickham, H. y Grolemond, G. (2017). *R for data science*. Massachusetts: O'Reilly Media.
- Disponible en línea: <https://digitallibrary.tsu.ge/book/2019/september/books/R-for-Data-Science.pdf> . Acceso: abril 2025.

ANEXO 5

Datos con componente espacial en salud

Betina I. Zucchini y Juliana Pisonero

Introducción

La relación de los datos sanitarios y los mapas proviene de la necesidad de entender, organizar, definir y encontrar patrones que ayuden a comprender los diversos fenómenos que caracterizan a nivel espacial la salud de las poblaciones. A fines del siglo XIX, en Inglaterra, John Snow abordó la problemática del cólera mediante la herramienta de mapas, plasmando la información de los casos y su relación con la fuente de agua consumida, sentando las bases de la epidemiología y aportando ideas a la teoría microbiana de las enfermedades. En la actualidad el vasto desarrollo de las tecnologías de la información, la internet globalizada, las aplicaciones *web* gratuitas y los sistemas de registro de información potenciados, contribuyen a consolidar la herramienta de mapeo como un complemento necesario para el análisis de las distribuciones espaciotemporales de los eventos epidemiológicos. En este anexo se explica de manera sintética el ejemplo de uso de la geocodificación de casos de COVID-19 en la provincia de Buenos Aires desde el Ministerio de Salud.

En 1854, el cólera diezmaba la población de un pequeño sector de Londres llamado Golden Square, el cual fue escenario de un brote epidémico de cólera de inusual intensidad, costando la vida a cerca de 500 personas en tan sólo 10 días (Cerde y Valdivia, 2007). Esta infección intestinal aguda, ocasionada por la ingesta de alimentos o agua con contaminaciones fecales, es provocada por la bacteria *Vibrio cholerae*. La enfermedad provoca una diarrea tan extrema que puede acabar con la vida de una persona por deshidratación en menos de una semana. En aquella época, se creía que los miasmas eran los causantes de las enfermedades. Sin embargo, John Snow, el médico británico que sentó las bases de la epidemiología y contribuyó con la Teoría Microbiana de las enfermedades usó lo que hoy llamamos “geocodificación”, en un mapa papel (Figura 1) para resolver un problema sanitario. La evidencia de su trabajo muestra que su procedimiento lógico debió consistir en los siguientes pasos:

1. Colocó en un mapa todos los casos de cólera posibles según el domicilio de la persona.
2. Colocó en el mismo mapa las bombas de agua del barrio.
3. Relacionó el lugar de residencia y fuente de consumo de agua.
4. Determinó que la bomba de agua de Broad Street era la responsable de la transmisión de la enfermedad.
5. Clausuraron la bomba y los casos de cólera comenzaron a disminuir.

Figura 1



Nota. Mapa creado por John Snow. Fotografía Wikipedia. (Variante del mapa original del Dr. John Snow. Los puntos son casos de cólera durante la epidemia en Londres de 1854 y las cruces la ubicación de las bombas de agua.)

En la actualidad los Sistemas de Información Geográfica (SIG), son las herramientas de generación, integración y análisis de datos espaciales en formato digital. Como todo software, los hay de distribución y uso libre como el QGis, GvSIG, Grass y los de uso mediante compra de licencia como el Arcgis, Mapinfo, Idrisi, entre otros.

Desde el Ministerio de Salud de la Provincia de Buenos Aires, se viene trabajando con este tipo de herramientas desde hace más de 20 años y en la actualidad, se está apostando al uso de softwares libres como el QGis, Geoserver, Postgres, Metabase y R.

¿Para qué representar eventos epidemiológicos puntuales?

La necesidad de conocer las distribuciones espaciales de fenómenos de interés sanitario no es una novedad. Como se vio con el ejemplo del cólera en Inglaterra del siglo XIX, existen numerosos casos, por mencionar algunos: el trabajo con dengue de Bolzán *et al.*, 2019, los estudios sobre Covid de González *et al.*, 2021 y las investigaciones sobre parasitosis intestinales de Ciarmela *et al.*, 2015 y Cociancic, 2019. Desde otros enfoques se destacan los trabajos de De Pietri *et al.*, 2008 y 2011, quienes analizaron modelos geoespaciales para la vigilancia local y gestión del riesgo, mientras que Linares *et al.*, 2009 analizaron los patrones de mortalidad en la ciudad de Tandil. En el ámbito de Salud es una herramienta muy útil para poder dimensionar en tiempo y espacio los fenómenos sanitarios con el fin de planificar acciones y cuantificar esfuerzos.

El Sistema Integrado de Información Sanitaria Argentino (SIISA) tiene varios subsistemas, uno de ellos, el Sistema Nacional de Vigilancia en Salud (SNVS), que registra los eventos de notificación obligatoria. En contexto de la pandemia, fue necesario mapear los casos desde el primer día para entender el comportamiento y tomar medidas con abordaje territorial. Si bien el

Ministerio de Salud había realizado geocodificaciones para otros eventos epidemiológicos, como Dengue, Sarampión, Sífilis, Hantavirus, los cuales evidenciaron la problemática de la notificación, la calidad del registro de domicilio y la demora del dato para lograr mapeos relativamente oportunos en tiempo y de calidad, la experiencia de trabajo con COVID-19 generó otros aprendizajes en sentido de la urgencia, la incertidumbre, los límites de la gratuidad de las herramientas de geocodificación, la subestimación del dato domicilio en los registros y la cantidad de datos que aumentó exponencialmente en un corto periodo y que se llegó a mapear y analizar.

La geocodificación

La geocodificación es el proceso de transformar una descripción de una ubicación (por ejemplo, un par de coordenadas, una dirección o el nombre de un lugar) en una ubicación de la superficie de la Tierra (ESRI, 2022; Geo innova, 2021). Es decir, una referencia de ubicación relativa se puede representar como coordenadas geográficas o planas en el mapa. La geocodificación puede ser directa e indirecta. La primera consiste en generar los puntos a partir de coordenadas geográficas o planas, x e y conocidas. Mientras que la segunda consiste en asignar coordenadas geográficas a una referencia de domicilio, código postal, localidad o partido, mediante el uso de una cartografía base de referencia. La cartografía base de referencia para mapear domicilios se compone de los ejes de calles y generalmente se utiliza la base cartográfica del servicio de *Google Maps* (Google, 2005) aunque existan otros servicios como *Openstreetmap* (OSM, 2004), *BingMaps* (Microsoft, 2005) *Esri geocoding* (ESRI, 2022) y las cartografías producidas por los organismos estatales de referencia que participan de la IDEBA para el caso de la provincia de Buenos Aires (Subsecretaría de Gobierno Digital PBA, 2020).

Herramientas de geocodificación

Partiendo de los SIG de escritorio que pueden agregar una tabla Excel, en formato .csv o .txt con dos columnas de coordenadas x e y, se generan los eventos puntuales en el sistema de referencia espacial que estén expresadas las mismas, ya sean coordenadas planas o geográficas, lo que llamamos geocodificación directa. Y para la indirecta, los SIG disponen de algoritmos de geocodificación que se configuran según la estructura del geocodificador teniendo en cuenta los datos de referencia y los datos de ubicación o domicilios. Dependiendo del programa, es la disponibilidad de herramientas y su complejidad. Los hay pagos, gratis y con límites de uso libre (Arcgis, Qgis, Batchgeo).

Actualmente, cobraron relevancia y ubicuidad el uso de las APIs ya sea de Google Maps⁵, OSM que se pusieron al alcance de cualquier persona, por ejemplo: Batchgeo, Google Maps. El

⁵ Google Maps tiene la cartografía más completa, aunque no oficial y su api, permite el uso de hasta 300 U\$ gratis, excedido ese consumo, se factura. Batchgeo utiliza la api de Google Maps permitiendo hasta 250 geocodificaciones por día desde una IP, luego tienen planes de prestaciones y consumos.

Qgis, utiliza la api de Google Maps y Nominatim de OSM en su complemento de geocodificación MMQgis. (Geo Innova, 2019, 2021).

Análisis de la precisión

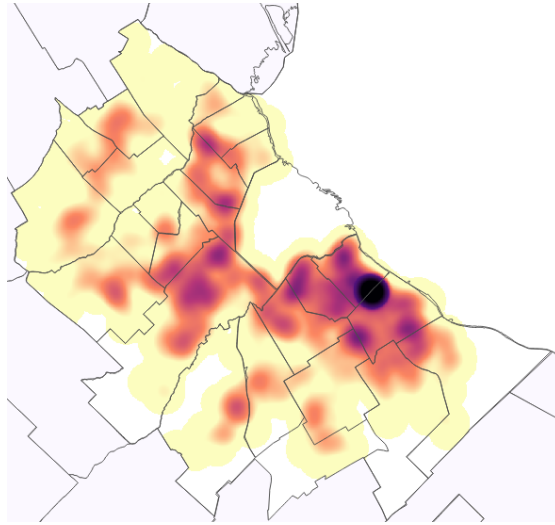
Dado los posibles errores de ubicación que pueden darse en la geocodificación automática indirecta, es imprescindible realizar una verificación y análisis de precisión, ya sea para medir la efectividad de los eventos ubicados con relación al total de ubicables y también para verificar la exactitud de la ubicación de los eventos según los datos de domicilio con la cartografía de referencia. Cuando se trabaja con ejes de calle como cartografía de referencia, los nombres de las calles y las alturas son datos cruciales que no siempre están actualizados y completos, lo cual genera una merma en la efectividad y precisión de la geocodificación. Asimismo, no siempre se conoce el formato estandarizado de los nombres de calles, esto principalmente ocurre cuando se trata de servicios no oficiales como Google Maps, Nominatim. La otra parte fundamental a la hora de geocodificar es tener la tabla de eventos con los domicilios lo más completo posible⁶ y normalizados también (preferentemente según la cartografía de referencia).

Análisis e integración de otras fuentes de información

A partir de la distribución de los casos ubicados como puntos, es posible realizar análisis de distancias, concentración de agrupamientos, es decir identificar focos de alta densidad de ocurrencia (Figura 2). Durante la pandemia, el mapeo y análisis espacial continuo y su publicación mediante un servicio de mapa web que estaba disponible e integrado a la Sala de Situación COVID contribuyó a la evaluación plena para la toma de decisiones y medidas necesarias para la gestión desde el Ministerio de Salud. Dado que el contexto social y territorial resulta fundamental para el abordaje de algunos sucesos epidemiológicos, en el monitoreo de brotes, circulación viral y la aplicación de medidas oportunas de control y respuesta, desde la Dirección de Información en Salud, se propuso generar un modelo espacial que ponga en evidencia la distribución territorial de la vulnerabilidad social en la Región Metropolitana de la provincia de Buenos Aires (RMBA), que sirva no solo de ambiente para el evento epidemiológico de pandemia por COVID19 (Zucchini et al., 2020)

⁶ Completud del dato domicilio: calle, altura, entre calles, esquina, localidad y partido (provincia y país). Si faltara el dato de partido no se puede ubicar. Siempre sabiendo la provincia y el país, dado que los geocodificadores son globales.

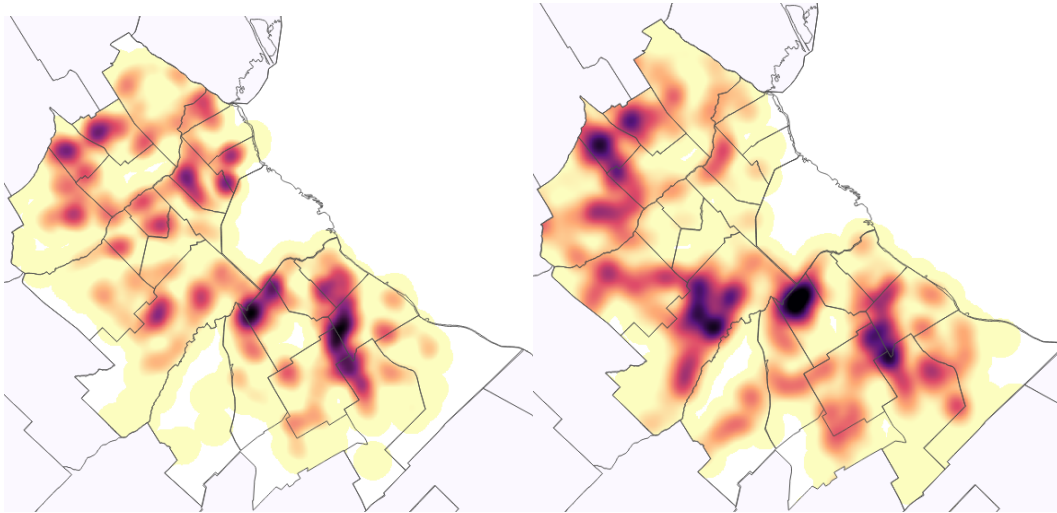
Figura 2



Nota. Concentración espacial de casos confirmados COVID-19, según últimas 4 semanas epidemiológicas (19, 20, 21 y 22, del 2020). Fuente: extraído de Zucchini *et al.*, 2020.

Con ese propósito se generó el Índice de Vulnerabilidad Socio Territorial (IVST). Integrando distintas fuentes de información sociodemográfica que permitieran caracterizar zonas con poblaciones vulnerables. A partir de los mapas a y b de la Figura 3 y otras dos capas más de información se genera el IVST, el cual se puede visualizar en el Visualizador geográfico del Ministerio de Salud (Figura 4) y consultar y/o descargar mediante los servicios publicados de [wms](#) y [wfs](#). Las fuentes disponibles que se utilizaron provienen del Censo 2010 a nivel de radio censal, según el trabajo de Márquez *et al.*, 2019 sobre exclusión social publicada en la Plataforma Poblaciones de Datos Abiertos; el registro de barrios populares RENABAP y el Registro de Villas y Asentamientos Precarios de la provincia de Buenos Aires (Zucchini *et al.*, 2020).

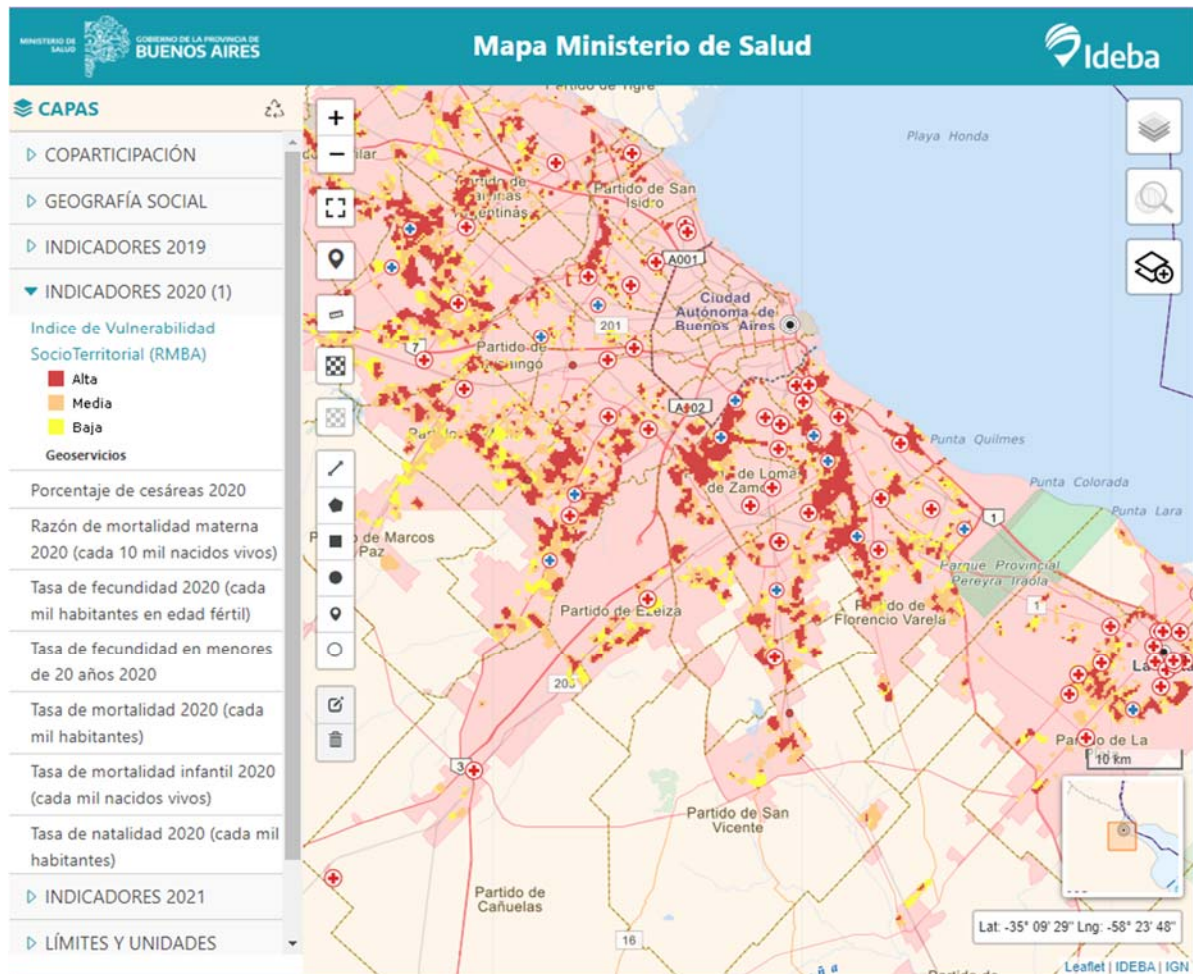
Figura 3



Nota. a) Concentración espacial de barrios precarios. Registro Público de Villas y Asentamientos Precarios, Ministerio de Desarrollo de la Comunidad de la provincia de Buenos Aires (Izquierda). b) Concentración espacial de exclusión social. Según concentración de radios censales con incidencia de riesgo de exclusión moderada, alta y muy alta y concentración de riesgo de exclusión moderado y alto (Derecha). Fuente: extraído de Zucchini *et al.*, 2020.

El principal interés fue generar información para la acción, ya sea para planificar la acción territorial, o el seguimiento de casos, o bien de intervención oportuna en barrios (ej: Villa Azul y Villa Itatí durante el brote), hasta la coordinación de los operativos DETECTAR, o bien analizar el impacto de la pandemia según criterios de desigualdades sociales.

Figura 4



Nota. Visualizador del Ministerio de Salud de la Provincia de Buenos Aires, IDEBA.

Agradecimientos

Personalmente quisiera hacer un reconocimiento a destiempo del grupo humano que se comprometió en la geocodificación durante la pandemia. A la escala que trabajó Snow, la labor individual habría sido ardua en su momento, pero no hubiera alcanzado para la escala de trabajo que se abordó en la provincia. El mapeo de eventos epidemiológicos es una laboriosa tarea que no solo implica la geocodificación sino también la verificación de casos, lo cual no hubiera sido posible sin el esfuerzo realizado por los equipos de la Dirección de Vigilancia Epidemiológica y Control de Brotes y la Dirección de Información en Salud, desde la Unidad de Análisis de Información en Salud, del Ministerio de Salud de la Provincia de Buenos Aires.

Referencias

- Bolzán, A, Insua, I, Pamparana, C, Celeste Giner, M, Medina, A y Zucchini, B. (2019). Dinámica y caracterización epidemiológica del brote de dengue en Argentina año 2016: el caso de la Provincia de Buenos Aires. *Revista chilena de infectología*, 36(1), 16-25. doi:
<https://dx.doi.org/10.4067/S0716-10182019000100016>
- Cerda, J. y Valdivia, G. (2007). John Snow, la epidemia de cólera y el nacimiento de la epidemiología moderna. *Revista chilena de infectología*, 24(4), 331-334. doi:
<https://dx.doi.org/10.4067/S0716-10182007000400014>
- Ciarmela, M.L., Ceccarelli, S., Zubiri, K., Pezzani, B. y Minvielle, M. (2015). Distribución espacial de niños infectados con *Giardia intestinalis* y *Blastocystis hominis* y su relación con variables ambientales. *Libro de Resúmenes VII Congreso Argentino de Parasitología*. San Carlos de Bariloche.
- Cociancic, P. (2019). *Evaluación del riesgo de infecciones parasitarias intestinales en poblaciones infanto-juveniles de Argentina: el impacto de los factores ambientales y socio-económicos en su distribución geográfica. (Tesis doctoral)*. La Plata, Buenos Aires, Argentina: Facultad de Ciencias Naturales y Museo. UNLP.
- De Pietri, D.E., García, S. y Rico, O. (2008). Modelos geo-espaciales para la vigilancia local de la salud. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 23(6), 394–402.
- De Pietri, D.E., Dietrich, P., Mayo, P. y Carcagno, A. (2011). Evaluación multicriterio de la exposición al riesgo ambiental. *Revista Panamericana de Salud Ambiental*, 30(4), 377-387.
- ESRI. (2022). *Documentación: Arcgis 10. ¿Qué es la geocodificación?* Recuperado el 20 de 7 de 2022, de www.esri.com:
<https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/manage-data/geocoding/what-is-geocoding.htm>
- Geo Innova. (2019). *MMQGIS: geocodificación de datos en QGIS*. Recuperado el 20 de 7 de 2022, de
<https://geoinnova.org/blog-territorio/mmqgis-geocodificacion-de-datos-en-qgis/>:
<https://geoinnova.org/blog-territorio/mmqgis-geocodificacion-de-datos-en-qgis/>
- Geo innova. (2021). *MMQGIS: geocodificación de datos en QGIS*. Recuperado el 20 de 7 de 2022, de
<https://geoinnova.org/>:
<https://geoinnova.org/blog-territorio/mmqgis-geocodificacion-de-datos-en-qgis/>
- González, M., Ameri, L., Muñoz, L., Luzuriaga, J.P., Pifano, M., Velázquez, V., Zucchini, B., Specogna, M., Pesci, S., García, E. y Comes, Y. (2021). COVID-19 y vulnerabilidad social: análisis descriptivo de una serie de casos del Gran Buenos Aires. *Revista Argentina De Salud Pública*, 13. Obtenido de <https://rasp.msal.gov.ar/index.php/rasp/article/view/572>
- Google. (2005). *Google Maps*. Obtenido de www.google.com.ar/maps/
- Institute of Electrical and Electronics Engineers. (1990). *IEEE Standard Glossary of Software Engineering Terminology: IEEE Standard*. doi:10.1109/IEEESTD.1991.106963.

- Linares, S., Tisnés, A. y Nochera, A. (2009). Aplicación de Sistemas de Información Geográfica para detectar patrones espaciales en la mortalidad por cáncer en la ciudad de Tandil. En C. d.-F. UNCPBA, *Geografía Argentina. Aportes al estudio de algunos problemas actuales* (págs. 63-69). Tandil: Centro de Investigaciones Geográficas - FCH - UNCPBA.
- Márquez, Tuñón, I. y Salvia, A. (2019). *Riesgo de exclusión social, 2010*. Obtenido de <https://mapa.poblaciones.org/>
- Microsoft. (2005). *Bing Maps*. Obtenido de <https://www.bing.com/maps>.
- OSM. (2004). *Open Street Map*. Obtenido de www.openstreetmap.org: Open Street Map. www.openstreetmap.org
- Subsecretaría de Gobierno Digital PBA. (2020). *IDEBA*. Obtenido de <https://ideba.gba.gob.ar/>
- Zucchino, B., del Río, J.P. y Marín, L. (2020). *Índice de Vulnerabilidad Socio Territorial para el monitoreo de poblaciones vulnerables en contexto de la pandemia COVID-19. Región MBA*. La Plata: Ministerio de Salud de la Provincia de Buenos Aires. Subsecretaría de Gestión de la Información, Educación Permanente y Fiscalización. Dirección de Información en Salud. Obtenido de <https://www.ms.gba.gov.ar/sitios/media/files/2021/02/Indice-de-Vulnerabilidad-Socioterritorial-IVST-para-monitorear-poblaciones-en-contexto-de-la-pandemia.pdf>

CAPÍTULO 6

Modelo de datos ráster y su tratamiento

María R. Derguy, Sandra E. Torrusio y Anabel A. Lamaro

Introducción

Como vimos en los Capítulos 1 y 2, un ráster consiste en un conjunto de píxeles distribuidos y almacenados en una matriz rectangular, organizada en filas y columnas. Cada píxel contiene un atributo que codifica a las variables temáticas representadas por el ráster y en función de esos atributos es posible procesar este tipo de información. El tratamiento de capas ráster en un SIG puede incluir distintos tipos de datos, análisis de imágenes satelitales (monobanda o multibanda), de los productos derivados de estas, de capas generadas por el proceso de interpolación (desarrollado más adelante en este capítulo) o simplemente de archivos que fueron previamente escaneados (ej.: cartas geológicas, topográficas, mapas). En este capítulo vamos a abordar el tratamiento de imágenes satelitales ópticas y mencionaremos brevemente el tratamiento básico de imágenes satelitales de radar. Los procesos fundamentales que se aplican sobre un ráster pueden agruparse en las siguientes grandes categorías: mejoramiento visual, correcciones de tipo geométricas y radiométricas y análisis digital.

Preprocesamiento de imágenes satelitales ópticas

Mejoramiento visual

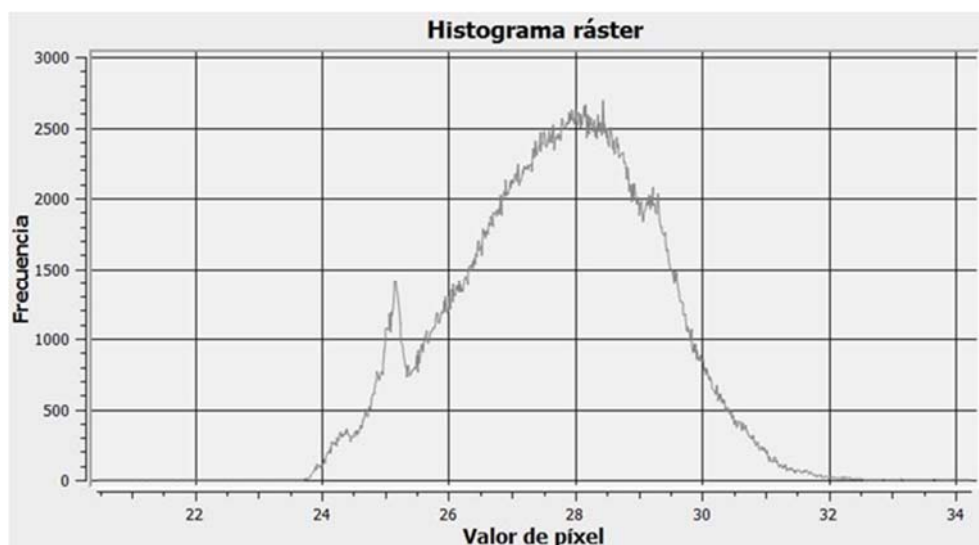
La visualización de datos ráster suele requerir de la aplicación de mejoras que resalten sus características y permitan diferenciar los elementos que los componen. Para esto, los SIG, disponen de algoritmos que realizan estas mejoras de manera automatizada.

Realzar el contraste

Al abrir una imagen satelital y visualizarla, lo primero que se busca es mejorar o realzar su contraste. Los realces no modifican los niveles digitales (ND) originales de los píxeles, sino que sólo definen cambios en la correspondencia entre los ND y los niveles visuales (NV)

almacenados en la tabla de referencia de color utilizada para la visualización de la imagen (Ramos Flores, 2017). Para comprender este proceso, es necesario retomar el concepto de histograma, esto es, la representación gráfica de la distribución de los valores numéricos de intensidad (por ej.: niveles de gris) que componen una imagen. En el histograma, los valores de intensidad estarán representados en el eje X del gráfico, mientras que la frecuencia de ocurrencia de cada uno de estos valores estará representada en el eje Y. En la Figura 6.1 se ejemplifica un histograma donde valores de intensidad, representados como niveles de gris, se distribuyen entre un mínimo de 22 y un máximo de 34.

Figura 6.1

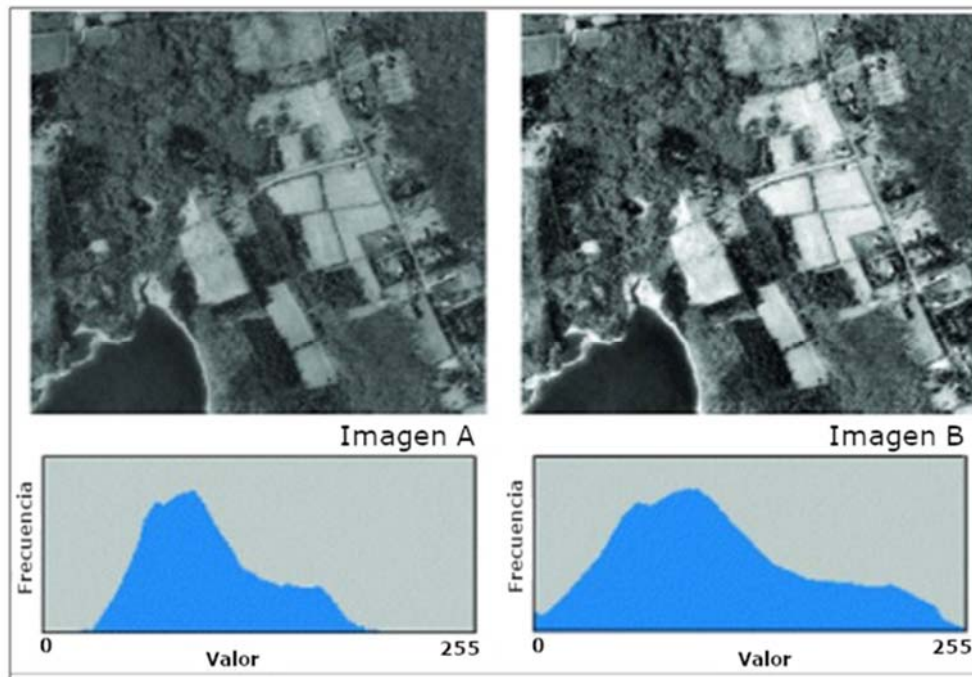


Nota. Histograma ejemplificando los niveles de gris, distribuidos entre un mínimo de 22 y un máximo de 34.

Para realzar el contraste necesitamos cambiar los valores originales de mínimo y máximo, de manera de poder utilizar todos los valores posibles del rango radiométrico de la imagen (por ej.: 256 niveles de gris para una imagen de 8 bits), a fin de optimizar el contraste entre sus elementos. Los programas de SIG generan esta modificación del histograma aplicando transformaciones que pueden ser de tipo lineal, no lineal, por desviaciones estándar, o por ecualización del histograma, y el resultado se conoce comúnmente como “estiramiento”. Al llevar el rango de valores del histograma a su máximo posible, la “masa de puntos” queda repartida entre estos valores posibles, de manera que la curva se asemeja a la forma de una campana, logrando una mejora en la visualización e interpretación de la imagen.

En la Figura 6.2 se ve una imagen sin realce (A) y la misma imagen con un realce aplicado en función del estiramiento de su histograma (B).

Figura 6.2



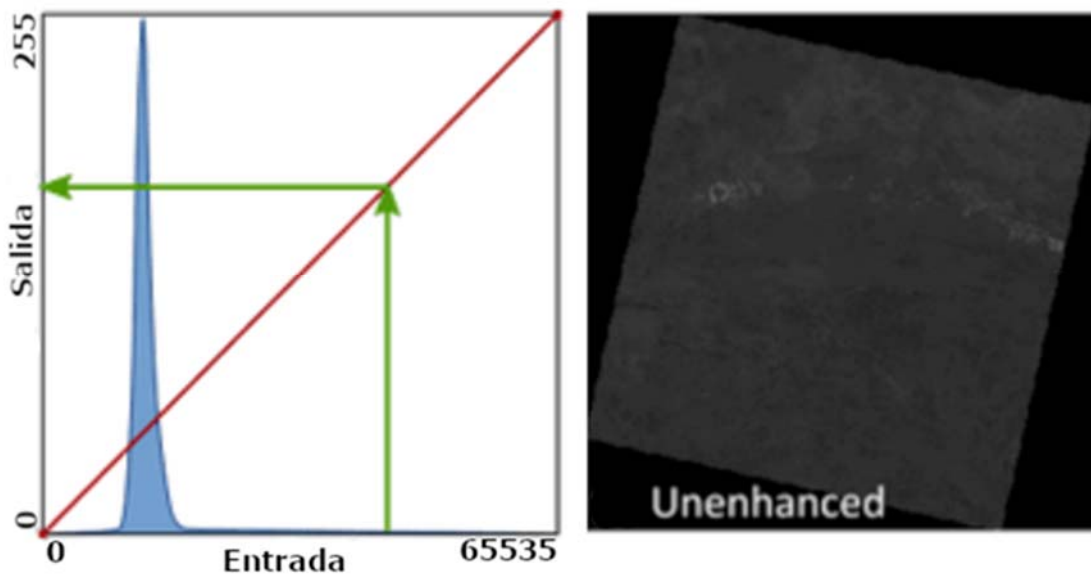
Nota. Ejemplo de mejora visual a través del estiramiento del histograma. Modificado del manual del usuario ArcGIS for Desktop <https://desktop.arcgis.com/es/documentation/>

Los *software* de SIG presentan distintas alternativas para aplicar realces de contraste a los datos de tipo ráster, entre ellos, podemos ejemplificar algunas de las más frecuentes como: Sin realce (*Unenhanced* o *No Enhancement*); Estirar a mínimo/máximo (*Stretch to min/max*); Estirar y cortar a mínimo/máximo (*Stretch to 99% min/max*).

Sin realce. Si tenemos, por ejemplo, una imagen monobanda de 16 bits, la opción Sin realce solo implica que los valores de los píxeles de entrada, en el rango de 0 a 65535 (16 bits), son redistribuidos entre 0 a 255 (8 bits), por ser el rango de niveles de gris correspondiente a la pantalla de nuestro equipo, tal como se observa en el histograma de la Figura 6.3.

En el eje X se representan los valores del dato de entrada (0 a 65535) y en el eje Y los valores de salida resultantes (0 a 255). Se puede ver que el histograma cubre una pequeña parte de la gama de luminosidad disponible y la imagen resultante es muy oscura. El histograma, en color azul, muestra la distribución de los valores de entrada y la línea roja en diagonal representa las tablas de correspondencia o tablas de conversión entre valores. Como se indica con las flechas verdes, los estiramientos se aplican leyendo cada valor de entrada (desde el eje X), trazando una línea vertical hasta llegar a la tabla de conversión (línea diagonal roja) y luego prolongando una línea horizontal para el eje Y, donde se encuentra el valor de salida correspondiente.

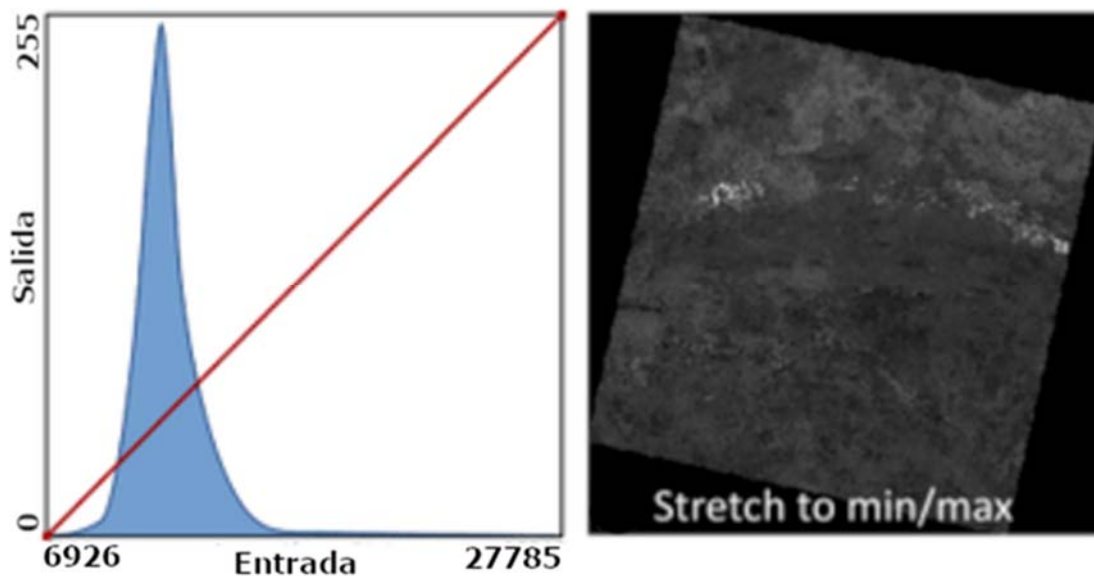
Figura 6.3



Nota. Ejemplo de realce “Unenhanced”. Modificado del Blog SIG & Territorios <https://www.sigterritoires.fr/index.php/es/>

Estirar a mínimo/máximo. El rango de entrada se ajusta a fin de extenderse entre los valores de entrada mínimo y máximo reales de los datos. El histograma cubre una parte mayor de la gama de luminosidad que la opción Sin mejoras y la imagen aún puede resultar oscura (Figura 6.4).

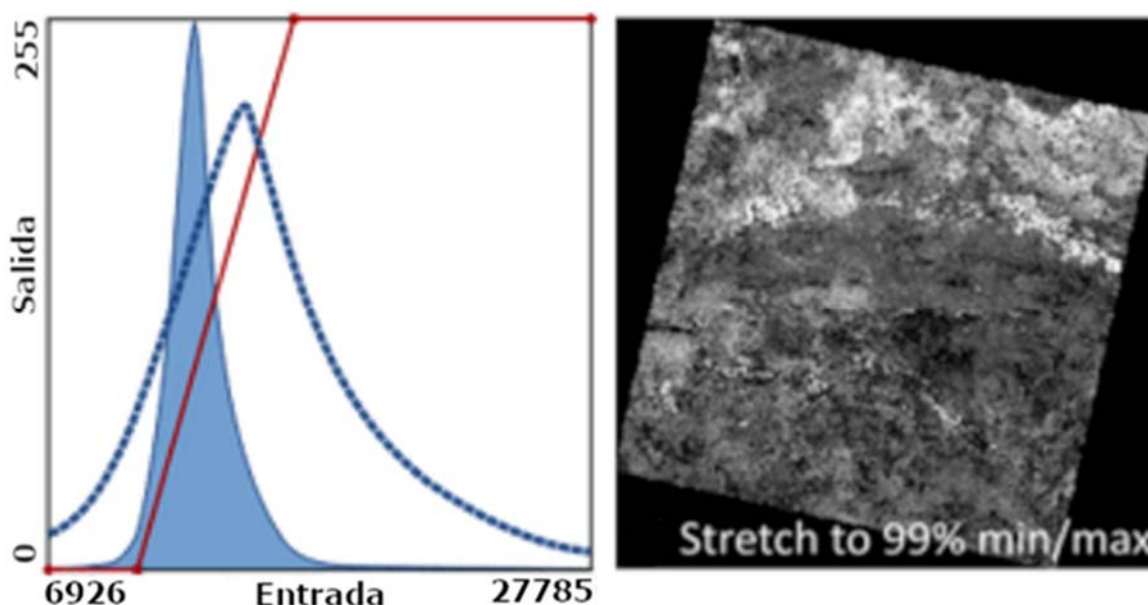
Figura 6.4



Nota. Ejemplo de realce “Stretch to min/max”: Modificado del Blog SIG & Territorios <https://www.sigterritoires.fr/index.php/es/>

Estirar y cortar a mínimo/máximo. La diagonal se ajusta de modo que sus extremos cubren el 99% de la gama de entrada. El restante 1% de los datos es ajustado a 0 (para píxeles oscuros) o a 255 (para píxeles brillantes). El contorno azul punteado muestra el histograma de salida obtenido y se observa que cubre toda la gama de luminosidad con una buena distribución de tonos del negro al blanco, evidenciándose en la imagen la mejora del contraste (Figura 6.5).

Figura 6.5



Nota. Ejemplo de realce “Stretch to 99% min/max”. Modificado de Blog SIG & Territorios <https://www.sigterritoires.fr/index.php/es/>

Interpretación visual

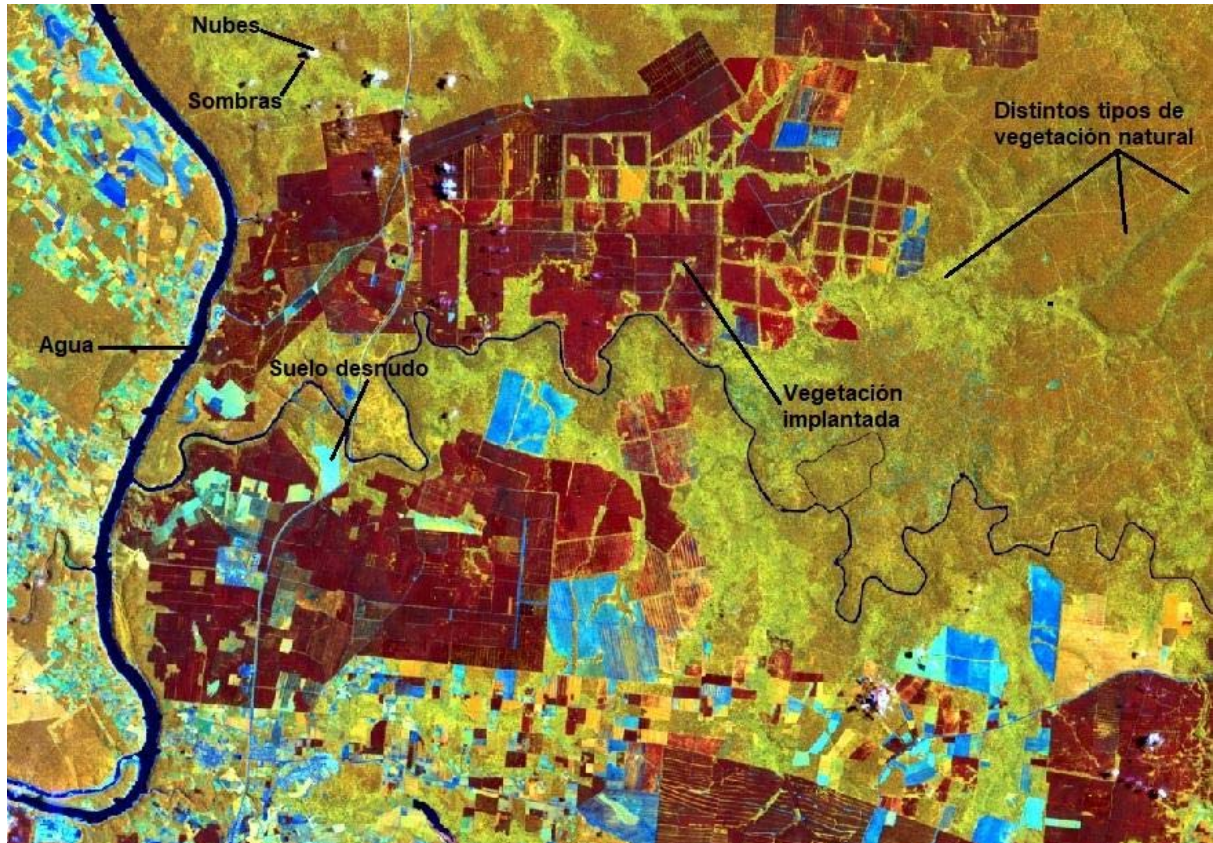
Retomando los conceptos abordados en los Capítulos 1 y 2, se establecerán ahora los componentes a considerar durante la interpretación visual de un ráster (principalmente de imágenes satelitales ópticas). Estos datos pueden visualizarse en niveles de gris (si tenemos un archivo que incluye una única banda) o como composición color RGB (si tenemos un archivo multibanda generado por apilado o *stack* de las bandas). Para este último proceso, cada banda representada en niveles de gris es asignada en el *software* utilizado a los canales rojo, verde y azul, adquiriendo de esta manera este tipo de color. En general, la interpretación visual de datos satelitales se realiza en base a la generación de una composición color (ver más detalles en Capítulo 1). Al comenzar, debemos tener claro: (i) cuáles son las bandas que componen nuestro apilado, en qué orden se encuentran en este archivo y cuáles de esas bandas asignamos a los canales para la composición RGB. (ii) la respuesta espectral de las distintas coberturas/ usos en esas bandas, y finalmente, (iii) las bases de la teoría aditiva del color.

Vamos a considerar como ejemplo un caso de estudio en el que, a partir de la interpretación visual de una imagen satelital, se busca identificar las distintas coberturas terrestres con énfasis

en la vegetación. Para esto, disponemos de un ráster multibanda que incluye las primeras cinco bandas del sensor TM de Landsat 5 (Figura 6.6) apiladas en el siguiente orden:

1: Azul (B1); 2: Verde (B2); 3: Rojo (B3); 4: Infrarrojo cercano (B4); 5: Infrarrojo medio (B5); y asignadas a los canales RGB en el siguiente orden RGB 453, una combinación muy común para la interpretación de coberturas vegetales.

Figura 6.6

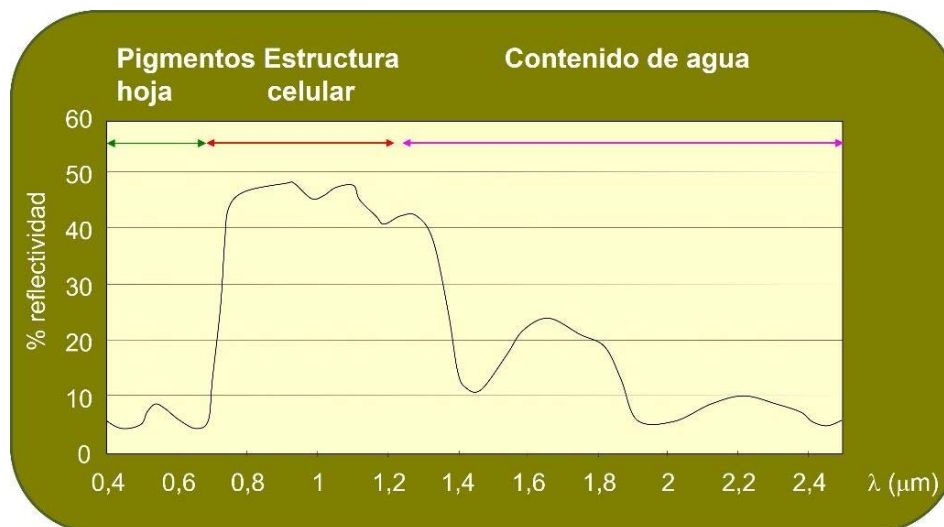


Nota. Imagen Landsat 5 en composición color RGB 453. Fuente: Elaboración propia.

Así, para establecer el primero de los tres componentes necesarios para la interpretación, contamos con la información sobre las bandas y el orden que tienen estas definido en el apilado. También sabemos cuáles de esas bandas están incluidas en la composición color RGB, que implica el uso de los tres canales R (Red), G (Green), B (Blue), en este caso es RGB 453 o R (Infrarrojo cercano), G (Infrarrojo medio) y B (Rojo).

El segundo componente a considerar es la respuesta espectral de las distintas coberturas/ usos, como se explicó en el Capítulo 1 al explicar el concepto de firma espectral (Figura 1.10). Si se toma como ejemplo la composición color que muestra en la Figura 6.6, es posible observar que el área de estudio presenta, las siguientes categorías: Agua (río), Vegetación (natural e implantada), Suelo desnudo (suelo sin cobertura vegetal), Nube y Sombra. De estas categorías, vamos a considerar la vegetación, sabiendo que las bandas que nos brindan más información sobre esta cobertura son, la banda B4 (IRC), seguida de B5 (IRM) y finalmente B2 (verde) (Figura 6.7).

Figura 6.7



Nota. Respuesta espectral de la vegetación terrestre vigorosa. Ver el texto para más detalles.
Fuente: Adaptada de Chuvieco 2002.

Finalmente, teniendo en cuenta las bases de la teoría aditiva del color (desarrollada en el Capítulo 1, Figura. 1.15), como tercer componente, nos permitirán identificar el aporte de las distintas bandas utilizadas en la composición color RGB, puesto que la predominancia de un color sobre otro será explicada por esta respuesta.

Interpretemos ahora la información en nuestro caso de estudio:

En el canal Rojo (R) tenemos la B4, por lo tanto, la respuesta espectral derivada de esta banda aportará tonos de rojo. En el canal Verde (G) tenemos la B5, por lo tanto, la respuesta espectral derivada de esta banda aportará tonos de verde. En el canal Azul (B) tenemos la B3, por lo que la respuesta espectral derivada de esta banda aportará tonos de azul. Luego, los colores se combinan debido a la información de respuesta espectral que contienen las bandas asignadas a estos canales. Así, si queremos saber de qué color se vería la vegetación, debemos considerar que tanto la B4 como la B5, presentes en la composición color, nos aportan información sobre este tipo de cobertura. Esto se debe a que su respuesta espectral es mayor en estos sectores (Figura 6.7), de manera que tendremos aportes del canal (R) y del canal (G), es decir, una combinación de estos canales. De acuerdo con la teoría aditiva del color (Figura 1.15) esta combinación nos da colores que van desde el naranja al amarillo, en cuyas diferentes tonalidades podremos observar distintos tipos de cobertura vegetal y/o distintos estados fenológicos. Así, en la Figura 6.6, observamos estas tonalidades para los distintos tipos de vegetación que se encuentran presentes en el área: natural (en tonos anaranjados/amarillentos) e implantada (en tonos rojos intensos).

Correcciones

Al descargar una imagen satelital y abrirla en un entorno SIG podemos encontrar distintos tipos de errores que requieren ser corregidos para una correcta utilización del dato. Los procesos de corrección que se aplican están vinculados con dos grandes categorías: correcciones radiométricas y correcciones geométricas. Las radiométricas se aplican para corregir distorsiones provocadas por fallos de los propios sensores, errores introducidos en el proceso de almacenamiento o transmisión de datos, o bien distorsiones debidas al efecto de interferencia de la atmósfera, esta última es también conocida como corrección atmosférica. Las correcciones geométricas eliminan las distorsiones producidas por alteraciones en el movimiento del sensor, las cuales pueden ser generadas por la rotación y/o curvatura de la Tierra, el relieve del terreno, u otros factores.

Geométricas

El proceso más común de corrección geométrica en manos del usuario es el de georreferenciación. Este proceso consiste en asignar a cada píxel de una capa ráster su localización en un determinado Sistema de Referencia Espacial (SRE). Esto se aplica cuando el dato original sólo tiene coordenadas de filas y columnas o tiene coordenadas de latitud y longitud, pero estas requieren un ajuste que aumente su precisión y, por tanto, su ubicación espacial. Una vez aplicada la georreferenciación se obtiene una nueva capa en la que cada columna se corresponde con un valor de longitud y cada fila con un valor de latitud. Para esto, se trabaja con una serie de puntos de control, los cuales deben ser objetos perfectamente identificables y preferentemente artificiales ya que tienen menor variabilidad en el tiempo. El número de puntos de control debe ser suficiente, mayor cuanto más grande sea la imagen y deben estar adecuadamente repartidos por toda la extensión de la imagen. Los puntos de control con coordenadas reales pueden obtenerse a partir de un archivo derivado de puntos tomados a campo con receptor GNSS, a partir de capas en las que puedan identificarse distintos puntos o de otra imagen previamente georreferenciada. Dos parámetros de suma importancia a considerar cuando se aplica un proceso de georreferenciación son: el tipo de transformación y el tipo de remuestreo.

El proceso de transformación implica trasladar las coordenadas arbitrarias (filas y columnas) a coordenadas espaciales (geográficas o planas). Para esto se utilizan distintos algoritmos de transformación dependiendo de la deformación del ráster a georreferenciar. La elección dependerá de la cantidad de puntos de control que se hayan tomado, del tipo y calidad de los datos de entrada y de la distorsión geométrica que se está dispuesto a introducir en el resultado final. Algunas opciones de transformación disponibles en *software* de SIG son:

- **Lineal.** Se utiliza para crear un archivo de referencia, realmente no transforma el ráster. Este algoritmo probablemente no será suficiente si se trata de material escaneado.

- **Helmert.** Permite trasladar, rotar y rescalar de forma sencilla. Poca deformación. Similar a la Polinomial de orden 1.

- **Polinomial.** Son los algoritmos más utilizados. Se clasifican en:

 - Orden 0: solo transfiere coordenadas.

 - Orden 1: Afín, similar al Helmert. Preserva la colinealidad y permite escalado, traslación y rotación solamente.

 - Ordenes mayores (2-3): corrigen deformaciones globales.

- **Thin plate spline (TPS).** Método de deformación elástica vectorial. Optimiza la exactitud local, pero no la global. Es una deformación desigual, genera triangulaciones entre los puntos de control y áreas independientes de la posición. Requiere de muchos puntos. Es un método de transformación más moderno y es útil cuando se georreferencian originales de muy baja calidad.

- **Proyectiva.** Permite cambiar líneas de manera que permanezcan rectas. Al hacerlo es posible que las líneas que eran paralelas, ya no lo sean. Es una rotación lineal con traducción de coordenadas. Este método se utiliza para transformar los datos capturados directamente de la fotografía aérea.

El tipo de remuestreo a aplicar, dependerá de la complejidad de la transformación realizada y del tipo de datos. Luego del proceso de transformación se genera una nueva matriz correctamente posicionada, pero vacía. Completar esta matriz con los valores de atributo correspondientes es, precisamente, el remuestreo. Existen distintos tipos de remuestreo en los *software* de SIG, algunos de ellos son:

- **Vecino más próximo.** Sitúa en cada píxel de la imagen corregida el valor del píxel más cercano en la imagen original, para esto, estima la moda de los 4 píxeles vecinos más cercanos. Útil para datos categóricos o enteros.

- **Bilineal.** Estima la media de los 4 píxeles vecinos más cercanos en la capa original. Este promedio se pondera según la distancia del píxel original al corregido, de este modo tienen una mayor influencia aquellos píxeles más cercanos en la capa inicial. Útil en datos continuos (decimales).

- **Cúbica.** Es la media estimada a partir de los 16 píxeles más cercanos.

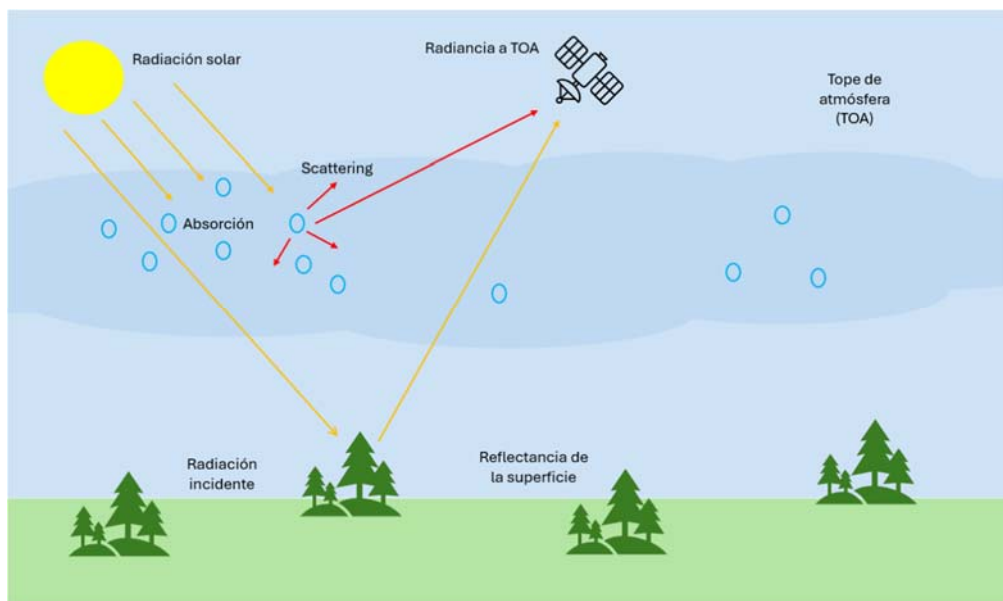
Radiométricas

Algunos ejemplos de corrección radiométrica son la restauración de líneas o píxeles perdidos y la corrección del bandeo de la imagen, pero sin duda la corrección radiométrica más utilizada es aquella que pretende eliminar las perturbaciones atmosféricas para obtener un píxel con el valor más preciso posible, que represente la energía reflejada por la superficie terrestre: el cálculo de reflectividades, incluyendo la corrección atmosférica.

Como analizamos en capítulos previos, la radiación solar al pasar por la atmósfera, llegar a la superficie terrestre y sufre alteraciones al retornar hacia el sensor. Una imagen satelital en números digitales (ND) o nivel de gris, sin corregir, puede resultar útil para muchas aplicaciones ya que, de manera cualitativa y relativa cada nivel de gris expresa la energía reflejada por ese píxel (por ejemplo, mayor ND mayor reflectividad). Para trabajar con variables físicas derivadas de la imagen, los ND deben convertirse, y de esa manera, dichas variables resultarán comparables entre sensores diferentes y también en un mismo sensor a lo largo del tiempo. Para comprender esta transformación debemos tener en mente la definición ya brindada en el Capítulo 1 sobre los conceptos de irradiancia, radiancia y reflectancia o reflectividad. Un primer paso es convertir los ND a valores de radiancia espectral (es decir para cada banda) a partir de los coeficientes de calibración propios del sensor, que son provistos por los desarrolladores de cada misión, contenidos en general en los metadatos de la imagen. Recordemos que la radiancia que llega al sensor es función de la irradiancia solar, de la reflectividad de la cubierta y de las condiciones de adquisición. Un segundo paso es la estimación de valores de reflectividad aparente conociendo la irradiancia solar en el techo de la atmósfera (TOA por su sigla en inglés: *Top of Atmosphere*), que se obtiene de tablas solares, y la fecha de adquisición (que permite estimar la distancia al sol y su inclinación [ángulo cenital]) (Chuvieco, 1995). Hasta aquí, la atmósfera es considerada transparente, no se corrigen aún los efectos atmosféricos.

Cuando hablamos de reflectividad tenemos que destacar que la atmósfera no afecta de igual forma al flujo descendente (denominador, energía que llega del Sol) y al ascendente (numerador, la energía que llega al satélite), ya que el espesor de la atmósfera que cada uno atraviesa es distinto. Además, debemos considerar los componentes atmosféricos responsables de la dispersión, absorción y emisión explicados en el Capítulo 1 (Figura 6.8). En resumen, la radiancia que recibe el satélite no es la misma que sale de la superficie, que es lo que en realidad nos interesa, es decir, la reflectividad de la cubierta (BOA: *Bottom of Atmosphere*) libre del ruido atmosférico. Para ello hay diversos procedimientos, algunos más laboriosos que otros, que consideran las características atmosféricas para cada adquisición. Por ejemplo, a partir de datos *in situ*, de otros sensores, de modelos de transferencia radiativa, o de datos de la propia imagen que se quiere corregir atmosféricamente. Este último procedimiento es el más sencillo y operativo y puede incluir varios métodos, el más conocido es el basado en la sustracción de objeto oscuro (*dark object subtraction* [DOS]; Chavez, 1975 en Chuvieco, 1995), que asume que las áreas con fuerte absorción sobre una imagen (agua, sombras) deberían presentar una radiancia espectral muy cercana a cero. En síntesis, este método sencillo de corrección atmosférica resta a todos los ND de cada banda el valor mínimo de dicha banda, llevando el origen del histograma a cero, asumiendo que ese valor mínimo es el efecto de la dispersión atmosférica. Ese valor mínimo es más alto en las longitudes de onda más cortas porque son las más afectadas por la dispersión Rayleigh, que es la más frecuente, y va decreciendo hacia el IRC y SWIR.

Figura 6.8



Nota. Flujos energéticos entre la fuente (el Sol) y el sensor atravesando la atmósfera y sus efectos. Adaptado de <https://www.mathworks.com/help/images/hyperspectral-data-correction.html>

Además de los efectos atmosféricos, la variación en las condiciones de iluminación influye en la imagen, debido a las diferencias en la elevación y orientación del terreno. La iluminación afecta considerablemente el análisis de una escena, ya que ocasiona una diferencia sustancial en la radiación medida por el satélite. Por ejemplo, si el objetivo del estudio es clasificar coberturas de suelo en una región montañosa, se debe tener en cuenta la iluminación de las laderas con diferente orientación. Mientras más pronunciado sea el terreno y más bajo sea el ángulo de elevación solar, más evidente será este efecto. La presencia de nubes y la sombra que ellas producen es otro factor que se debe estimar durante el análisis de imágenes. Las posibilidades de encontrar una escena completamente libre de nubes son bajas y normalmente se encuentran con cobertura nubosa parcial.

Frente a esta situación, es posible enmascarar las nubes, mediante una interpolación con datos de otra fecha o tratadas como datos de una clase separada. Para identificarlas es útil saber que, por lo general, una nube tiene valores altos de reflectancia en la región visible del espectro, y baja radiación térmica (por su baja temperatura en altitud) con respecto a su entorno. Si la escena con la que trabajamos es de una zona con presencia de nieve o hielo en superficie, es prudente tener presente que estas coberturas tienen propiedades radiativas similares a las nubes. Otra situación factible de hallar es encontrar píxeles con reflectancia negativa, aunque esto no tenga demasiado sentido, puesto que la reflectancia es una cantidad absoluta. Generalmente suele suceder frente a longitudes de onda infrarroja, mayormente en el infrarrojo de onda corta, sobre píxeles de agua o de sombras muy oscuras, como resultado de un bajo flujo de radiación hacia el sensor. Además, podemos hallar valores mayores a 1, posiblemente

causado por la presencia de nubes. A modo de sugerencia, no se deberían incluir esos píxeles en un cálculo, es decir, se recomienda considerarlos como NA (*not available value*). También se recomienda, tanto en píxeles de radiancia negativa como mayor a 1, llevarlos a un valor de 0 (Rabolli *et al.*, 2021).

Procesamiento de imágenes satelitales ópticas

El procesamiento o análisis digital busca extraer información a través de una transformación de los datos ráster, que puede implicar una modificación de los archivos originales o la generación de nuevos archivos (o productos) derivados de estos. En ambos casos el fin último del análisis digital es facilitar el conocimiento de los fenómenos estudiados (Chuvieco, 1995).

Índices espectrales

Una transformación que genera productos derivados de los datos originales es el cálculo de índices espectrales, los cuales implican un cociente o división píxel a píxel entre los valores almacenados en estos en función de dos o más bandas de una misma imagen.

Índice de vegetación

El comportamiento o estado fenológico de las coberturas vegetales puede ser descrito a través de variables biofísicas. En este sentido, los datos de tipo ráster, adquiridos por sensoramiento remoto, se caracterizan por ser estables y repetibles, y por tener una cobertura global que permite detectar cambios en la superficie terrestre y realizar estimaciones en función de estas variables. La información biofísica juega un papel importante en el seguimiento del vigor y estado de las coberturas vegetales, tanto naturales como implantadas, además de ser indicadores de su capacidad fotosintética y permitir calcular la productividad (Murillo Sandoval y Carbonell González, 2012).

Los índices pueden ser calculados a partir de imágenes satelitales en distintas unidades: niveles de gris (ND); valores de radiancia; valores de reflectancia. Sin embargo, es importante destacar que la utilización de imágenes en valores de reflectancia, es decir, corregidas atmosféricamente, resulta más adecuado para los análisis multitemporales y/o multiespaciales. Teniendo en cuenta las respuestas espectrales de la vegetación y sus diferencias con otras coberturas, las regiones del espectro electromagnético más utilizadas para la generación de índices de vegetación son la roja e infrarroja.

Índice de Vegetación Normalizado

El NDVI es el índice más conocido y usado en análisis de coberturas vegetales. Su sigla proviene del nombre en inglés *Normalized Difference Vegetation Index* y fue desarrollado por Richardson y Wiegand en 1977. Este índice responde a los cambios en el contenido de clorofila,

en la cantidad de biomasa verde y en el estrés hídrico del follaje (Figura 6.9). Si bien su uso está ampliamente distribuido y validado, el NDVI tiene algunos problemas en la estimación de la cubierta vegetal, es decir, puede dar información errónea en algunas zonas. Es común que comience a saturar cuando la cubierta vegetal es superior al 50% y pierde sensibilidad en la longitud de onda del verde cuando la cubierta vegetal es baja, provocando así sobreestimaciones o subestimaciones de la cubierta, según el caso.

La ecuación utilizada para el cálculo del índice NDVI es:

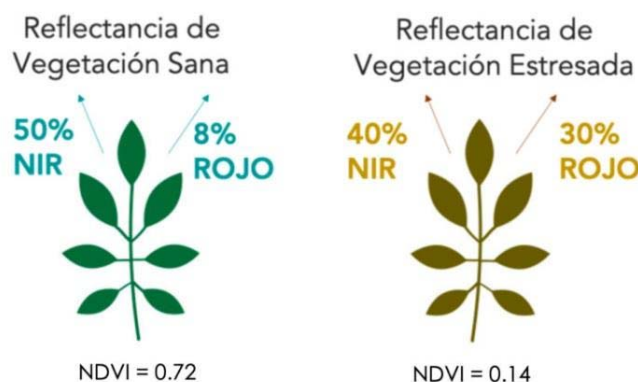
Donde:

$$NDVI = \frac{IRC - R}{IRC + R}$$

(IRC) reflectancia en la banda del infrarrojo cercano

(R) reflectancia en la banda del rojo

Figura 6.9



Nota. Diferencias en las respuestas espectrales en valores de reflectancia entre la vegetación sana y estresada y sus correspondientes valores de NDVI. Modificado y traducido de: http://lapis.icat.ufal.br/SIMACaatinga/documents/Descricao_NDVI_PROBA_SPI.pdf

La interpretación del NDVI se basa en sus valores, que oscilan entre -1 y 1, siendo 1 el valor que indica mayor vigorosidad de la vegetación. Es importante considerar, además, los ciclos fenológicos y de desarrollo anuales de este tipo de cobertura, a fin de distinguir oscilaciones naturales de aquellos cambios en la distribución temporal y espacial causados por otros factores.

Algunos parámetros generales en la respuesta del NDVI son:

- El agua produce valores negativos de NDVI, ya que tiene mayor reflectancia en el Rojo que en el Infrarrojo.
- Las nubes presentan valores de NDVI cercanos a 0, ya que tienen respuestas similares en el Rojo y en el Infrarrojo.
- El suelo descubierto y con vegetación rala presentan valores de NDVI positivos, aunque no muy elevados.
- La vegetación densa, húmeda y bien desarrollada tiene los mayores valores de NDVI.

Índice de Vegetación Mejorado

El EVI, por su nombre en inglés: *Enhanced Vegetation Index*, corrige algunas condiciones atmosféricas y el ruido de fondo del dosel y es más sensible en áreas con vegetación densa. Mientras que el NDVI es sensible a la clorofila, el EVI es más sensible a las variaciones estructurales del dosel, incluyendo el índice de área de la hoja (LAI), el tipo de dosel, la fisionomía vegetal y la arquitectura del dosel. Este índice incorpora coeficientes de corrección atmosférica por aerosoles: el valor "L" para ajustar el fondo del dosel, valores "C" como coeficientes para la resistencia atmosférica y valores de la banda azul (A). Estas mejoras permiten el cálculo del índice como una relación entre los valores R y IRC, al tiempo que reducen el ruido de fondo, el ruido atmosférico y la saturación en la mayoría de los casos.

Los valores del EVI oscilan entre -1 y 1.

La ecuación utilizada para el cálculo del índice EVI es:

$$EVI = G \frac{IRC - R}{IRC + C1 * R - C2 * A + L} (1 + L)$$

Donde:

(G = 2,5) factor de ganancia

(IRC) reflectancia en la banda del infrarrojo cercano

(R) reflectancia en la banda del rojo

(A) reflectancia en la banda del azul

(L = 1) constante para corregir algunos efectos externos al valor del NDVI en lugares donde el aporte de la reflectancia del suelo es elevado. Cuando la cobertura vegetal es 100%, L = 0; cuando la cobertura vegetal es 0%, L = 1. Para densidades intermedias se usa L = 0,5

(C1 = 6) coeficiente de corrección atmosférica para la banda roja

(C2 = 7,5) coeficiente de corrección atmosférica para la banda azul

Índice de vegetación ajustado al suelo

El SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*) (Huete, 1988) trata de corregir el efecto del suelo en el valor del índice de vegetación, ya que en zonas áridas el mismo valor de NDVI puede corresponder a cubiertas vigorosas, pero poco densas, o a cubiertas densas, pero con poca vitalidad.

Sus valores oscilan entre -1 y 1.

La ecuación utilizada para el cálculo del índice SAVI es:

$$SAVI = \frac{IRC - R}{IRC + R + L} (1 + L)$$

Donde:

(IRC) reflectancia en la banda del infrarrojo cercano

(R) reflectancia en la banda del rojo

($L = 0,5$) constante para corregir algunos efectos externos al valor del NDVI en lugares donde el aporte de la reflectancia del suelo es elevado. Cuando la cobertura vegetal es 100%, $L = 0$; cuando la cobertura vegetal es 0%, $L = 1$. Para densidades intermedias se usa $L = 0,5$.

Índice de Agua Normalizado

También conocido como NDWI por sus siglas en inglés, *Normalized Difference Water Index*. Se utiliza como una medida de la cantidad de agua que posee la vegetación o el nivel de saturación de humedad que posee el suelo. El NDWI es una variación del NDVI, ya que, si en la ecuación se invierte el orden del IRC y se cambia la banda roja por la verde, el resultado será contrario al NDVI, la vegetación será suprimida y los cuerpos de agua realzados.

Los valores del NDWI varían entre -1 y 1, asociando valores positivos para las superficies con agua o húmedas y cero o negativo para el suelo y la vegetación terrestre.

El primer índice fue creado por Mc Feeters (1996):

$$NDWI = \frac{V - IRC}{V + IRC}$$

Donde:

(V) reflectancia en la banda del verde

(IRC) reflectancia en la banda del infrarrojo cercano

Índice de Agua Normalizado Modificado

Xu (2006) adaptó el NDWI para su aplicación a aguas abiertas. Se modificó mediante la sustitución de la banda del IRC por la del IRM. El MNDWI (*Modified Normalized Difference Water Index*) puede mejorar las características de aguas abiertas mientras suprime e incluso elimina de manera eficiente el ruido de la tierra, así como el ruido de la vegetación y el suelo.

$$MNDWI = \frac{V - IRM}{V + IRM}$$

Donde:

(V) reflectancia en la banda del verde

(IRC) reflectancia en la banda del infrarrojo medio

Clasificación

El proceso de clasificación consiste en categorizar todos los píxeles de una imagen asignándolos a una o más clases de usos o coberturas terrestres o clases temáticas. Esta clasificación de carácter multiespectral es un proceso de extracción de información que analiza la firma espectral de los píxeles y los asigna a clases basadas en firmas similares.

Los métodos tradicionales de clasificación incluyen dos alternativas: no supervisada y supervisada. En el método no supervisado el usuario primero determina las clases espectralmente separables y luego define las clases temáticas de interés, mientras que en el método supervisado se definen primero las categorías de interés y se trabaja sobre su separabilidad espectral. La preferencia por uno u otro método va a depender de la naturaleza del caso de estudio.

Clasificación no supervisada

Consiste en crear agrupamientos espectrales o *clusters* que el usuario debe intentar asociar a una clase temática (categoría). Se han propuesto numerosos métodos para crear estos *clusters*. Dos de los algoritmos más usados en este tipo de clasificación son, el llamado ISODATA (*Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique*) y el método *K-means*. Como resultado de este proceso pueden surgir un cierto número de agrupamientos o clases que luego el usuario podrá combinar o seguir separando. Por lo que, este tipo de clasificación no se realiza sin intervención del usuario completamente.

Clasificación supervisada

En este método el usuario supervisa el proceso de categorización del píxel especificando los tipos de coberturas terrestres presentes en la escena. Para ello, realiza un muestreo de sitios que sean representativos de coberturas conocidas (áreas o sitios de entrenamiento) y que permitan compilar un código de interpretación numérica que describa los atributos espectrales para cada cobertura de interés. Cada píxel de la escena es entonces comparado con el código de cada categoría, asignándole el nombre de aquella a la que más se asimila. Podemos definir esta clasificación como un proceso en el cual píxeles de identidad conocida, ubicados dentro de las áreas de entrenamiento, se utilizan para clasificar píxeles de identidad desconocida. La clasificación supervisada involucra las siguientes etapas: (i) etapa de entrenamiento, en la cual el usuario selecciona las áreas de identidad conocida de la cubierta de interés (por ejemplo: cultivos, forestaciones, suelos, etc.) digitalizándolas sobre la imagen bajo la forma de polígonos. Para realizar la selección el usuario debe tener un conocimiento previo del área de estudio (por ejemplo: reconocimientos de campo, consulta de mapas, fotografías aéreas, etc.) y una vez que se dispone de un conjunto de datos de entrenamiento debe adjudicarse cada uno de los píxeles de la escena a una de las clases establecidas. (ii) selección del algoritmo de clasificación adecuado. Entre los algoritmos clásicos para esta etapa podemos mencionar los siguientes: Mínima distancia; Paralelepípedos; Máxima verosimilitud (iii) clasificación, que es la etapa de aplicación del proceso propiamente dicho.

Validación de la clasificación

Luego del proceso de clasificación, es útil evaluar la exactitud del resultado obtenido a fin de identificar y medir los errores. Usualmente se realiza una evaluación de exactitud a través del cálculo de una matriz de errores o matriz de confusión, que compara la información del mapa resultante de la clasificación con un conjunto de datos de referencia que pueden ser puntos de control tomados a campo o áreas de testeo obtenidas del mismo modo que las áreas de entrenamiento usadas para clasificar. Los valores de la matriz expresan el número de píxeles asignados a una categoría en particular, en relación con la verdadera categoría verificada con la información auxiliar o de referencia.

La validación de la clasificación nos permite hacer una evaluación realista de los errores siempre que la muestra de píxeles para la estimación del error sea lo suficientemente representativa. Para determinar la cantidad de puntos de control (o áreas de testeo) necesarios, se debe tener en cuenta el tamaño de la superficie a muestrear y la cantidad de categorías. Por ejemplo, algunos autores sugieren como "regla de oro", recoger un mínimo de 50 muestras para cada clase de mapa (que representen el 15% del área de cada clase). Para un mapa con 8 clases debería pensarse en un mínimo de 400 muestras. Para 100.000 píxeles deberían muestrearse 15.000 (esto, para obtener un intervalo de confianza del 99% con un margen de error del 1%), para más información ver Congalton (1991) y Congalton y Green (2009).

Analicemos una matriz de confusión a modo de ejemplo:

Figura 6.10

Clasificación	Datos de referencia en el terreno						Total	P Usuario %	E Comisión %
	Bosque natural	Pasto plantado	Cultivos de ciclo corto	Vegetación riparia	Vegetación arbustiva	Vegetación herbácea			
Bosque natural	109	3	2	1	7	0	122	89,34	10,66
Pasto plantado	5	20	2	0	8	1	36	55,56	44,44
Cultivos de ciclo corto	4	5	13	0	4	1	27	48,15	51,85
Vegetación riparia	0	2	0	23	2	5	32	71,88	28,13
Vegetación arbustiva	2	0	2	0	68	0	72	94,44	5,56
Vegetación herbácea	3	1	0	2	0	20	26	76,92	23,08
Total	123	31	19	26	89	27	315		
P Productor %	88,62	64,52	68,42	88,46	76,40	74,07			
E Omisión %	11,38	35,48	31,58	11,54	23,60	25,93			

Nota. Matriz de confusión con distintas categorías de vegetación. Elaboración propia.

En el ordenamiento de esta matriz las clases reales (datos de referencia en el terreno) aparecen en columnas, mientras que las unidades cartografiadas (clasificación o unidades del mapa) aparecen en las filas. La tabla así formada nos presenta una visión general de las asignaciones, tanto de las correctas (elementos en la diagonal) como de las migraciones o fugas

(elementos fuera de la diagonal). De esta forma se estiman los denominados errores de omisión y comisión:

Los **errores de omisión** están formados por los elementos que, perteneciendo a una clase, no aparecen en ella por estar incorrectamente incluidos en otra.

Los **errores de comisión** lo forman los elementos que no perteneciendo a una clase aparecen en ella.

Estos errores se denominan también como errores del productor y del usuario, respectivamente.

La información resultante de la matriz de confusión se evalúa utilizando diferentes mediciones de la precisión.

Precisión global: cuantifica el número de píxeles clasificados correctamente. Se calcula dividiendo el número total de píxeles correctamente clasificados por el número total de píxeles de referencia y expresándolo como porcentaje.

$$PG = \sum ii / N$$

Precisión del productor: establece la probabilidad de que un píxel de una determinada clase esté correctamente clasificado. Resulta de dividir el número de píxeles correctamente clasificados en cada categoría por el número de píxeles de referencia utilizados para esa categoría.

$$PP = \frac{X_{ii}}{\sum_{ir} X_{ir}}$$

Este estadístico es una medida del error de omisión que se produce cuando un píxel posee en el terreno una cobertura determinada y no es asignado en el mapa a esa clase.

Precisión del usuario: calcula la probabilidad de que un píxel clasificado como una clase determinada corresponda realmente a dicha clase. Se calcula dividiendo el número de píxeles correctamente clasificados en cada categoría por el número total de píxeles que fueron clasificados en esa categoría.

$$PP = \frac{X_{ii}}{\sum_{ic} X_{ic}}$$

Esta medida muestra la probabilidad de que un píxel clasificado en el mapa verdaderamente represente esa categoría en el terreno. La desviación producida se denomina error de comisión.

Coefficiente Kappa: calcula la correspondencia entre la imagen clasificada y la realidad de acuerdo con la exactitud de la clasificación y eliminando la componente del azar.

Es una medida de la diferencia entre la exactitud lograda en la clasificación con un clasificador automático y la aleatoriedad de lograr una clasificación correcta con un clasificador cualquiera que pueda conducir a resultados aparentemente correctos en la matriz de confusión. El valor de K varía entre -1 y 1, y se calcula como:

$$k = \frac{[(\sum \text{concordancias observadas}) - (\sum \text{concordancias atribuibles al azar})]}{[(\text{Total de observaciones}) - (\sum \text{concordancias atribuibles al azar})]}$$

$k = \text{concordancias observadas} - \text{concordancias atribuibles al azar} / \text{total de observaciones} - \text{concordancias atribuibles al azar}$

La concordancia atribuible al azar por clase se calcula como el total de la clase en el mapa x total de la clase en el control / total de píxeles. La suma de estas concordancias corresponde a la sumatoria de las concordancias atribuibles al azar.

$$\text{Concordancia atribuible al azar por clase} = \frac{(X_{\Sigma \text{ ic}} * X_{\Sigma \text{ ir}})}{N}$$

Concordancia atribuible al azar por clase = $X_{ic} * X_{ir} / N$

Existen rangos propuestos para valorar el grado de acuerdo en función del índice Kappa:

Figura 6.11

Coeficiente kappa	Fuerza de la concordancia
0,00	Pobre (<i>Poor</i>)
0,01 - 0,20	Leve (<i>Slight</i>)
0,21 - 0,40	Aceptable (<i>Fair</i>)
0,41 - 0,60	Moderada (<i>Moderate</i>)
0,61 - 0,80	Considerable (<i>Substantial</i>)
0,81 - 1,00	Casi perfecta (<i>Almost perfect</i>)

Nota. Rangos del coeficiente Kappa. Tomado de Cerda y Villarroel, 2008.

Si analizamos nuevamente la matriz del ejemplo (Figura 6.10), conociendo ahora las medidas de precisión, podemos interpretar que la precisión de la clasificación para la cobertura de bosque natural muestra valores elevados tanto en la precisión del productor como del usuario. Esto podría indicar que esta clase logra clasificarse sin grave riesgo de confusión con otro tipo de cobertura vegetal. Las bajas precisiones para las clases de ocupación del suelo de cultivos de ciclo corto y su asociación con pastos plantados indican confusiones mutuas.

Filtros

Luego del proceso de clasificación puede ser necesario aplicar procesamientos que simplifiquen o mejoren las posibilidades de interpretación de nuestros resultados. Un procesamiento muy utilizado con este objetivo suele ser el filtrado. En los *software* de SIG, es habitual la disponibilidad de diversos algoritmos de filtrado. Uno de los más utilizados es el denominado *Majority filter* o filtro de mayoría, que estima la moda de los valores resultantes de las categorías clasificadas en una ventana 3x3 o mayor y arroja como resultado un nuevo ráster.

Análisis de cambio

La premisa fundamental en el uso de datos satelitales para el análisis o la detección del cambio está dada en que las variaciones en la cobertura terrestre resulten en cambios en los valores de reflectancia y viceversa. Sin embargo, muchas diferencias en las respuestas

espectrales pueden deberse a diferencias en las condiciones atmosféricas, climáticas, en la humedad a nivel del suelo, en el estado fenológico de la vegetación y en el ángulo de incidencia solar.

En la bibliografía específica para análisis de cambio, se describen cuatro aspectos importantes en la detección del cambio para el monitoreo de los recursos naturales:

- detectar si se ha producido un cambio
- identificar la naturaleza del cambio
- medir el alcance del cambio
- evaluar el patrón espacial del cambio

También se identifican cinco categorías de causas que pueden influir en el cambio en la cubierta terrestre:

- cambios naturales a largo plazo en las condiciones climáticas
- procesos geomorfológicos y ecológicos tales como la erosión del suelo y la sucesión de la vegetación
- alteraciones inducidas por el hombre de la cubierta vegetal y paisajes como la deforestación y la degradación de la tierra
- variabilidad climática interanual
- el efecto invernadero causado por las actividades humanas

Por otra parte, antes de implementar el análisis de detección de cambios, deben cumplirse las siguientes condiciones: (1) registro preciso de imágenes multitemporales; (2) calibración o normalización radiométrica y atmosférica precisa entre imágenes multitemporales; (3) estados fenológicos similares entre imágenes multitemporales; y (4) selección de imágenes con la misma resolución espacial y espectral si es posible.

Algunos métodos para realizar este tipo de análisis son:

- Métodos por umbrales: emplea un umbral predefinido para identificar tipo de cobertura/uso del suelo (en su mayoría bosque) en la serie de tiempo, donde los cambios se detectan cuando hay desviaciones significativas del umbral. Por lo general, las imágenes de Landsat se transforman en la dimensión que es sensible a un tipo de cobertura particular, como el NDVI, "*Tasseled Cap Transformation*", el Índice de perturbación (DI) entre otros.
- Métodos por diferenciación: detectan el cambio comparando imágenes adquiridas en diferentes momentos, y los cambios se definen por lugares que muestran grandes diferencias. Sobre la base de las imágenes utilizadas para la diferenciación, podemos dividir aún más esta categoría en tres subcategorías: clasificación, análisis de mezcla espectral (SMA) y diferencias de índices espectrales.
- Clasificación de trayectoria: este método primero extrae información de la serie de tiempo Landsat para lugares que han sufrido ciertos tipos de cambios (para fines de

entrenamiento), y más tarde usa esta información para clasificar aún más cada serie temporal de Landsat en la imagen.

- Por límites estadísticos: se basa en el supuesto de que la serie de tiempo siga un límite estadístico y cualquier desviación significativa del límite se detecta como un cambio.
- Métodos de regresión: suponen que existe una relación lineal entre las variables del predictor y respuesta y usan la regresión para obtener la respuesta. Las variables predictoras suelen ser el tiempo de las observaciones, y las variables de respuesta suelen ser los valores observados (bandas o índices espectrales). El objetivo principal de este método es estimar los movimientos o tendencias a largo plazo en series temporales, que se presentan en su mayoría como cambios graduales.

Procesamiento de imágenes de radar

Con base en los fundamentos básicos de radar presentados en el Capítulo 1, iremos recorriendo algunos procesos elementales que permitan extraer información a partir de este tipo de dato que se diferencia en muchos aspectos de aquellos aplicados a los datos ópticos.

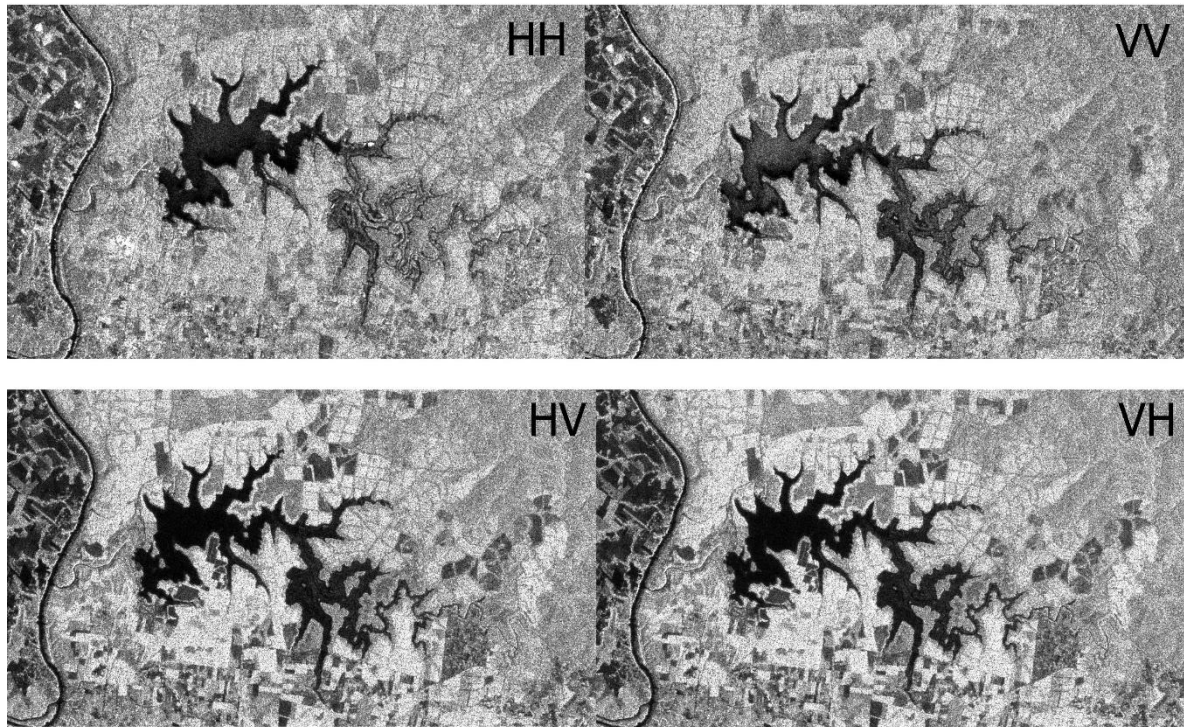
Comenzaremos analizando el tono y la textura en una imagen radar. El **tono** es proporcional a la energía retrodispersada por la superficie iluminada por el radar, recordemos que la geometría de esa superficie, la ubicación con respecto a la pasada del satélite y el contenido de humedad condicionan en gran medida la respuesta, teniendo en cuenta, además, la longitud de onda empleada y la polarización elegida (VV, HH, VH, HV), por lo que cualquier cambio en estos factores resultarán en tonos diferentes.

De modo orientativo podemos considerar que aquellas coberturas de superficie relativamente suaves, lisas como el caso de cuerpos de agua tranquilos (sin viento), se muestran en la imagen en tonos oscuros (se produce una respuesta especular y la energía no vuelve casi al sensor).

Los objetos de reflexión difusa, como es el caso de la vegetación, aparecen en tonos grises intermedios, mientras que aquellos de origen antrópico (zonas urbanas, obras de infraestructura, barcos, plataformas) pueden producir tonos brillantes, dependiendo de su forma, orientación y/o materiales utilizados.

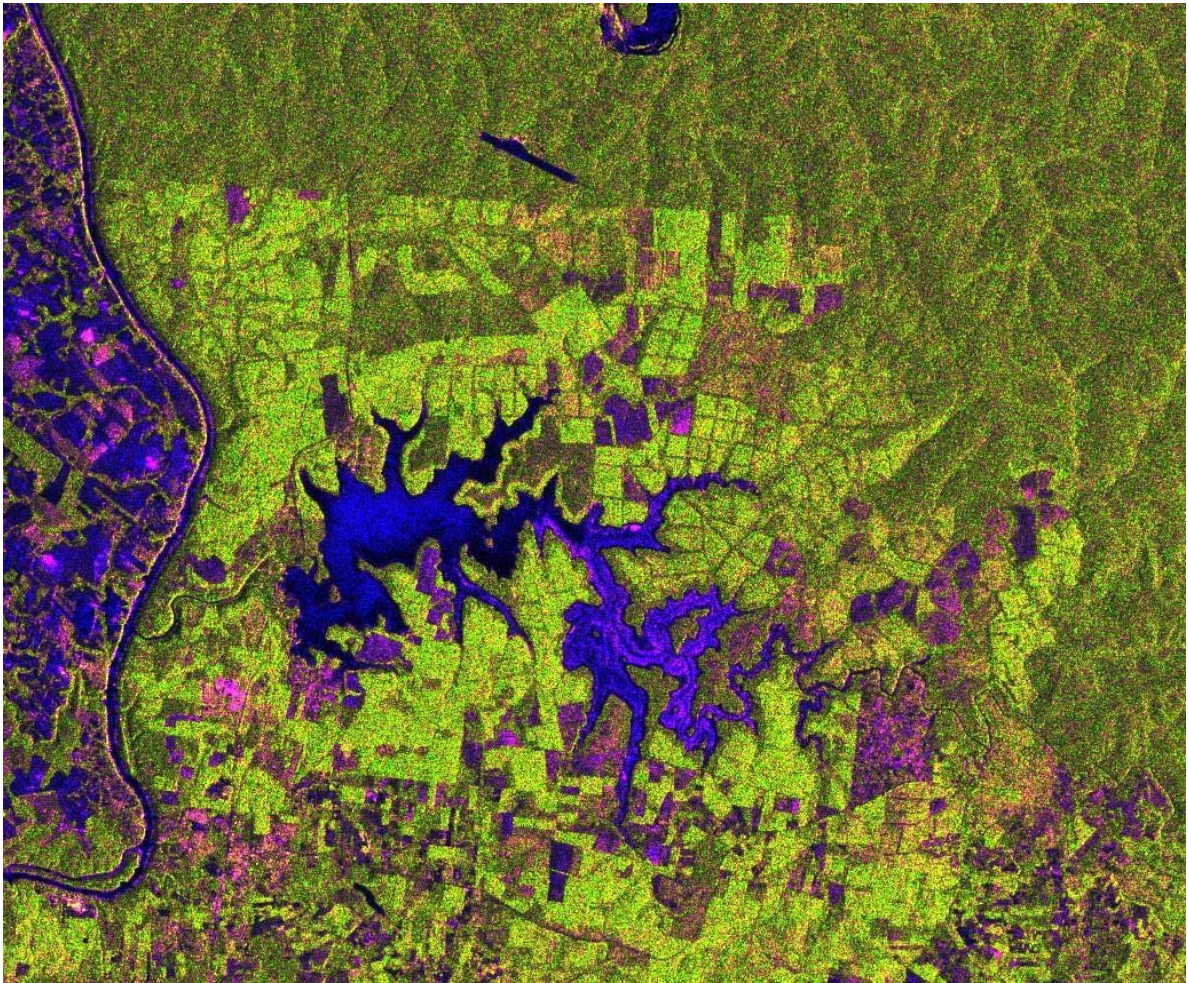
Debemos considerar que el instrumento SAR (radar de apertura sintética) trabaja en una sola banda (monobanda), pero los sensores actuales como la misión SAOCOM y Sentinel 1 son polarimétricos (poseen varias polarizaciones) y aquí se pueden homologar las diferentes polarizaciones a las distintas bandas de los sensores ópticos, que al combinarse siguiendo la teoría del color vista previamente, enriquecen el análisis e interpretación. Se recomienda visitar la página de SAOCOM para mayores detalles de la misión, sus productos y sus aplicaciones (Ver Anexo 7). En la Figura 6.12 se ve el aporte de las diferentes polarizaciones y en la Figura 6.13 se observa la combinación color de tres de ellas a partir de una imagen SAOCOM (*Modo Stripmap Quadpol*).

Figura 6.12



Nota. Imagen SAOCOM 1A (Fuente: CONAE) con las cuatro polarizaciones (HH horizontal-horizontal, VV vertical-vertical, VH y HV). Zona Represa Uruguái, Misiones, fecha de adquisición: 25 de abril de 2021. En negro cuerpos de agua (Embalse Uruguái y Río Paraná), los tonos claros corresponden a suelos desnudos y bosque implantado mientras que los grises medios corresponden a bosque nativo. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.13



Nota. Imagen SAOCOM 1A (Fuente: CONAE) combinación color (RGB-VV/HV/HH). Zona Represa Uruguai, Misiones, fecha de adquisición: 25 de abril de 2021. En negro/azul se observa el agua, en verde brillante el bosque implantado en verde medio el bosque nativo y en rosa/magenta las zonas agrícolas. Fuente: Elaboración propia.

La **textura** en imágenes de radar se refiere a las variaciones espaciales en la intensidad del retorno de señal, vinculadas a la distribución y uniformidad de los objetivos en la escena. Además, el efecto del moteado o *speckle*, producto de interferencias coherentes, contribuye a estas variaciones, afectando la percepción de la textura. Finalmente, la textura puede clasificarse en fina, media o gruesa y también se ve afectada por la longitud de onda (por ejemplo, lo que para la banda X (3cm promedio) es una textura gruesa, resulta media o fina para un sensor en banda L (20 cm promedio).

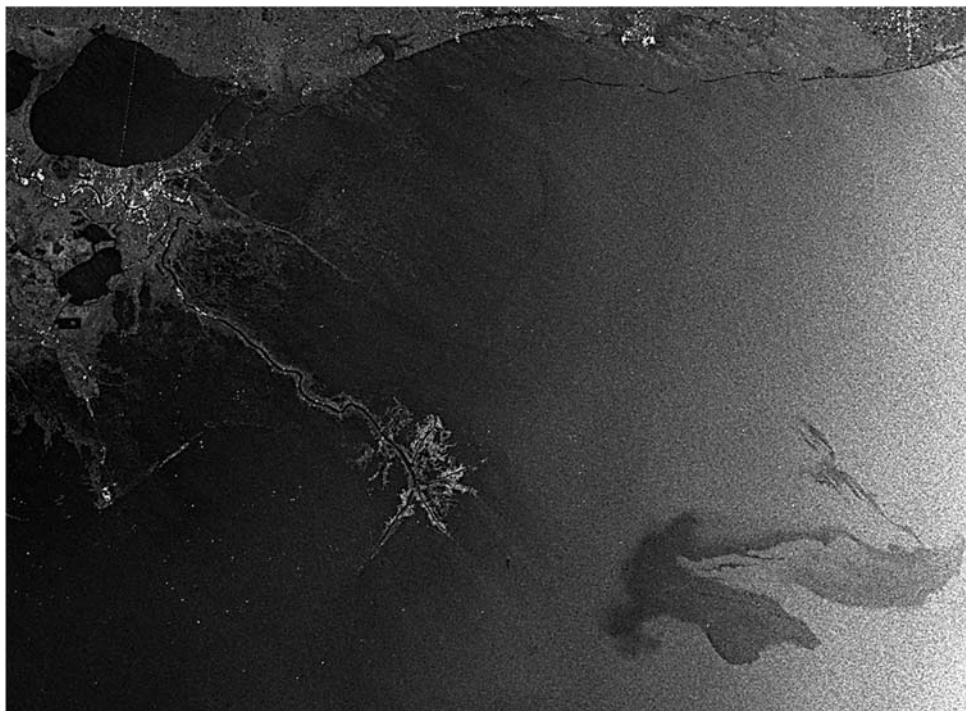
Un proceso muy frecuentemente aplicado a este tipo de datos es el **filtrado del moteado** a fin de mejorar la discriminación de los objetos de la escena, facilitar la segmentación automática de la imagen y permitir la implementación de procesos similares a los aplicados a los datos ópticos. Los filtros deben minimizar la pérdida de información. Hay dos familias de filtros que se pueden emplear:

Filtros no adaptables o no adaptativos: no toman en consideración las propiedades locales de retrodispersión del terreno o la naturaleza del sensor. Tienen mayor pérdida de información, son ejemplos de estos filtros el de mediana, media, entre otros.

Filtros adaptables o adaptativos: acomoda los cambios en las propiedades locales de la retrodispersión del terreno. Este tipo de filtros reducirán el moteado mientras preservan los bordes (variación de contraste precisa), modificarán la imagen basados en estadísticas sacadas del ambiente local de cada píxel, y un tamaño grande de núcleo dará un importante efecto suavizante en la imagen resultante. El filtro de Lee, el de Gamma y el de Frost son los filtros adaptativos de uso más frecuentes.

Las imágenes SAR, son las que presentan mejor eficiencia para la detección de derrames de petróleo. En éstas, una mancha de petróleo puede ser detectada como un área oscura y de bordes definidos en comparación con su área circundante, que suele verse afectada por la rugosidad que sobre el agua puede producir el oleaje a causa del viento. La textura lisa de una capa de aceite o hidrocarburos en la superficie del mar reduce la intensidad de la señal que retorna al satélite (retrodispersión), por lo que el derrame aparecerá como una superficie oscura en las imágenes SAR. Este es el mecanismo básico por el que es posible detectar derrames de hidrocarburos en el mar utilizando imágenes de radar. Como ejemplo, se presenta la Figura 6.14, una imagen ENVISAT (satélite de la agencia Espacial Europea [ESA]) en banda C, donde se observan en el sector inferior derecho de los restos del derrame acontecido en el Golfo de México en abril de 2010.

Figura 6.14



Nota. Imagen ENVISAT (Golfo de México, abril 2010). Abajo a la derecha se identifica el derrame de petróleo. Fuente: ESA.

Otras fuentes de datos ráster

Si bien las imágenes satelitales y sus productos derivados representan el ejemplo más destacado del modelo de datos ráster, no son los únicos casos. Existen otras coberturas matriciales ampliamente utilizadas, como los mapas generados a partir de la interpolación de variables puntuales, los modelos digitales de elevación del terreno (ya sean obtenidos a partir de datos radar o por otros métodos), y los mapas de gradientes, entre muchos otros.

Modelo digital de elevación

Vamos a detenernos en las generalidades del MDE (Modelo Digital de Elevación) o DEM (por su sigla en inglés). Un MDE permite describir las alturas o elevaciones del terreno respecto del nivel medio del mar.

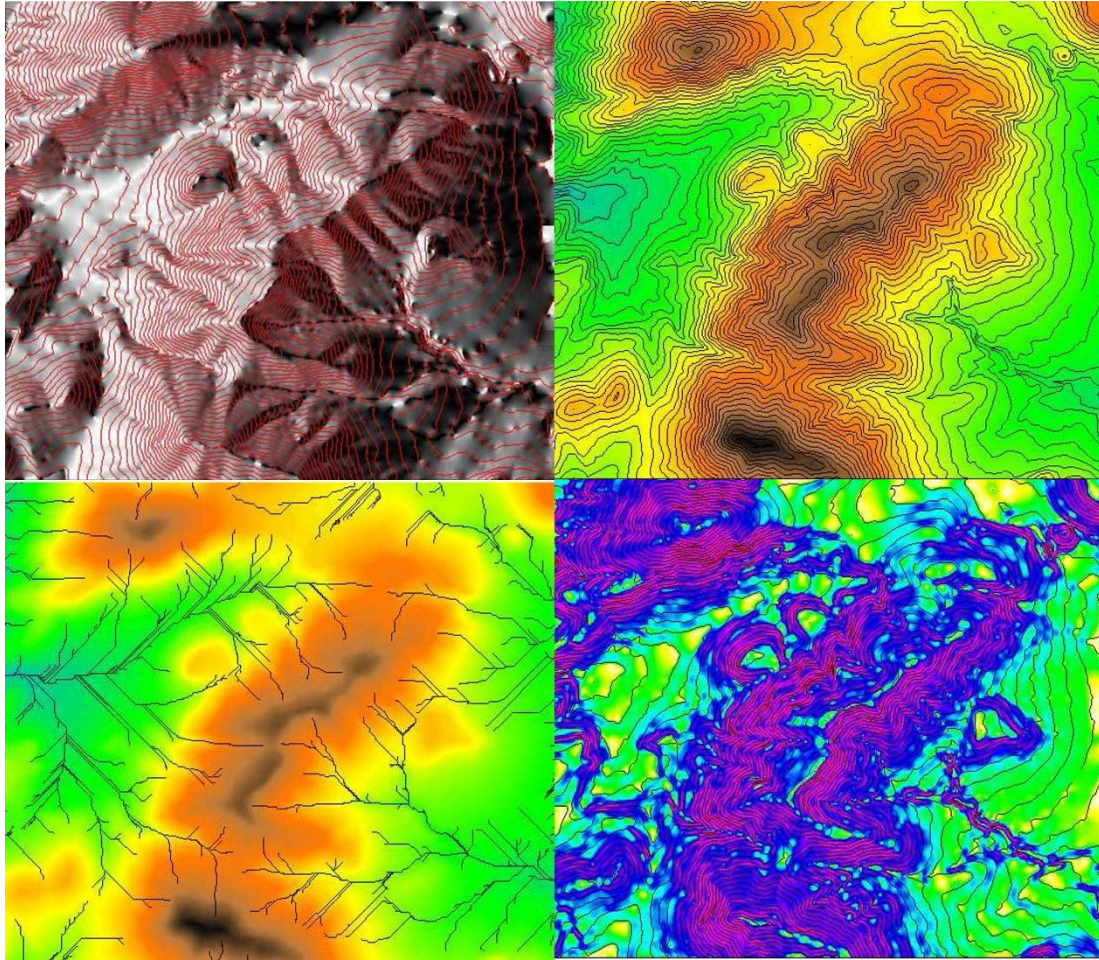
La representación (ráster) reflejará el relieve mediante valores numéricos, que simbolizan la cota o altura de cada celda (píxel).

Las principales aplicaciones de los MDE son:

- Generación de curvas de nivel.
- Generación de mapas de pendiente.
- Creación de mapas en relieve.
- Planificación de vuelos en tres dimensiones.
- Rectificación geométrica de fotografías aéreas o de imágenes satelitales.
- Reducción de las medidas de gravedad, también denominada corrección de terreno o topográfica.
- Proyectos de grandes obras de ingeniería.
- Trazados de perfiles topográficos.
- Cálculos de volúmenes.
- Análisis de riesgos ambientales.

En la Figura 6.15 se presentan algunos productos derivados de los MDE mencionados arriba.

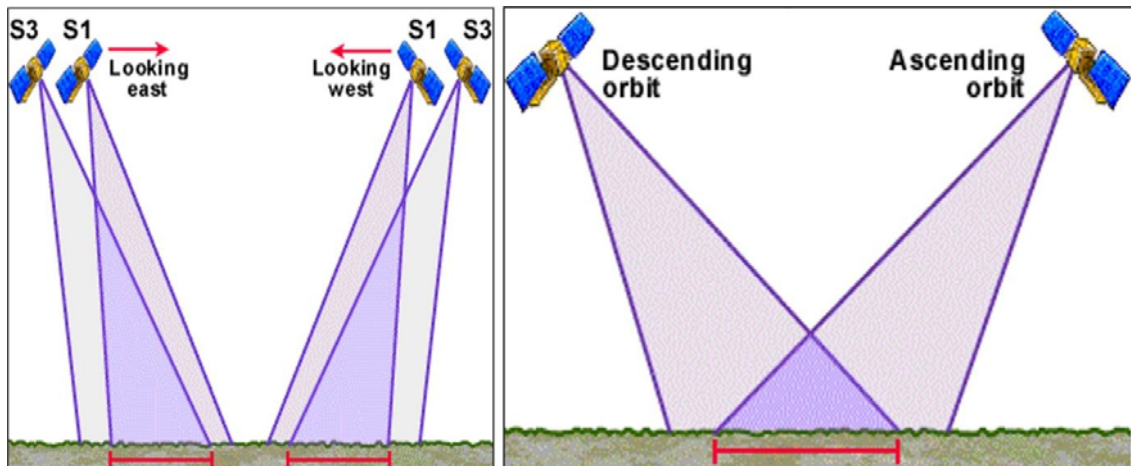
Figura 6.15



Nota. Productos derivados de un MDE. Arriba: Curvas de nivel (der.), Mapa de orientaciones (izq.), Abajo: Mapa de pendientes (der.), Red de drenaje (izq.). Fuente: <https://www.um.es/geograf/sigmur/temariohtml/node48.html>

No existe un solo método para obtener este tipo de cobertura. De hecho, se puede generar mediante diferentes métodos de interpolación (a partir por ejemplo de curvas de nivel), o por fotogrametría considerando la estimación de alturas a partir de pares estéreo de imágenes ópticas que miran una misma zona, pero desde diferentes ángulos. De manera análoga a este último método, está la radargrametría a partir de pares estéreo de datos radar; donde las imágenes a utilizar pueden provenir de distinto ángulo de igual dirección de mirada o de distinta dirección de mirada (ascendente-descendente) (Figura 6.16).

Figura 6.16

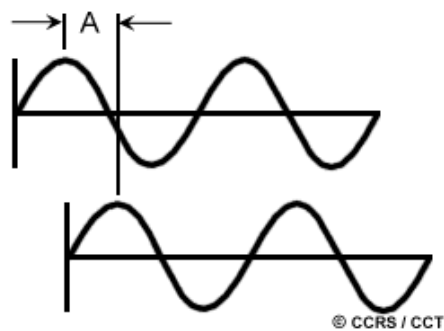


Nota. Modos de adquisición de los pares estéreos de imágenes radar. Izq.: Desde un mismo lado (descendente a la derecha y ascendente de la izquierda). Der.: Desde lados opuestos. Fuente: CCRS.

Otro método es la interferometría, que es más avanzado para medir alturas en el terreno midiendo una propiedad de la onda electromagnética: la *Fase*, mientras que la amplitud es lo empleado para la generación de la imagen como tal.

Se tienen dos ondas con igual longitud y frecuencia viajando en el espacio, pero levemente desfasadas. Dicho desbalance se conoce como diferencia de fase (Figura 6.17).

Figura 6.17



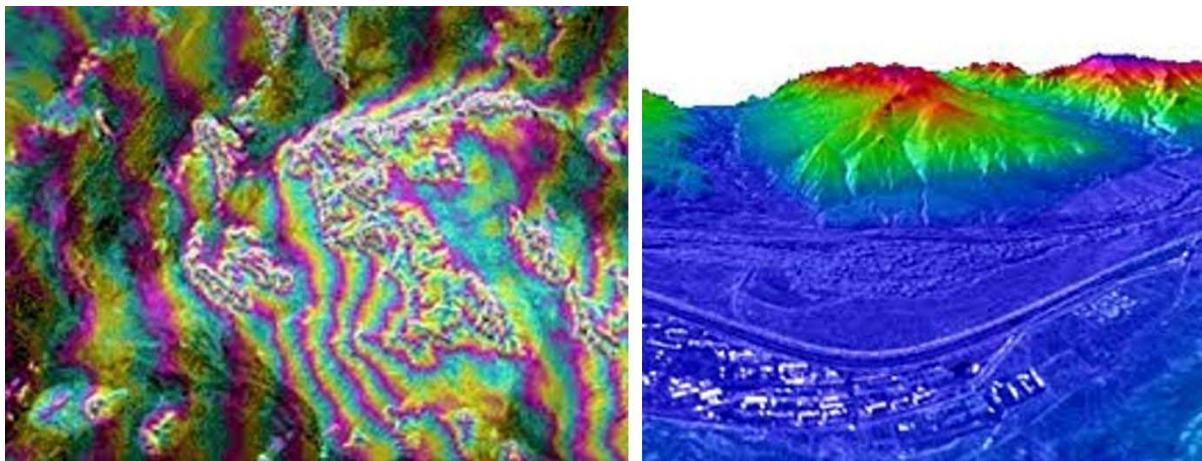
Nota. Desfasaje de dos ondas. Fuente: CCRS

Los sistemas interferométricos usan dos antenas separadas en la dimensión de rango por una pequeña distancia, ambas registran el retorno de cada celda de resolución. Las dos antenas pueden estar sobre la misma plataforma o el dato puede ser adquirido en dos pasadas diferentes con el mismo sensor. Para calcular la diferencia de fase exacta entre los dos retornos, la diferencia en distancia entre los *path* debe tener una precisión del orden de la longitud de onda (por ejemplo, cm).

Conociendo la posición de las antenas con respecto a la superficie terrestre se puede determinar la posición de la celda de resolución y su elevación.

La diferencia de fase entre celdas adyacentes se ilustra en un interferograma donde los colores representan las variaciones de altura y la información puede ser empleada para producir imágenes en 3D de la altura del terreno (Figura 6.18).

Figura 6.18

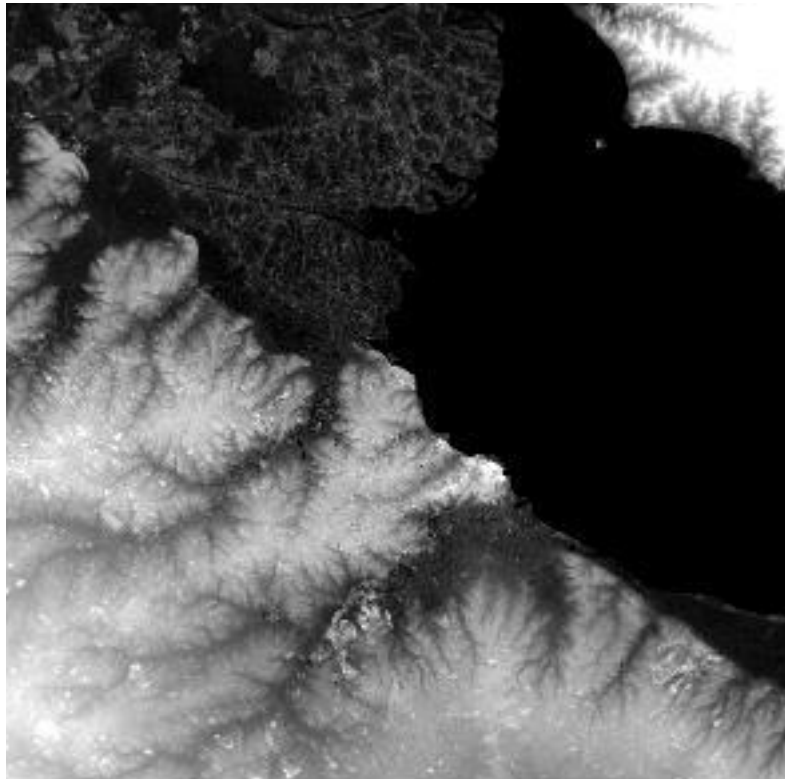


Nota. Interferograma (izq.) y 3D de la altura del terreno (der.). Más detalles en el texto. Fuente: ESA.

Actualmente hay varias fuentes para acceder libremente a distintos tipos de MDE. Uno de los más destacados es el SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission* de la NASA) de 90 m y 30 m de píxel. Fue una misión global a inicios de los años 2000 que permitió contar por primera vez con datos de este tipo de forma abierta y cobertura de gran parte del planeta. En nuestro país, el IGN ha trabajado y mejorado esos datos a través del proyecto MDE-AR, los cuales están disponibles para su descarga. Los accesos a ambos tipos de productos se detallan en el Anexo 7.

Un ejemplo de SRTM se muestra en la Figura 6.19, en la cual se observa parte Delta, el Río de La Plata, la zona del AMBA y norte de la ciudad de Buenos Aires. En la imagen es posible observar que las áreas negras corresponden a agua, los tonos oscuros corresponden a zonas de menor altura y los tonos claros o blancos a las zonas de mayor altitud. Otras fuentes de MDE son de ASTER y ALOS. Los datos provistos por la Misión argentina SAOCOM provee datos interferométricos de alta calidad para la elaboración de MDE.

Figura 6.19



Nota. SRTM de 45m mejorado por el IGN de la zona costera del Río de La Plata. Más detalles en el texto.

Referencias

- Cerda, J., y Villarroel Del P. L. (2008). Evaluación de la concordancia inter-observador en investigación pediátrica: Coeficiente de Kappa. *Revista chilena de pediatría*, 79(1), 54-58.
<http://dx.doi.org/10.4067/S0370-41062008000100008>
- Chuvieco, E. (1995). *Fundamentos de Teledetección espacial*. Segunda Edición. Rialp. ISBN: 843213127X, 9788432131271.
- Congalton, R.G y Green, K. (2009). Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices. 2nd Edition. CRC Press Taylor and Francis Group. Disponible en línea:
<https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-assessingtheaccuracyofremotelysenseddata.pdf>. Acceso: abril 2025.
- Congalton, R. G. (1991). A review assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 37(1), 35–46.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/003442579190048B>
- Huete, A.R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25 (3): 295-309.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/003442578890106X?via%3Dihub>

- Mc Feeters, S.K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features, *International Journal of Remote Sensing*, 17:7, 1425-1432, <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>
- Murillo Sandoval, P.J. y Carbonell González, J.A. (2012). Principios y aplicaciones de la percepción remota en el cultivo de la caña de azúcar en Colombia. Cali: Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia. ISBN 978-958-8449-03-6. Disponible en línea: <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/34346> . Acceso: abril 2025
- Richardson, A.J. y C.L. Wiegand (1977). Distinguishing vegetation from soil background information. *Photogrammetric Eng. Remote Sensing*. 43: 1541-1552. Disponible en línea: https://www.asprs.org/wp-content/uploads/pers/1977journal/dec/1977_dec_1541-1552.pdf Acceso: abril 2025.
- Rabolli M., Tauro C. y Compagnucci M. (2021). Teórico 3. Procesamiento de la información satelital. Módulo 1 Herramientas de teledetección óptica y SAR. Material didáctico de la Diplomatura en Geomática Aplicada. Instituto Gulich, UNC-CONAE.
- Xu, H. (2006). Modification of Normalized Difference Water Index (NDWI) to Enhance Open Water Features in Remotely Sensed Imagery. *International Journal of Remote Sensing*. 27. 3025–3033. <https://doi.org/10.1080/01431160600589179> .

ANEXO 6

Estimación de temperatura superficial del suelo

Ana A. S. Seguel

Introducción

La temperatura de la superficie terrestre (conocida como LST por las siglas en inglés de *Land Surface Temperature*) es una variable de gran interés en el estudio y análisis de diversas áreas de las Ciencias de la Tierra. Esta variable es de utilidad en el control de cultivos, la planificación del uso del suelo, la evaluación del cambio climático y del calentamiento global, el seguimiento de sistemas volcánicos y el desarrollo de la geotermia, entre otros.

La estimación de la LST a partir de imágenes satelitales es posible gracias al desarrollo de sensores que pueden captar radiación infrarroja térmica que permiten obtener valores de temperatura de manera continua y en zonas de difícil acceso y/o de gran extensión areal.

Para estimar la LST a partir de imágenes satelitales, se requiere llevar a cabo una serie de correcciones tanto en el espectro óptico como en el térmico (Figura 1), que son necesarias para reducir la atenuación de la señal recibida por los sensores del satélite y pueden incluir correcciones de tipo geométrico y radiométrico.

Existe una gran variedad de metodologías para estimar la variable temperatura, entre ellas, los métodos monocanal y los *split window*. Los métodos monocanal utilizan una sola banda térmica, mientras que los métodos *split window* (ventana dividida) utilizan dos bandas del espectro térmico, y se basan en analizar las diferencias de radiancia o temperatura entre dos bandas (Jiménez Muñoz y Sobrino, 2003; Tang & Li, 2013).

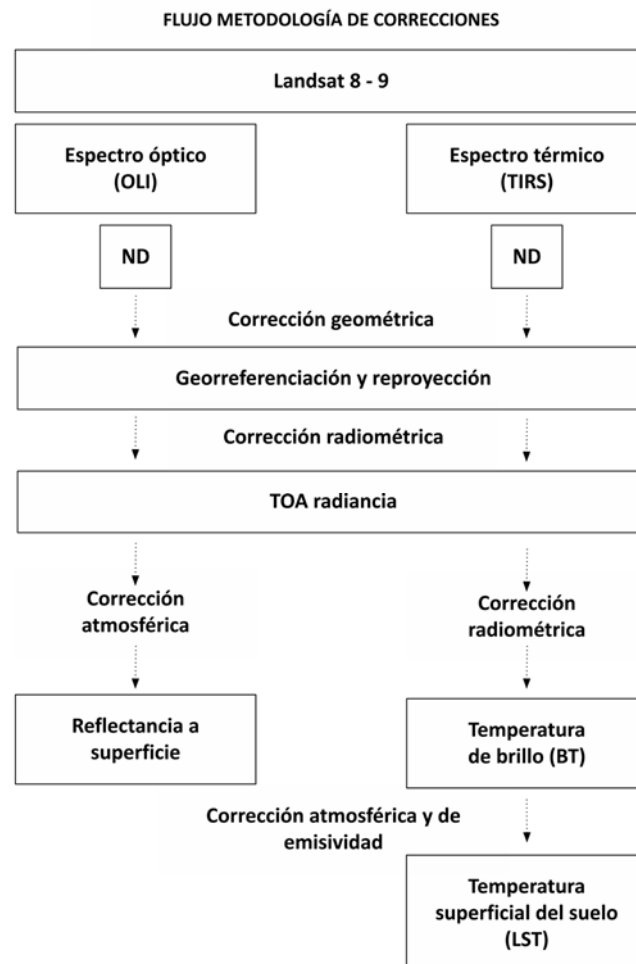
Además de las correcciones mencionadas previamente, se debe tomar en cuenta la **corrección de emisividad**, que es una característica propia de los materiales y que indica la relación entre la emitancia de una superficie y la que ofrecería un emisor perfecto (cuerpo negro) a la misma temperatura. Según Andrés Anaya (2019), la emisividad varía en función de la composición, rugosidad y contenido de humedad de la cobertura, así como también de las condiciones de observación tales como la longitud de onda, la resolución del píxel y el ángulo de observación.

Dado que la emisividad es una magnitud influenciada por múltiples factores, existen diversos métodos para calcularla desde el espacio. Algunos ejemplos son el *Multi-Channel TES* para ASTER, métodos semi-empíricos basados en umbrales de NDVI, así como también aquellos basados en ecuaciones físicas como el TISI y el TSRM (*Two step physical retrieval method*) (Pasaperas Gonzales, 2016; Tang & Li, 2013). En la bibliografía especializada (Harris, 2013;

Pasaperas Gonzales, 2016), se pueden encontrar valores estandarizados para diferentes tipos de coberturas.

Figura 1

Procedimientos de correcciones aplicadas en la metodología



Un estudio de caso: estimación de la LST de los suelos del volcán activo Isla Decepción, Antártida, mediante imágenes satelitales

Una valiosa aplicación de la estimación de LST con teleobservación es la detección de anomalías térmicas asociadas a sistemas volcánicos y volcánicos-hidrotermales. Dichas anomalías se pueden dividir en dos grupos: anomalías térmicas de alta temperatura y anomalías térmicas de baja temperatura (Blackett, 2017). El primer grupo se relaciona con la emisión de lava o con las zonas cratéricas con lagunas de lava, cuyas temperaturas oscilan entre los 600°C y los 1200°C. El segundo grupo se asocia con las zonas cratéricas y las regiones de suelo caliente, cuyas temperaturas varían entre decenas y centenas de grados centígrados. En este contexto, el cálculo de la temperatura superficial (LST) es un parámetro útil para estimar la presencia de anomalías térmicas de baja temperatura a partir del infrarrojo térmico.

En este apartado se describe un método monocanal denominado informalmente “método simplificado” (Andrés Anaya, 2019), desarrollado en 2016 por Avdan y Jovanovska, el cual utiliza las bandas 4, 5 y 10 de Landsat 8 y 9 para la estimación de la LST. A modo de ejemplo, se muestra su aplicación a un sistema hidrotermal-volcánico activo en Isla Decepción ubicada dentro del sector Antártico Argentino, en el Estrecho de Bransfield, dentro del archipiélago de las Shetland del Sur.

El flujo metodológico desarrollado para procesar imágenes Landsat 8 y 9 mediante el *software* QGIS (QGIS Development Team, 2009) se representa en la Figura 2. Este método utiliza el índice de vegetación normalizado (NDVI, por las siglas en inglés de *Normalized Difference Vegetation Index*) para diferenciar las coberturas presentes en la imagen, y asigna una emisividad estándar a cada superficie. Por lo general, se utiliza con una emisividad de 0.966 para el suelo y de 0.973 para la vegetación. Sin embargo, para los casos de áreas de estudio con conocimiento detallado de las coberturas presentes, se utiliza el valor de emisividad correspondiente al tipo de superficie. Por lo que, en isla Decepción, una zona que presenta basaltos con palagonita, un mineral asociado a la actividad de erupciones freatomagmáticas (Smellie, 2002) se utiliza una emisividad de 0.909 (Harris, 2013).

Para llevar a cabo el cálculo de LST se descargaron las imágenes de los sensores OLI y TIRS de Landsat 8 y 9 (Fechas: 09 de febrero de 2020 y 29 de diciembre de 2021, respectivamente) (*Collection 2 - Level 1*) desde el portal *Earth Explorer* (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Se seleccionaron las imágenes en función de la cobertura de nieve, la nubosidad y la disponibilidad de datos de campo para las fechas seleccionadas. Las imágenes fueron reproyectadas al sistema cartográfico de referencia (SRC) EPSG: 32720 - WGS84 / UTM zona 20 S.

Para la estimación de la LST se realizaron modificaciones leves al flujo metodológico propuesto por Avdan y Jovanovska (2016) (Figura 2), principalmente en la determinación de la emisividad y las conversiones de unidades (por ejemplo, de K a °C). Primero se calibraron las imágenes del sensor OLI por el método DOS1, utilizando el complemento *Semi Automatic Classification* de QGIS (Congedo, 2016) y luego se recortaron al área de estudio (AE). Posteriormente se calculó el NDVI a partir de las bandas 4 (rojo) y 5 (infrarrojo cercano, NIR por las siglas en inglés de *Near Infrared*) para diferenciar coberturas. Las imágenes del sensor TIRS se recortaron al área de estudio y se corrigieron a los valores de radiancia en el techo de la atmósfera (TOA, por las siglas en inglés de *Top of Atmosphere*). Finalmente, se calculó la temperatura de brillo (BT, por las siglas en inglés de *Brighness Temperature*) según las fórmulas clásicas (Avdan y Jovanovska, 2016). A partir de un análisis estadístico obtenido del NDVI, en donde se calculó la cantidad de píxeles correspondientes a cada cobertura, se optó por el valor de emisividad de basaltos con palagonita (0.909) para el cálculo de LST en ambas imágenes satelitales.

El procesamiento de las imágenes y los cálculos de radiancia TOA, BT, NDVI y LST se realizaron con la calculadora ráster de QGIS. En la tabla 1 se muestran las fórmulas utilizadas para el cálculo de LST.

Figura 2

Flujo metodológico empleado en este apartado para obtener la LST

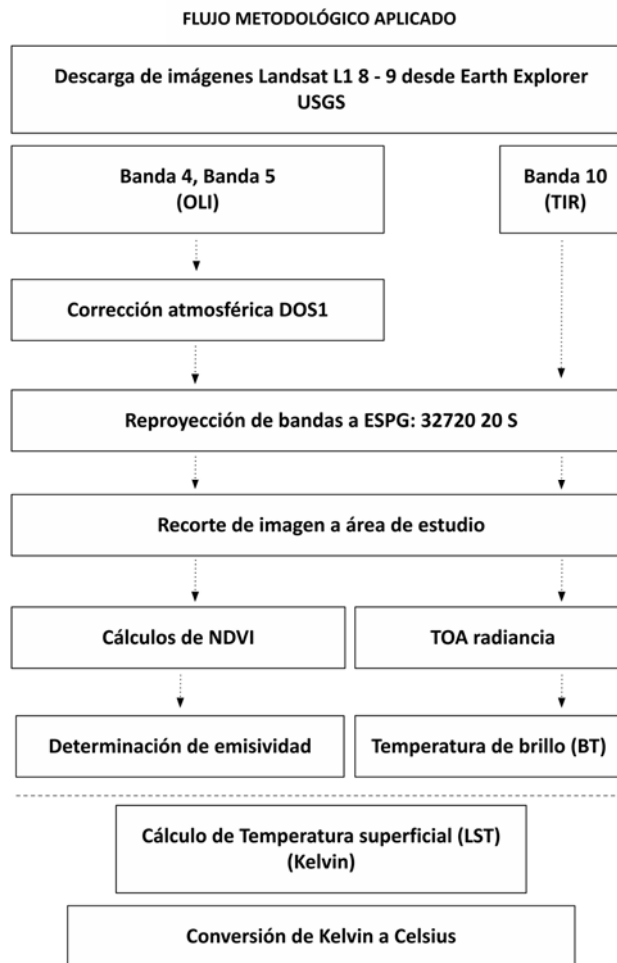


Tabla 1 Esquema de etapas y fórmulas empleadas en comparación a las fórmulas y etapas descritas en Avdan y Jovanovska, 2016.

Fórmulas y datos utilizados para aplicar el método simplificado			Avdan y Jovanovska (2016)
Sensor	Landsat 8/9 - OLI	Landsat 8/9 Level 1 - TIRS	Landsat 8 - TIRS
Banda	Banda 4 (0.654 μm - RED) Banda 5 (0.865 μm - NIR)	Banda 10 (10.895 μm)	Banda 10 (10.895 μm)
Corrección / Reescalado	<i>Plugin Semi-Automatic Classification</i> (radiancia y reflectancia)	$TOA = (3.3420e^{-4} * \text{Banda 10}) + (0.10000)$	$TOA = L\lambda = ML * Qcal + AL - Oi$
Cálculo	Clasificación Supervisada / Análisis de confusión	$BT = (1321.0789 / \ln (774.8853 / TOA) + 1)$	$BT = K_2 \ln [(K_1/L\lambda) + 1] - 273.15$
Emisividad	Basaltos con palagonita 0.909		$\varepsilon_{\lambda} = \begin{cases} \varepsilon_{\lambda\lambda}, & NDVI < NDVI_{\lambda}, \\ \varepsilon_{\lambda\lambda}P_v + \varepsilon_{\lambda\lambda}(1 - P_v) + C, & NDVI_{\lambda} \leq NDVI \leq NDVI_{\lambda v}, \\ \varepsilon_{\lambda\lambda} + C, & NDVI > NDVI_{\lambda v}. \end{cases}$
LST	$LST = (BT / (1 + (0.000010895 * BT / 1.4388) * \ln (0.909))) - 273.15$		$LST = BT / \{1 + [(\lambda BT / \rho) \ln \varepsilon_{\lambda}]\}$

Temperatura superficial (LST)

Al momento de estimar la LST de las dos imágenes procesadas se pudo visualizar la distribución de las temperaturas en toda la superficie de la isla, con valores que oscilaron entre los -2 °C y los 21.4 °C (Figura 3). En general, los valores más altos de temperatura superficial se identificaron en la zona interna de la isla.

Las temperaturas estimadas se compararon con datos obtenidos por la estación meteorológica de la base española Gabriel de Castilla (BGdC, 62°58'37.09"S / 60°40'31.01"O), también ubicada en la isla, en la misma fecha y hora de adquisición de las imágenes (AEMET). En ambos casos los valores de LST sobreestimaron los valores de temperatura de campo (Tabla 2).

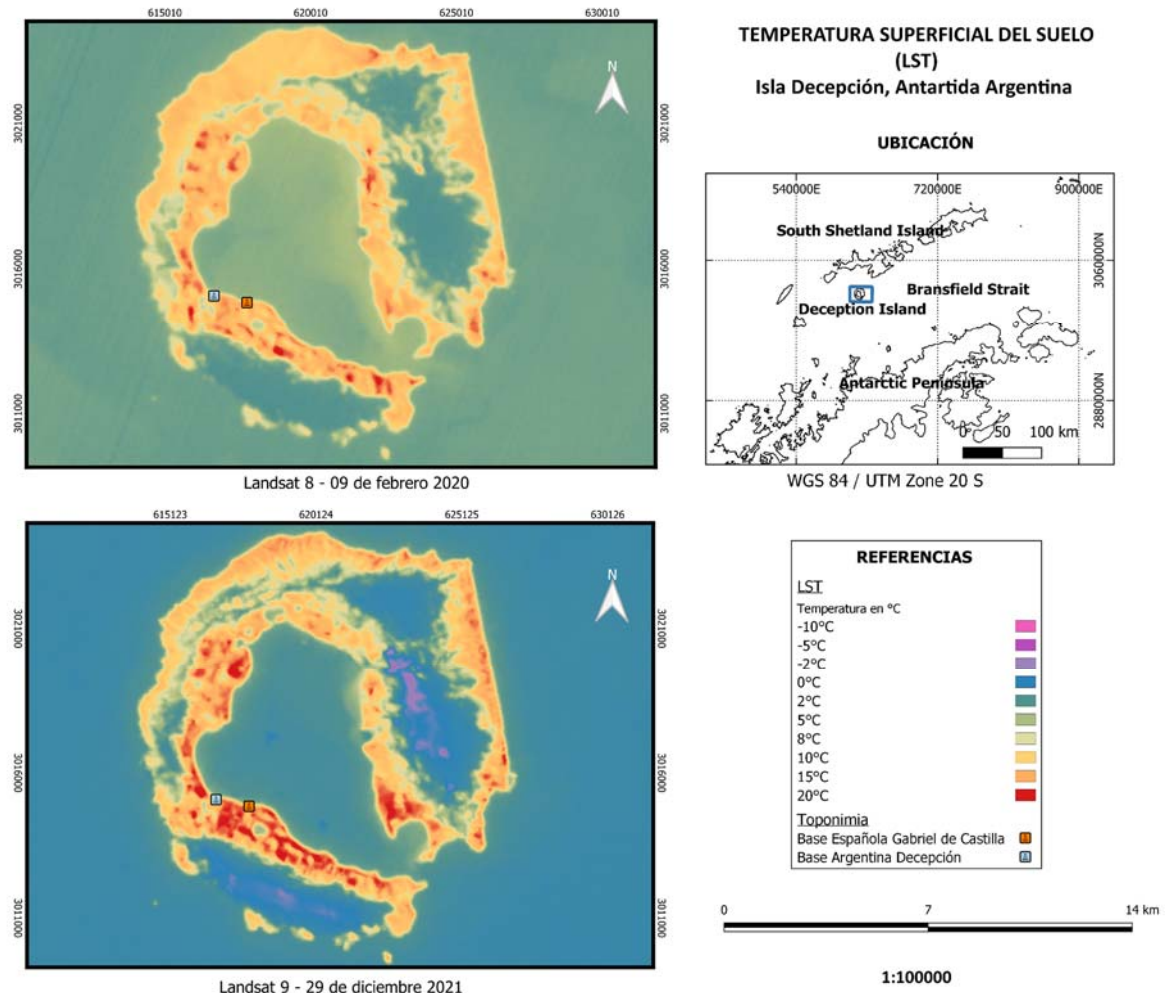
Esta sobreestimación podría tener múltiples causas: por ejemplo, puede deberse a las limitaciones propias del método simplificado, en particular, con los fenómenos de dispersión y el procesamiento de la radiación integrada por el sensor. Otro motivo podría ser la asignación de una única emisividad para todas las coberturas presentes en la isla, lo cual no es del todo preciso.

Además, las anomalías presentes en la isla tienen una extensión areal acotada, y los datos satelitales tienden a promediar los valores dentro del área correspondiente a cada píxel (según la resolución espacial). Por lo que, la temperatura estimada en el píxel que incluye la BGdC representa un valor promedio que incorpora las temperaturas de otras coberturas presentes en el mismo píxel.

Por otro lado, las temperaturas estimadas mediante la metodología aplicada son considerablemente menores a las descritas en la bibliografía sobre la Isla Decepción (Smellie,

2002; Caselli *et al.*, 2004). Esto puede deberse a la baja resolución espacial de la banda térmica (100 m remuestreados a 30 m) en comparación a la extensión de los fenómenos volcánicos de la isla, como fumarolas o zonas de suelos calientes.

Figura 3



Nota: Distribución de las temperaturas de suelo obtenidas a partir de las imágenes Landsat 8 y 9. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2

Satélite	Fecha	Temperatura Estación GdC Isla Decepción (°C)	Temperatura en las imágenes (°C)
L8	9 febrero 2020	7.6	11.77
L9	29 diciembre 2021	4.4	15.12

Comparación de temperaturas obtenidas por la estación meteorológica BGdC y las imágenes satelitales.

Referencias

- © AEMET Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. Gobierno de España. Información elaborada por la Agencia Estatal de Meteorología: <https://opendata.aemet.es/centrodedescargas/inicio> (consultada en abril de 2025).
- Andrés Anaya, P. (2019). *Temperatura Superficial Terrestre a partir de imágenes satelitales: Herramienta para su cálculo*. Trabajo de fin de grado, Universidad de Salamanca, España. Disponible en línea: <https://gredos.usal.es/handle/10366/139879> Acceso: abril 2025.
- Avdan, U. y Jovanovska, G. (2016). Algorithm for Automated Mapping of Land Surface Temperature Using LANDSAT 8 Satellite Data. *Journal of Sensors*: 1-8. <https://doi.org/10.1155/2016/1480307>
- Blackett, M. (2017). An overview of infrared remote sensing of volcanic activity. *Journal of Imaging* 3(2) 13. <https://doi.org/10.3390/jimaging3020013>
- Caselli, A.T., Afonso, M.S. y Augusto, M.R. (2004). Gases Fumarólicos de Isla Decepción (Shetland Del Sur, Antártida): Variaciones químicas y depósitos vinculados a la crisis sísmica de 1999. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 59: 291-302. Disponible en línea: https://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S0004-48222004000200012&script=sci_arttext&tlng=pt Acceso: abril 2025.
- Congedo, L. (2016). *Semi-Automatic Classification Plugin Documentation*. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.29474.02242/1>
- Harris, A. (2013). *Thermal remote sensing of active volcanoes: a user's manual*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139029346>
- Jiménez-Muñoz, J. C. y Sobrino, J. A. (2003). A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108(D22). <https://doi.org/10.1029/2003JD003480>
- Pasaperas Gonzales, J. J. (2016). *Validación de la emisividad y temperatura de la superficie del suelo usando datos del satélite LANDSAT 8*. Tesis de Maestría en Aplicaciones de Información Espacial (CONAE-Universidad Nacional de Córdoba). Disponible en línea: <https://rdu.unc.edu.ar/items/bd1bc1cb-aa89-48aa-bc7b-3c8dca609cd6>. Acceso: abril 2025.
- QGIS Development Team. (2009). QGIS Geographic Information System. Open-Source Geospatial Foundation. <http://qgis.osgeo.org>
- Smellie, J.L. (2002). Volcanic hazard. En López-Martínez, J., Smellie, J.L., Thomson, J.W., Thomson, M.R.A. (Eds.). *Geology and Geomorphology of Deception Island*. Br. Antarct. Surv., Natural Environmental Research Council, Cambridge, pp. 47–53. Disponible en línea: <https://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/17432/> Acceso: abril 2025.
- Tang, H. y Li, Z. L. (2013). *Quantitative remote sensing in thermal infrared: theory and applications*. Springer Science & Business Media.

ANEXO 7

Recursos web, la información geoespacial y listado de acrónimos

Presentación

A continuación, podrán encontrar un listado exhaustivo de accesos a numerosos recursos disponibles en la web que consideramos de utilidad para aquellos/as interesados en la información geoespacial.

Se trata de una nutrida recopilación llevada a cabo por la Cátedra en estos últimos años, y actualizada mayormente hasta abril de 2025. Gran parte de esta información ha sido también volcada en los Capítulos y Anexos de esta obra.

En la mayoría de los casos se trata de accesos libres y gratuitos, aunque algunos pueden presentar limitaciones.

La información se presenta dividida en las siguientes nueve categorías, los recursos dentro de cada una están en orden alfabético:

- Software Libre (Tabla 1)
- Mapas en línea y/o de escritorio (Tabla 2)
- Datos geográficos vectoriales (Tabla 3)
- Imágenes y productos satelitales (descarga) (Tabla 4)
- Nomencladores de nombres geográficos, gaceteros (Tabla 5)
- Conversores/Calculadoras geográficas (Tabla 6)
- Blogs de interés (Tabla 7)
- Recursos bibliográficos
- Enlace permanente a listado de recursos de la Cátedra

Tabla 1
Softwares libres

Recurso	Enlace	Descripción
DIVA-GIS	https://diva-gis.org/	Herramienta gratuita para mapear y analizar datos geográficos.
Grass SIG	https://live.osgeo.org/es/overview/grass_overview.htm !	SIG que proporciona motores potentes para procesamiento geoespacial ráster y vectorial en una suite de software integrado. Incluido también en el entorno del QGIS.

gvSIG	http://www.gvsig.com/es	Creado por la Consejería de Infraestructuras y Transporte de la Comunidad Valenciana para el desarrollo de SIG y procesamiento de imágenes.
Ilwisopen	https://52north.org/software/software-projects/ilwis/	Software SIG y de teledetección que integra gran cantidad de herramientas. Alta funcionalidad, facilidad de uso y con amplia comunidad de usuarios a lo largo de los años de su desarrollo. Libre desde 2007.
Orfeo ToolBox	https://www.orfeo-toolbox.org/	Biblioteca de alto rendimiento para el procesamiento de imágenes con una amplia variedad de aplicaciones. Puede anexarse al entorno del QGIS.
OSSIM	https://trac.osgeo.org/ossim/	Conjunto de librerías y aplicaciones geoespaciales utilizadas para procesar imágenes de satélite, mapas, relieve y datos vectoriales.
PolSarPro	https://step.esa.int/main/toolboxes/polsarpro-v6-0-biomass-edition-toolbox/	Herramienta educativa y de procesamiento de datos Polarimétricos SAR para facilitar acceso y explotación de datos SAR multipolares.
QGIS	http://www.qgis.org/	Herramienta gratuita para mapear y analizar datos geográficos.
SAGA SIG	http://www.saga-gis.org/en/index.html	Posee herramientas de fotogrametría y de clasificación de imágenes. Integrado al QGIS desde la caja de herramientas.
Seadas	https://seadas.gsfc.nasa.gov	Software para el procesamiento, visualización, análisis y control de calidad de los datos de color del océano. Compatible con la mayoría de las misiones de color oceánicas.
Sentinel Hub Plugin	https://www.sentinel-hub.com/develop/integrate/desktopgis/	Complemento en software de SIG que permite aprovechar la potencia de los servicios de Sentinel Hub.
SNAP toolbox	http://step.esa.int/main/toolboxes/snap/	<i>Software</i> para procesamiento de imágenes Sentinel principalmente y muchas otras misiones ópticas y de radar.
WhiteBox	https://jblindsay.github.io/ghrq/WhiteboxTools/index.html	Aplicación GIS y de procesamiento de imágenes de satélite.

Tabla 2
Mapas en línea y/o de escritorio

Recurso	Enlace	Descripción
Cartas topográficas digitalizadas en línea	http://mapa.ign.gob.ar	El IGN pone a disposición las cartas topográficas a escala 1:50.000, editadas y publicadas por el Organismo.
GADM	http://www.gadm.org/	Base de datos espacial con divisiones administrativas.
Geoportal CONAE	https://geoportal.conae.gov.ar/mapstore/#/viewer/openlayers/geoportal	Visualizador que permite la búsqueda y descarga de los servicios de información geoespacial que CONAE publica según estándares de OGC.
GeoPortal IGN	https://mapa.ign.gob.ar/?zom=4&lat=-40&lng=-59&layers=argenmap	Visualizador de toda la información geográfica disponible en el IGN.
Global Map	https://globalmaps.github.io/	Información geoespacial digital fundamental que cubre toda la tierra.
Google Earth Pro - Desktop	https://www.google.com/earth/versions/	Google Earth Pro de escritorio.
Google Earth Web	https://earth.google.com/web/	Google Earth Maps Online.
Google Maps	https://www.google.com/maps/	Google Maps Online.
Google MyMaps	https://mymaps.google.com/	Sirve para crear y publicar mapas personales.
Mapas topográficos	https://es-ar.topographic-map.com	Mapas topográficos en línea de Argentina y el mundo.
Open Street Map	https://www.openstreetmap.org/#map=4/-40.44/-63.59	Proporciona datos de mapas para miles de sitios web, aplicaciones móviles y dispositivos de hardware. Creado por una gran comunidad de colaboradores.
Proyecto Half-Earth	https://map.half-earthproject.org/	Proyecto de conservación de la biodiversidad global que se ha propuesto cuantificar los hábitats y la distribución geográfica de las especies.

Visualizador de mapas de IDERA	http://mapa.idera.gob.ar/?zoom=4&lat=-40&lng=-59&layers=argenmap	Permite ver y consultar las capas provenientes de organismos adheridos a la IDERA.
Wikimapia	http://wikimapia.org/	Mapa colaborativo multilingüe de contenido abierto, donde cualquiera puede crear etiquetas de lugares y compartir su conocimiento.

Tabla 3
Datos geográficos vectoriales

Recurso	Enlace	Descripción
Base de datos global de lagos y humedales	https://www.worldwildlife.org/pages/global-lakes-and-wetlands-database	Combina datos para lagos y humedales a escala mundial.
Capas SIG IGN	https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/InformacionGeoespacial/CapasSIG	Capas de información geoespacial en formato vectorial para descarga.
Ecorregiones de agua dulce del mundo	https://www.feow.org/	Ecorregiones de agua dulce del mundo, datos de distribución de peces de agua dulce, anfibios, tortugas y cocodrilos.
Ecorregiones marinas del mundo	https://www.worldwildlife.org/publications/marine-ecoregions-of-the-world-a-bioregionalization-of-coastal-and-shelf-areas	Clasificación biogeográfica de las costas del mundo y las plataformas continentales.
Ecorregiones terrestres del mundo	https://www.worldwildlife.org/publications/terrestrial-ecoregions-of-the-world	Representa la distribución original de distintos conjuntos de especies y comunidades en todo el mundo.
ESA WorldCover	https://esa-worldcover.org/en	Proporciona productos globales de cobertura terrestre para 2020 y 2021, con una resolución de 10 m, desarrollados y validados casi en tiempo real en función de los datos de Sentinel-1 y Sentinel-2.
FAO GeoNetwork	http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/main.home	Base de datos geográfica de la FAO con descarga de variedad de datos.

<i>geoBoundaries</i>	https://www.geoboundaries.org/index.html	Base de datos de límites políticos administrativos, para visualización y descarga.
Global 200	https://www.worldwildlife.org/publications/global-200	Incluye 238 ecorregiones, que comprenden 142 ecorregiones terrestres, 53 de agua dulce y 43 ecorregiones de prioridad marina.
HydroSHEDS	https://www.hydrosheds.org/	Datos hidrográficos continuos para aplicaciones globales y regionales a través de capas de datos.
IDERA	https://www.idera.gov.ar/	Geoservicios WMS y WFS de los organismos adheridos a IDERA.
Mapa de Valores del Suelo	https://valorsueloamericalatina.org/datos/	Iniciativa colaborativa que promueve la generación de datos y conocimiento abiertos sobre los mercados de suelo urbano en América latina y el Caribe.
Mapa de zonas de vida de Holdridge, República Argentina	http://geoportal.idesa.gov.ar/layers/geonode/%3Azona_vida_arg#more	Tesis Doctoral de M. R. Derguy: Clasificación ecológica para la República Argentina a partir del modelo de zonas de vida de Holdridge: mapeo, caracterización y tendencias de cambio.
Ministerio de Ambiente	http://datos.ambiente.gov.ar/	Portal de información pública en formato abierto destinado a facilitar el acceso y operación de los datos.
<i>Natural Earth</i>	https://www.naturalearthdata.com/	Conjunto de datos de mapas en varias escalas, con datos vectoriales y ráster estrechamente integrados.
Proyecto <i>Quantarctica</i>	https://www.qgis.org/en/site/about/case_studies/antarctica.html	Colección de conjunto de datos geográficos de la Antártida (mapa base, imagen de satélite, datos de glaciología y geofísica) para visualización en QGIS.
Tipos de pastizales mundiales	https://www.worldwildlife.org/publications/world-grassland-types	Descarga de datos de caracterización biogeográfica global de los ecosistemas de pastizales mundiales a gran escala.

Tabla 4
Imágenes y productos satelitales (descarga)

Recurso	Enlace	Descripción
<i>Alaska Satellite Facility</i>	https://search.asf.alaska.edu/#/	Acceso a imágenes SAR y otros conjuntos de datos.

Antártida ráster de base	https://lima.usgs.gov/	Proyecto LIMA, imágenes Landsat en mosaico de toda la Antártida, prácticamente sin nubes, sin interrupciones y de alta resolución.
Catálogo SRTM	https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-shuttle-radar-topography-mission-srtm-1-arc?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects	Archivo USGS EROS - Elevación digital - Misión de topografía de radar (SRTM).
CONAE	https://catalogos.conae.gov.ar/catalogo/catalogo.html	Acceso a descarga de imágenes de diversos satélites.
EO Browser	https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/	Visualización y descarga de imágenes de los satélites de observación de la Tierra de la serie Sentinel.
Focos de incendios	https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/map	Datos de incendios activos en tiempo casi real (dentro de las 3 horas posteriores a la observación satelital).
LSDS Science Research and Development (LSRD)	https://espa.cr.usgs.gov/	Procesamiento adicional de datos Landsat: reflectancia de superficie, temperatura de brillo, índices espectrales.
NASA	https://worldview.earthdata.nasa.gov/	Descarga de imágenes de los satélites de observación de la Tierra de la NASA.
<i>Ocean Data Laboratory</i>	https://ovl.oceandatalab.com/	Plataforma virtual para visualizar y descargar conjuntos de datos de Observación de la Tierra, principalmente en zonas oceánicas.
Productos Océano (Copernicus)	https://resources.marine.copernicus.eu/products	La herramienta de búsqueda permite refinar la lista de productos, añadirlos a marcadores, descubrirlos y observar una vista previa.
Productos satelitales de Antártida	https://www.polarview.aq/	Amplia variedad de productos de observación de la Tierra que monitorean las regiones polares y las áreas de latitudes medias afectadas por el hielo y la nieve.
Proyecto MDE Ar	https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/Geodesia/ModeloDigitalElevaciones/Introduccion	Datos de relieve de toda la Argentina.

<i>Sentinel Hub Playground</i>	https://apps.sentinel-hub.com/sentinel-playground	Visualización y descarga de imágenes y productos satelitales de la serie Sentinel.
<i>Sentinel Hub Public Collections</i>	https://collections.sentinel-hub.com/	Colección de varios productos Sentinel.
USGS	https://www.usgs.gov/	Descarga de imágenes de los satélites de observación de la Tierra gestionados por USGS.

Tabla 5
Nomencladores de nombres geográficos, gaceteros

Recurso	Enlace	Descripción
Directorio cartográfico de España y América	https://www.dices.net/	Mapas, imágenes de satélite y coordenadas GPS de ciudades, pueblos, playas, montañas, ríos y lugares de España y América.
<i>Geodeg</i>	http://www.geodeg.com/	Diccionario geográfico abierto que permite crear y descargar cualquier lugar del mundo.
<i>Geonames</i>	https://www.geonames.org/	Base de datos geográfica que cubre todos los países y contiene más de once millones de nombres de lugares.
<i>Getty Thesaurus</i>	http://www.getty.edu/research/tools/vocabularies/tgn/index.html	Tesoros de nombres geográficos del mundo.
<i>InfoXY</i>	http://splink.cria.org.br/infoxy?criaLANG=en	Herramienta para obtener información de un punto, nombre del país, estado, municipio o distrito al ingresar coordenadas geográficas.
Manual de símbolos cartográficos de Argentina	https://www.ign.gob.ar/archivos/cartografia/manual_de_signos_cartograficos_2010.pdf	Tiene por finalidad establecer los signos cartográficos y las normas referentes a su aplicación, para el dibujo de la carta topográfica de la República Argentina a diferentes escalas.
<i>Marine Regions</i>	http://www.marineregions.org/	Datos vectoriales sobre regiones marinas y Zonas Económicas Exclusivas.
Nomenclador Geográfico de Argentina	https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/Geografia/Nomenclador/Buscador	Desarrollado por el IGN, ofrece la posibilidad de buscar nombres geográficos (o topónimos) georreferenciados incluidos en la Base de Datos Geoespacial del Organismo.

Tabla 6
Conversores/Calculadoras geográficas

Recurso	Enlace	Descripción
Análisis de coordenadas	http://data.canadensys.net/tools/coordinates	Herramienta para convertir coordenadas a diversos formatos.
Comparar proyecciones de mapas	https://map-projections.net/	Compara diferentes proyecciones en línea.
Conversor de coordenadas	https://epsg.io/transform	Conversor en línea de coordenadas de latitud y longitud, datos geodésicos y sistemas proyectados.
Conversor de coordenadas	http://www.earthpoint.us/Convert.aspx	Conversor de coordenadas en una variedad de formatos.
Conversor de coordenadas GPS	https://www.gps-coordinates.net/gps-coordinates-convert	Conversor de coordenadas en una variedad de formatos.
Geoid Height Calculator	www.unavco.org/software/geodetic-utilities/geoid-height-calculator/geoid-height-calculator.html	Calculadora de altura de geoide.
Georeferencing .org	http://georeferencing.org/	Colección de recursos relacionados con el proceso de georreferenciación.
Movable Type Scripts	https://www.movable-type.co.uk/scripts/latlong.html	Cálculos de distancia, rumbo y otros entre los puntos de latitud/longitud.
Vertical Datum Transformations	https://vdatum.noaa.gov/	Transformación vertical de datos geoespaciales entre una variedad de datums verticales de marea, ortométricos y elipsoidales.

Tabla 7
Blogs de interés

Recurso	Enlace	Descripción
Cooperativa Cambalache	https://cambalachecoopera.com.ar/	Es un equipo de trabajo conformado por personas formadas en geografía y programación, que de forma democrática y

		participativa se organizan con un objetivo recíproco y común: trabajar y transformar.
<i>Gis and Beers</i>	http://www.gisandbeers.com/	Blog con datos de interés, novedades, cursos, recursos, etc.
<i>Mappinggis</i>	https://mappinggis.com/	Tiene la finalidad de difundir las Tecnologías de la Información Geográfica, mediante artículos publicados en su blog y en su canal de YouTube.

Recursos bibliográficos recomendados

Arana, M.D., Natale, E. S., Ferretti, N. E., Romano, G. M., Oggero, A.J.; Martínez, G.; Posadas, P.E. y Morrone, J.J. (2021). Esquema biogeográfico de la República Argentina. Disponible en línea: <http://www.lillo.org.ar/editorial/index.php/publicaciones/catalog/book/253> Acceso: abril 2025.

Iniesto Alba y Nuñez Andrés. (2020). Infraestructuras de datos espaciales. Disponible en línea: <https://www.ign.es/resources/acercaDe/libDigPub/Libro-IDE-2020.pdf> Acceso: abril 2025.

Morello, J., Matteucci, S., Rodríguez, A. y Silva, M. (2012). Ecorregiones y complejos ecosistémicos argentinos. Disponible en línea: https://www.researchgate.net/publication/268447092_Ecorregiones_y_complejos_ecosistemico_s_Argentinos Acceso: abril 2025.

Olaya (2020). Sistemas de Información Geográfica. Disponible en línea: <https://volaya.github.io/libro-sig/> Acceso: abril 2025.

Enlace permanente a listado de recursos de la Cátedra

La lista presentada en este Anexo está en continuo crecimiento con acceso a la versión actualizada en línea:

Enlace : <https://qrcd.org/8b9a>

QR



Listado de acrónimos citados en la obra

A continuación, encontrarán una lista de acrónimos ordenados alfabéticamente referidos a organismos, instituciones y términos técnicos, tanto en idioma español como en inglés en su mayoría, que se manejan habitualmente en las temáticas principales tratada en este libro de cátedra.

A

AEB/INPE. *Agência Espacial Brasileira/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais* (Brasil)

AEMET. Agencia Estatal de Meteorología (España)

AGGO. Observatorio Argentino-Alemán de Geodesia

ALOS. *Advanced Land Observing Satellite*

ASI. *Agenzia Spaziale Italiana* (Italia)

ASTER. *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*

AVHRR. *Advanced Very High-Resolution Radiometer*

B

BOA. *Bottom of Atmosphere*

BT. *Brighness Temperature*

C

CAD. *Computer-aided design*

CCRS. *Canada Centre for Remote Sensing* (Canadá)

CGIS. *Canadian Geographical Information System*

CIC. Comisión de Investigaciones Científicas

CIOp. Centro de Investigaciones Ópticas

CNEA. Comisión Nacional de Energía Atómica

CNES. *Centre national d'études spatiales* (Francia)

CNIE. Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales

CONAE. Comisión Nacional de Actividades Espaciales

CONICET. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

CRS. *Coordinate Reference System*

CSA. *Canadian Space Agency* (Canadá)

CSW. *Catalog Service for Web*

D

DEM. *Digital Elevation Model*

DN. *Digital Number*

DOS. *Dark Object Subtraction*

DSRI. Instituto Danés de Investigación Espacial (Dinamarca)

E

EE. Espectro electromagnético

ENVISAT. *Environmental Satellite*

EPSG. *European Petroleum Survey Group*

ERS. *European Remote-sensing Satellite*

ESA. *European Space Agency*

ESRI. *Environmental Systems Research Institute, Inc.*

ETM+. *Enhanced Thematic Mapper Plus*

EVI. *Enhanced Vegetation Index*

F

FCNyM. Facultad de Ciencias Naturales y Museo

FOV. *Field of View*

G

GEE. *Google Earth Engine*

Glonass. *Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema*, (Rusia)

GML. *Geography Markup Language*

GNSS. *Global Navigation Satellite System*

GOES. *Geostationary Operational Environmental Satellite*

GPS. *Global Positioning System*

GSDI. *Global Spatial Data Infrastructure*

GvSIG. *Generalitat Valenciana Sistema de Información Geográfica*

H

HTML. *HyperText Markup Language*

I

IAR. Instituto Argentino de Radioastronomía

IDE. Infraestructura de Datos Espaciales

IDEBA. Infraestructura de Datos Espaciales de la provincia de Buenos Aires

IDEE. Infraestructura de Datos Espaciales de España

IDENEU. IDE de Neuquén

IDERA. Infraestructura de Datos Espaciales de la República Argentina

IG. información geográfica

IGM. Instituto Geográfico Militar

IGN. Instituto Geográfico Nacional

IMU. *Inertial Measurement Unit*

INSPIRE. *Infrastructure for Spatial Information in Europe*

IFOV. *Instantaneous Field of View*

INVAP. *Investigaciones Aplicadas Sociedad del Estado*

IRC o NIR. Infra rojo cercano o *Near Infrared Red*

IRM. Infra Rojo Medio

ISO. *International Organization for Standardization*

ISODATA. *Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique*

ITRF. *International Terrestrial Reference Frame*

IV. Índice de vegetación

IVST. Índice de Vulnerabilidad Socio Territorial

K

KML. Keyhole Markup Language

KMZ. Keyhole Markup Language (comprimido)

L

Landsat. "LAND" para tierra y "SAT" para satélite

LiDAR. *Light Detection and Ranging*

LST. *Land Surface Temperature*

M

MDE. Modelo Digital de Elevación

MDE-Ar. Modelo Digital de Elevaciones de la República Argentina

MDS. Modelos digitales de superficies

MDT. Modelos digitales de terreno

MNDWI. *Modified Normalized Difference Water Index*

MODIS. *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*

MSS. *Multispectral Scanner*

N

NASA. *National Aeronautics and Space Administration* (EE.UU.)

ND. *Número digital*

NDVI. *Normalized Difference Vegetation Index*

NDWI. *Normalized Difference Water Index*

O

OCG. *Open Geospatial Consortium*

OG. Objetos Geográficos

OLCI. *Ocean and Land Colour Instrument*

OSM. *OpenStreetMap*

OTM. Oficina Topográfica Militar

P

pixel. *picture element*

PMIDERA. perfil de metadato de IDERA, perfil de metadato de IDERA

POSGAR. Posiciones Geodésicas Argentinas

Q

QGIS. Quantum GIS

R

Radar. *Radio Detection And Ranging*

RENABAP. Registro Nacional de Barrios Populares

RGB. *Red Green Blue*

RMBA. Región Metropolitana de la provincia de Buenos Aires

S

SAC-C. Satélite de Aplicaciones Científicas - C

SAC-D. Satélite de Aplicaciones Científicas - D

SAOCOM. Satélite Argentino de Observación con Microondas
SAR. *Synthetic Aperture Radar* - Radar de Apertura Sintética,
SAVI. *Soil Adjusted Vegetation Index*
SIG. Sistema de Información geográfica
SIGRA. Sistema de Información Geográfica de la República Argentina
SIISA. Sistema Integrado de Información Sanitaria Argentino
SIRGAS. Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas
SMA. *Spectral Mixture Analysis*
SNVS. Sistema Nacional de Vigilancia en Salud
SPOT. *Satellite Pour l'Observation de la Terre*
SQL. *Structured Query Language*
SRC. Sistema de Referencia de Coordenadas
SRE. Sistema de Referencia Espacial
SRS. *Spatial Reference System*
SRTM. *Shuttle Radar Topography Mission*
SWIR. *Short Wavelength Infrared*

T

TIG. Tecnologías de Información Geográfica
TIR. *Thermal Infrared*
TM. *Thematic Mapper*
TOA. *Top of Atmosphere*
TPS. *Thin plate spline*

U

UN-GGIM. *United Nations Global Geospatial Information Management*
UN-IGIF. *United Nations Integrated Geospatial Information Framework*
UNLP. Universidad Nacional de La Plata
USGS. *United States Geological Survey*
UTM. *Universal Transverse Mercator*

V

VENG. Vehículo Espacial Nueva Generación
VIIRS. *Visible Infrared Imaging Radiometer Suite*

W

WCS. *Web Coverage Service*
WFS. *Web Feature Service*
WGS84. *World Geodetic System 1984*
WMS. *Web Map Service*
WPS. *Web Processing Service*

X

XML. *Extensible Markup Language*

ANEXO 8

Generalidades de la asignatura Sensores Remotos

Contenidos de la asignatura

Los principales contenidos incluidos en la asignatura son:

- Conceptos y fundamentos de la teleobservación espacial. Definición, objetivos, historia.
- Principios físicos. Espectro electromagnético. Firmas espectrales. Teoría del color.
- Ventanas atmosféricas, tipos de dispersión (*Mie*, *Rayleigh*, No selectiva).
- Características de los sistemas satelitales. Tipos de sensores y órbitas.
- Resoluciones espectral, espacial, radiométrica y temporal de un sensor.
- Plataformas satelitales de observación de la superficie terrestre (baja, media, alta resolución espacial): AQUA, TERRA, NOAA, S-NPP, Serie SAC, Serie Landsat, Serie Spot, Radarsat, Cosmo Skymed, Misión SAOCOM, Serie Sentinel, Worldview, RapidEye, GeoEye, entre otros. Características de los principales sensores ópticos y radar.
- Nociones básicas de cartografía: Sistema de Referencia, Marco de Referencia, Sistema de Proyección Cartográfica (*Gauss Kruger*, UTM), Cartas topográficas y satelitales, definiciones varias. Fundamentos de GNSS (*Global Navigation Satellite System*).
- Estructura ráster de la imagen satelital.
- Fundamentos de datos SAR (radar). Principales aplicaciones.
- Manejo de imágenes ópticas y de radar en computadora con software libre. Ejemplos de aplicaciones.
- Combinación de bandas. Aplicación de realces y filtros. Recortes y mosaicos.
- Proceso de georreferenciación de la imagen. Reproyección.
- Análisis visual (color, textura, forma). Mapeo temático.
- Análisis digital: corrección atmosférica. Índices de vegetación y de agua.
- Clasificaciones supervisadas y no supervisadas. Métodos de validación. Detección de cambios.
- Concepto de DEM (modelo digital de elevación), aplicaciones, fuentes, precisiones.
- Conceptos básicos e introducción al SIG. Áreas de aplicación, generalidades y componentes.
- Modelos y estructura de los datos. Métodos de interpolación. Bases de datos georreferenciadas.
- Captura de datos, creación de coberturas temáticas vectoriales, incorporación de atributos a la base de datos, edición de coberturas, consultas, incorporación de puntos GPS al SIG, generación de mapas.

- Concepto de IDE (Infraestructura de Datos Espaciales). Actividades en el país vinculadas al tema. Servicios web proveedores de información geoespacial. Empleo de los servicios web en las prácticas cotidianas.
- Análisis espacial. Conceptos básicos. Operaciones: clasificaciones, intersecciones, uniones, buffer, sacabocado, superposiciones, actualizaciones, etc.
- Análisis estadísticos de las coberturas resultantes de las operaciones espaciales. Análisis de la precisión.

Organización de la asignatura

La materia está organizada en tres módulos y se cursa de manera presencial. Hace años la materia está completamente disponible con todos sus materiales y recursos en un entorno virtual, actualizado cada año y que actualmente está en Aulas Virtuales de la FCNyM. Se trata de clases teórico-prácticas que se desarrollan semanalmente. Las clases teóricas son brindadas por las docentes junto a expertos invitados en temas específicos tales como GNSS, LIDAR, *Google Earth Engine* (GEE), entre otros. Las clases prácticas se desarrollan utilizando *software* libre, como es el caso de QGIS, con el acompañamiento de guías y cuestionarios específicos que orientan a los/as estudiantes en el proceso de aprendizaje. Además, se emplean múltiples recursos y herramientas (videos, tutoriales, enlaces de interés, etc.) disponibles en el entorno de Aulas Virtuales de la FCNyM. Este trabajo se ve reforzado por el uso de otras plataformas y redes que facilitan y promueven la comunicación y seguimiento de los/las estudiantes.

Los/las estudiantes se integran también a las clases mediante seminarios (uno o dos según los años) que ellos mismos preparan en base a un tema específico que exponen frente a los compañeros/compañeras.

Además del cumplimiento de los trabajos prácticos y de la aprobación de tres parciales (uno por módulo), la evaluación incluye la propuesta de un Proyecto Integrador Final sobre un tema a elección, en el cual deben realizar la aplicación concreta de las herramientas geomáticas aprendidas. Este proyecto se trabaja durante todo el año, tanto en el aula como a través de las plataformas y es de carácter individual o grupal.

Según las oportunidades y circunstancias, cada año se realizan actividades con los estudiantes fuera del entorno áulico, tales como la realización de salidas a campo en cercanías de la facultad (como la práctica de GNSS en la zona del Bosque, la visita al Observatorio Geodésico Alemán- Argentino AGGO), viajes de campaña a zonas de interés (por ej. la visita al Centro Espacial T. Tabanera de la CONAE y el Parque Nacional Quebrada del Condorito, prov. de Córdoba) y/o viajes coordinados con otras materias de la Casa.

Otras actividades de la cátedra

Las docentes de la Cátedra han organizado y participado en las siguientes actividades extracurriculares:

- Desde el 2007 las docentes han sido parte del curso de postgrado de Introducción a los SIG y Teledetección, asumiendo diferentes modalidades, desde presencial, semipresencial y virtual. Este curso se dicta todos los años y es acreditable al doctorado en ciencias naturales. Desde el 2023, este curso se amplió para la formación profesional, aumentando la matrícula de profesionales que acceden a este tipo de formación.
- 2015. VI Jornada de Jóvenes Investigadores y Jóvenes Extensionistas, FCNyM, UNLP.
- 2015. Conferencia sobre Tecnología y Ciencia Espacial en Argentina: Desafíos para la Construcción de Políticas de Estado. 6ta jornada de jóvenes investigadores y jóvenes extensionistas, FCNyM, UNLP.
- 2016. XIV Semana Nacional de la Ciencia, la Tecnología y el Arte Científico, organizada por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. En la FCNyM se abrieron las puertas del aula a niñas, niños, jóvenes y público en general mostrando material audiovisual y en papel sobre Sensores Remotos.
- 2019. XIII Congreso Nacional de Alumnos de Geología (Ensenada): “Desarrollo Espacial Argentino”.
- 2019. “Detección de cambios (2004 – 2018) en la asignatura Sensores Remotos, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata”. Ponencia presentada en el Congreso CONFIBSIG XVII, Universidad Nacional de Luján.
- 2021. Taller sobre SIG en las Jornadas de Jóvenes Investigadores y Jóvenes Extensionistas, FCNyM, UNLP.
- 2021. I Jornadas Docentes: La práctica docente en la virtualidad: enseñanzas para la post pandemia en la FCNyM: “Lo que la Pandemia nos dejó”, FCNyM, UNLP.
- 2024. II Jornadas Docentes: Estrategias de evaluación para la promoción aplicadas a la materia Sensores Remotos, FCNyM, UNLP.
- Seminarios en otras asignaturas y cursos de la Casa. Es frecuente, además, que se brinde apoyo y guía por parte de las docentes a estudiantes de años anteriores que han cursado la materia y se encuentran trabajando en sus propios proyectos en ámbitos laborales académicos y/o profesionales.

Los/as autores/as

Coordinadoras

Torrusio, Sandra Edith

Doctora en Ciencias Naturales, Licenciada en Biología, Orientación Ecología, Facultad de Ciencias Naturales y Museo (FCNyM/UNLP). Profesora Titular de la cátedra de Sensores Remotos, FCNyM. Docente investigadora, Secretaria de Investigación y Transferencia (FCNyM) desde 2022. Docente del Curso de Posgrado “SIG: Teoría y Práctica” desde 2007 a la actualidad. Investigadora Principal de las Misiones SAC-C y SAC-D AQUARIUS y Gerente de Vinculación Tecnológica en la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) entre 2008 y 2022. Participación en numerosos congresos, seminarios y conferencias de nivel nacional e internacional. 35 publicaciones científicas. en revistas nacionales e internacionales, y en congresos. Numerosos trabajos de difusión e informes técnicos. Dirección/co-dirección de tesis de doctorado (6), de maestría (2) y de grado (3), y de 2 becas posdoctorales y de una investigadora adjunta. Miembro de numerosas comisiones evaluadoras y revisora de trabajos científicos. Dictado de numerosos cursos y talleres en la temática de teledetección espacial. Participación en 14 proyectos de investigación.

Derguy, María Rosa

Doctora en Cs. Naturales, Licenciada en Biología, Orientación Zoología, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata (FCNyM, UNLP). JTP en la cátedra de Sensores Remotos, FCNyM, UNLP. Docente investigadora, integrante del Laboratorio de Investigación de Sistemas Ecológicos y Ambientales (LISEA), UNLP. Docente del Curso de Posgrado “SIG: Teoría y Práctica” desde 2013 a la actualidad. JTP en la Cátedra de Teledetección y SIG (UNDAV-Universidad Nacional de Avellaneda) de 2014 a 2016. Profesional Científico Tecnológico en la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) entre 2013 y 2015. Integrante, codirectora y directora de proyectos de investigación y extensión (UNLP). Autora/coautora de 10 trabajos científicos, 2 capítulos de libro y 20 ponencias en eventos académicos nacionales e internacionales. Revisora de trabajos científicos para revistas nacionales e internacionales. Directora/codirectora de becarios, tesis y pasantes en la UNLP y en la UNDAV. Recibió subsidios para estancias en el exterior a través de los programas: “Movilidad Latinoamericana para Docentes” (UNDAV); “*Internationalizing forestry curricula study tracks through a Global-SDG-Campus network*” (DAAD). Realizó numerosos cursos de posgrado nacionales e internacionales como formación complementaria.

Lamaro, Anabel Alejandra

Licenciada en Biología, Orientación Botánica, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata (FCNyM, UNLP). JTP de Sensores de Remotos, FCNyM, UNLP. Docente investigadora categoría DI3. Encargada de Colección, División Ficología (MLP). Docente del Curso de Posgrado “SIG: Teoría y Práctica” desde 2015 a la actualidad (FCNyM, UNLP). Profesional Científico Tecnológico en la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) entre 2012 y 2021. Autora/coautora de 10 publicaciones científicas en revistas nacionales e internacionales, 5 capítulos de libro, editora de 2 libros, 6 informes técnicos y 1 *dataset* en GBIF. Autora/coautora de 40 presentaciones en numerosos congresos, seminarios y conferencias nacionales y del exterior. Directora/codirectora de 8 becarios y pasantes. Participación en 17 proyectos de investigación y extensión. Asistencia a 23 cursos nacionales e internacionales. Miembro de sociedades académicas y profesionales, comisiones evaluadoras y revisora de trabajos científicos. Dictado de numerosos cursos y talleres en la temática de teledetección espacial.

Autores/as

Del Cogliano, Daniel Héctor

Dr. en Ingeniería con mención en Geotecnia, Facultad de Ciencias Exactas e Ingeniería, Universidad Nacional de Rosario. Lic. en Astronomía, Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (FCAyG), UNLP. Prof. Titular de Geodesia I y Geodesia II FCAyG. Prof. a cargo de Geodesia Geométrica y Cartografía. Maestría en Geomática (FCAG y Fac. Ingeniería/UNLP). Prof. Visitante de la Universidad Nacional de Santiago del Estero. Publicaciones: Del Cogliano, D. *et al.* (2023). Análisis de modelos de geoide globales y locales en la zona de El Shincal de Quimivil (Londres, Catamarca). *Acta Geológica Lilloana*, 35–48. <https://doi.org/10.30550/j.agl/2023.34.1/2023-03-09>. Moralejo, R. A. et al (2022). Utilización de LiDAR aéreo y terrestre en El Shincal de Quimivil (Catamarca): Una experiencia de vinculación institucional y tecnológica en el ámbito de la arqueología. *Práctica Arqueológica*, 5(2), 1-15. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7382162>. Experto en Geodesia Espacial. Investigador y consultor.

Gende, Mauricio

Dr. en Geofísica y Geofísico, Fac. de Cs. Astronómicas y Geofísicas, (FCAG/UNLP). Prof. Asociado con DE de Referenciación en Geofísica, FCAG. Director del Observatorio Argentino Alemán de Geodesia (AGGO). Investigador Independiente CONICET. Publicaciones: A. de Abreu, E. Correia, R. de Jesus, K. Venkatesh, E. Macho, M. Roberto, P. Fagundes, M. Gende.

(2023) Statistical analysis on the ionospheric response over South American mid- and near high latitudes during 70 intense geomagnetic storms occurred in the period of two decades. *J. of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 106060; M. Lenzano, A. Rivera, M. Durand, P. Vacaflo, M. Carbonetti, E. Lannutti, M. Gende, L. Lenzano. (2023) Detection of Crustal Uplift Deformation in Response to Glacier Wastage in Southern Patagonia. *Remote Sensing*, 15(3):1-22; V. Graffigna, M. Hernández Pajares, M. Gende, F. Azpilicueta, P. Antico (2019) Interpretation of the tropospheric gradients estimated with GPS during the hurricane Harvey. *Earth and Space Science*, 0(0):1–18. Investig.-Extensión: Aeronomía y Geodesia (FCAG).

Iglesias, María del Rosario

Doctora en Ciencias Agropecuarias en la Fac. de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba (UNC). Master en Aplicaciones Espaciales de Alerta y Respuesta Temprana a Emergencias. Facultad de Matemática, Astronomía y Física (UNC) e Instituto de Altos Estudios Espaciales "Mario Gulich", Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE). Licenciada en Biología orientación Botánica en la Fac. de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata (UNLP). Publicación: Montes M, M. *et al.* (2023) Landscape descriptors in fifteen urban green spaces of a southern temperate city. Dataset. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.14579955.v1>. Actualmente se desarrolla como Profesional principal en la Carrera de Personal de Apoyo (CPA) a la Investigación y Desarrollo (CONICET) en el Centro de Estudios Parasitológicos y de Vectores (CEPAVE), La Plata, Buenos Aires, Argentina.

Mora, Mariana

Ingeniera en Agrimensura, Facultad de Ingeniería (FI), Universidad Nacional de La Plata (UNLP) Posgrado: Ingeniería Geodésica- Geofísica, Universidad de Buenos Aires, y Maestría en Geomática, Universidad Nacional de La Plata, en curso. Jefe de Trabajos Prácticos Interina, dedicación simple en Geodesia I y Geodesia II, FI. Beca de Maestría tipo A, UNLP: Misión SAOCOM, LIDAR aéreo y GNSS para la determinación de Modelos de Terreno y el análisis de sus variaciones (2021- actualidad). Participante del "Programa Internacional de Liderazgo para Visitantes (IVLP) (principal programa de intercambio profesional del Departamento de Estado de los Estados Unidos) (2023). Presentación en XX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto: Control MDT SAOCOM con LiDAR en El Shincal de Quimivil (2023).

Morales, Natalia Soledad

Doctora en Ciencias Naturales y Licenciada en Antropología, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata (FCNyM, UNLP). Ayudante Diplomado en las cátedras Sensores Remotos y Antropología Biológica III (FCNyM). Docente del curso de Postgrado y de Actualización Profesional "Sistemas de Información Geográfica: Teoría y Práctica" (FCNyM) desde 2023 a la actualidad. Becaria Posdoctoral del Consejo Nacional de Investigaciones

Científicas y Técnicas (CONICET). Integrante de la División Antropología (FCNyM), donde lleva a cabo estudios arqueológicos, fundamentalmente de restos óseos faunísticos desde una perspectiva tafonómica. Autora/coautora de 19 publicaciones científicas en revistas nacionales e internacionales, 2 capítulos de libro, 2 informes técnicos y 41 trabajos presentados en eventos académicos de índole nacional e internacional. Participación en 17 proyectos de investigación y 15 de extensión, acreditados en las Universidades Nacionales de La Plata y Rosario. Miembro de sociedades académicas y profesionales y revisora de trabajos científicos.

Pisonero, Juliana

Epidemióloga, residencia en Ministerio de Salud de la provincia de Buenos Aires (MSBA). Licenciada en Biología Orientación Zoología, Facultad de Ciencias Naturales y Museo UNLP (FCNyM, UNLP). Epidemióloga en la Unidad de Análisis de Información en Salud, Dirección de Estadística y Salud Digital, (UAIS, DEISBA, MSBA), y Coordina el espacio de rotación de los residentes de Epidemiología en la DEISBA desde el 2021. Epidemióloga en el municipio de Cañuelas, provincia de Buenos Aires (PBA). Publicaciones: Del cólera en Inglaterra al dengue y la COVID-19 en la provincia de Buenos Aires (2022). La Intervención en Lo Social en Tiempos de Pandemia. Impacto de la pandemia Covid-19 en indicadores de mortalidad. PBA (2021). Participante en Beca Julieta Lanteri, MSBA, vinculados a inequidades en salud y acceso al aborto en la Provincia de Bs.As. Participante en Beca Salud Investiga, MSBA, vinculado a Impacto de la pandemia por COVID-19 en la mortalidad.

Reynoso, Luis

Lic. en Tecnología Educativa, Universidad Tecnológica Nacional (UTN), Licenciado y Magister en Cs. de la Computación, Universidad Nacional del Sur. Doctor por la Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM), España. Profesor adjunto de la Facultad de Informática de la Universidad Nacional del Comahue (UNCo), docente de materias de grado y posgrado, investigador y director del proyecto 04/F023: Tecnologías de Datos Espaciales, Visualización y Realidad Virtual. Director General de Sistemas en la Dirección Provincial de Catastro e Información Territorial (DPCeIT) de la provincia del Neuquén, donde es Coordinador del proyecto: “Mejora de la Infraestructura Territorial Catastral (ITC) en el marco del Programa de Fortalecimiento de la Gestión Provincial, BID 3835/OC-AR. Coordinador del grupo de trabajo de AyC, referente designado por la prov. del Neuquén en IDERA y representante regional por la región Patagonia. Autor de publicaciones nacionales e internacionales. Fellow del Instituto de Tecnología de Software, Universidad Nacional de Naciones Unidas (IIST-UNU).

Seguel, Ana Andrea Soledad

Estudiante avanzada de la Licenciatura en Geología, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata (FCNyM, UNLP). Colaboradora y pasante de Sensores Remotos, FCNyM. Publicaciones: Seguel. S, Guerriero.L, (2022) Cálculo de temperatura de

superficie (LST) a partir de imágenes satelitales en Isla Decepción, Antártida. Libro de resúmenes: Novenas Jornadas de Jóvenes Investigadores y Extensionistas. La Plata: Universidad Nacional de La Plata, Libro digital, PDF. ISBN 978-950-34-2095-9. Pág 17 – 19. Seguel, S. *et al* (2024) Una aproximación a la validación de datos térmicos satelitales mediante observaciones in situ en Isla Decepción, Antártida. XXII Congreso Geológico Argentino. San Luis – noviembre de 2024. Participante en proyecto de Investigación “Estudio volcanológico y geotérmico en volcanes activos de Antártida” Programa Antártico Argentino, diagramado y coordinado por la Dirección Nacional del Antártico y el Instituto Antártico Argentino.

Zucchini, Betina Inés

Licenciada en Biología, Orientación Ecología, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata (FCNyM, UNLP). Es docente en el Curso de Postgrado SIG y Ayudante Ordinario Simple en Sensores Remotos (FCNyM, UNLP). Coordinadora de la Unidad de Análisis de Información en Salud en la Dirección de Estadísticas e Información en el Ministerio de Salud de la Provincia de Buenos Aires. (UAIS, DEISBA MSBA). Publicaciones: Del cólera en Inglaterra al dengue y la COVID-19 en la provincia de Buenos Aires. (2022). Lo que la pandemia nos dejó: la inclusión como eje de nuestras prácticas docentes (2022). COVID-19 y vulnerabilidad social: análisis descriptivo de una serie de casos del Gran Buenos Aires. (2021). Participante en proyectos de extensión y de investigación en la Facultad Ciencias Médicas, UNLP, y Beca Julieta Lanteri, MSBA, vinculados a inequidades en salud y acceso al aborto en la Provincia de Bs As. Consultora especialista en SIG en diversos proyectos y empresas. Redacción de manuales de usuario y aplicaciones web específicas de la temática.

Torrusio, Sandra

Teledetección y sistemas de información geográfica : fundamentos teóricos y ejemplos de aplicaciones para las ciencias naturales / Sandra Torrusio ; María Rosa Derguy ; Anabel Lamaro ; Coordinación general de Sandra Torrusio ; María Rosa Derguy ; Anabel Lamaro ; Prólogo de Conrado F. Varotto. - 1a ed. - La Plata : Universidad Nacional de La Plata ; La Plata : EDULP, 2025.

Libro digital, PDF - (Libros de cátedra)

Archivo Digital: descarga

ISBN 978-950-34-2549-7

1. Imágenes Satelitales. 2. Ciencias Naturales. I. Torrusio, Sandra , coord. II. Derguy, María Rosa , coord. III. Lamaro, Anabel, coord. IV. Varotto, Conrado F., prolog. V. Título.
CDD 384.51

Diseño de tapa: Dirección de Comunicación Visual de la UNLP

Universidad Nacional de La Plata – Editorial de la Universidad de La Plata
48 N.º 551-599 / La Plata B1900AMX / Buenos Aires, Argentina
+54 221 644 7150
edulp.editorial@gmail.com
www.editorial.unlp.edu.ar

Edulp integra la Red de Editoriales Universitarias Nacionales (REUN)

Primera edición, 2025
ISBN 978-950-34-2549-7
© 2025 - Edulp

n
naturales


EDITORIAL DE LA UNLP



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA