

# ¿CÓMO LLEGA EL AGUA AL ESPACIO?

**DRA. SANDRA TORRUSIO**

**DOCENTE INVESTIGADORA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS  
NATURALES Y MUESO - UNLP**



## INTRODUCCIÓN

La nieve, el hielo, el agua dulce, el agua de mar, las nubes, además de tener en común su fórmula química, H<sub>2</sub>O, son distintas formas y estados de una misma materia que puede ser observada por sensores específicos a bordo de plataformas satelitales que orbitan a cientos o miles de kilómetros de la Tierra. Desde la década del 70 estos satélites nos brindan datos, productos derivados, información sobre el agua, su evolución, su dinámica, su composición, su distribución sobre la superficie, sus cambios espacio-temporales.

Así podemos observar desde el desplazamiento de un témpano en la Antártida y seguir su trayectoria, hasta ver la afectación por inundaciones cubriendo miles de hectáreas productivas o afectando ciudades enteras. Monitorear la calidad de agua que será potabilizada para nuestro consumo o que tendrá un uso recreativo en costas marinas o ribereñas. Dar soporte a la vigilancia, búsqueda y rescate en el mar, inventariar glaciares, periglaciares y humedales velando por la biodiversidad y el manejo racional de los recursos pesqueros, dar alertas por potenciales eventos de mareas rojas que además de impactar en la acuicultura artesanal tie-

ne un alto efecto en la salud humana y en la fauna marina, estudiar si el balance hídrico y la humedad del suelo son adecuados en comunidades vegetales tanto nativas como para la producción agropecuaria, y el monitoreo de derrames de hidrocarburos en el mar, son solo algunas de las capacidades más destacadas, procesamiento mediante, que las imágenes satelitales tienen. Ellas pueden facilitar la toma de decisiones y brindar respuestas muchas veces más robustas en la actualidad contemplando escenarios pasados y modelando los futuros.

### ¿CÓMO LLEGAMOS ENTONCES A ESAS IMÁGENES SATELITALES QUE APORTAN TANTO A LA PROBLEMÁTICA DEL AGUA?

La respuesta está en la energía electromagnética ya sea reflejada o emitida por la superficie terrestre a partir de la iluminación del Sol (en satélites ópticos, pasivos) o aquella proveniente de los propios sensores satelitales conocidos como activos (un ejemplo de ellos es el radar) que iluminan la superficie y esperan su eco para generar la imagen que llegará al usuario final. En la Fig.1 se resumen los componentes principales de un sistema de teledetección espacial. El agua líquida en particular, según sus pro-

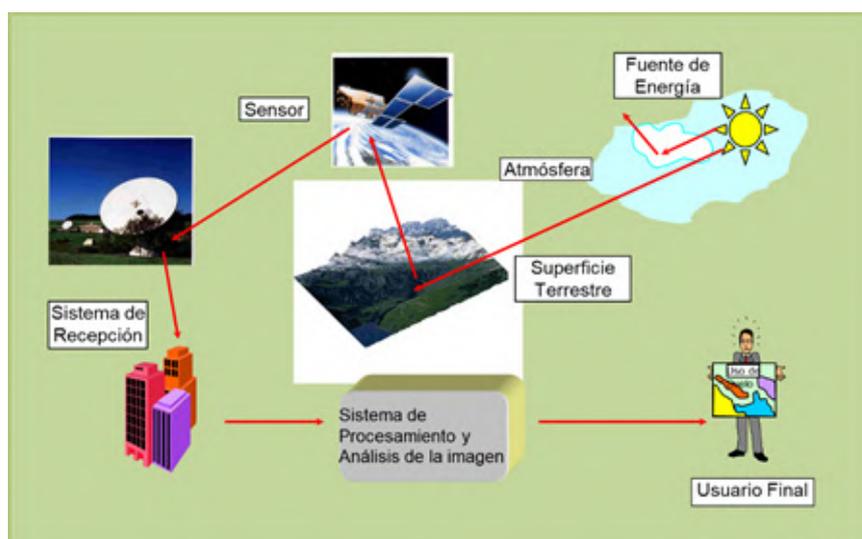


Fig. 1. Componentes de un Sistema de teledetección espacial

propiedades bio-ópticas, su calidad y composición, va a reflejar más energía principalmente en los rangos visibles (azul, verde y rojo) del espectro electromagnético (EE), en un porcentaje menor al 10% de la energía que recibe del Sol, a diferencia de otras coberturas como vegetación, suelos, nieve, etc. que superan el 30% o 40 % o más. En la Figura 2 se pueden observar las firmas espectrales (% de energía reflejada por las coberturas a lo largo del espectro electromagnético entre las longitudes de onda del visible y de los infrarrojos reflexivos) de las principales cubiertas terrestres. Es por esa razón que los sensores que “miran” el agua deben tener una mayor sensibilidad para captar lo reflejado (resolución espectral y radiométrica) y que además puedan separarlo del ruido que le produce la atmósfera cuando esa energía la atraviesa, tanto en su camino desde la fuente (el Sol) al blanco como del blanco al satélite. Es un sistema bastante complejo donde confluyen fenómenos de dispersión variada, según los componentes atmosféricos y las longitudes de onda, y emisiones atmosféricas al tratarse de sensores térmicos que pueden brindarnos, por ejemplo, la temperatura superficial del mar o de la tierra, o anomalías térmicas muchas veces asociadas a incendios.

Volviendo a los satélites vale la pena recordar que tenemos aquellos que orbitan alrededor de la Tierra a una altura que oscila entre los 500 km y 800 km, la mayoría de las plataformas de observación de la Tierra (EO, Earth Observation) se encuentran a esa altura, describiendo una órbita circular, heliosincrónica (sincronizada con el Sol) pasando casi por los polos. Estos son los llamados satélites de órbita baja, LEO (Low Orbit Earth). Los satélites de navegación conocidos como GNSS (Global Navigation Satellite System) como las constelaciones de GPS (EEUU), GALILEO (EU), BEIDOU (China), GLONASS (Rusia) lo hacen en órbitas medias (MEO) entre 5.000 km y 25.000 km de la superficie terrestre, y los más alejados, los GEO, son los de órbitas geoestacionarias que siempre “miran” la misma región del planeta, acompañándolo en su movimiento de rotación y se ubican a unos 36.000 km de distancia. Ejemplos de estos últimos son los satélites de comunicaciones (ejemplo los ARSAT) y los meteorológicos (serie GOES). Estas diferencias traen consigo (además de las particularidades de los sensores propiamente dichos) impacto en la resolución espacial (léase el detalle observable en el terreno) y en la resolución temporal (es decir con qué frecuencia se observa el mismo

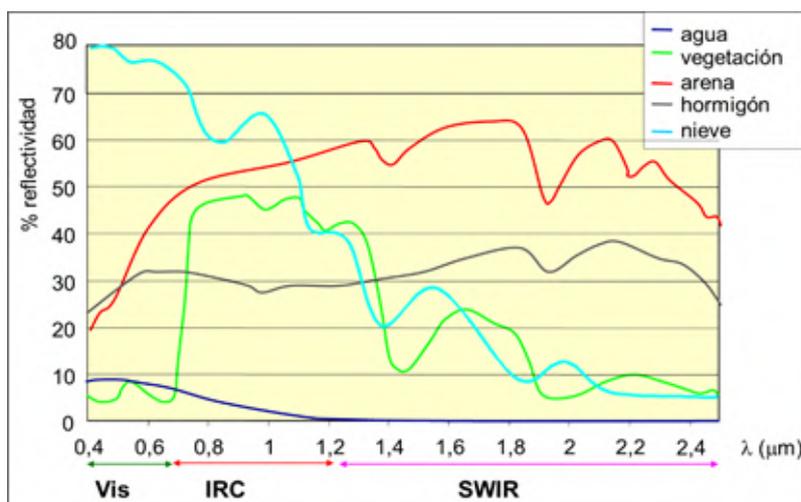


Fig. 2: Firmas espectrales de las coberturas terrestres más típicas

sector de la Tierra). Y esa relación entre lo espacial y lo temporal suele ser inversa entre los satélites LEO y GEO.

Actualmente hay misiones geoestacionarias que pueden brindar datos e información cada cinco o diez minutos, pero con baja resolución espacial, siendo extremadamente útiles para observar fenómenos meteorológicos que se desarrollan de forma rápida ocupando grandes extensiones. Mientras las misiones LEO hoy pueden proporcionar hasta datos submétricos (del orden de decenas de centímetros), pero más espaciados en el tiempo, problema que se resuelve a través del armado de constelaciones (es decir grupos de satélites similares o idénticos) que aumentan la frecuencia de mirada de un mismo lugar y con iguales características de adquisición.

Ubicado ya el lector en estos fundamentos básicos de la teledetección o teleobservación satelital veamos cómo ha sido brevemente la historia de estas tecnologías en nuestro país y en el mundo enfocándonos en la observación del agua desde el espacio.

## LA OBSERVACIÓN DEL AGUA DESDE EL ESPACIO EN ARGENTINA

La primera misión satelital operativa de observación de la Tierra de nuestro país fue el SAC-C (Satélite de Aplicaciones Científicas – C), desarrollada por la CONAE (Comisión Nacional de Actividades Espaciales, Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación) teniendo como socio principal a la NASA (EEUU) que aportó el lanzamiento aquel 21 de noviembre del año 2000 desde Vandenberg. Se sumaron también, con distintas cargas útiles y apoyo, otras agencias espaciales como la de Italia (ASI), Francia (CNES), Brasil (AEB/INPE) y Dinamarca (DSRI), siendo un gran ejemplo de cooperación internacional. <https://www.argentina.gob.ar/ciencia/conae/misiones-satelitales/sac-c>.

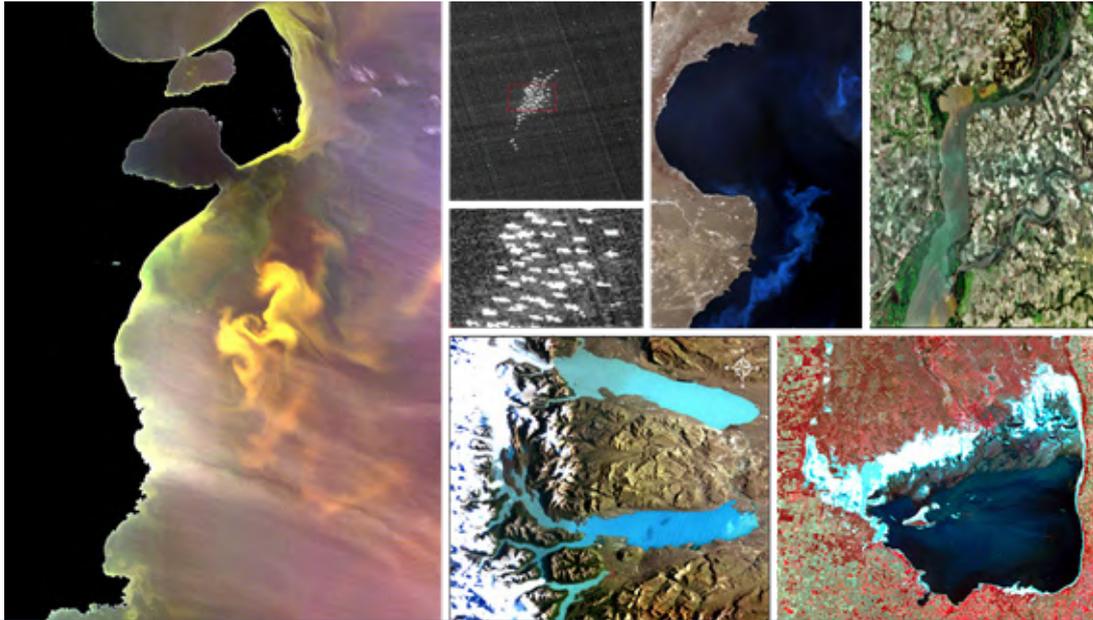
Le siguió al SAC-A (1998) y SAC-B (1996) que fueron de desarrollo tecnológico también acompañados por la NASA. El SAC-C,

considerando sus sensores de EO, fue un satélite óptico, multiespectral, pasivo, de resolución espacial media (175m su cámara multiespectral), con una revisita de 9 días y con una órbita casi polar heliosincrónica a unos 705 km de altura.

Sus instrumentos, principalmente los sensores multiespectrales, pancromáticos y de alta sensibilidad, brindaron información hasta mediados de 2013 (superando ampliamente su vida útil, estimada en cinco años), para aplicaciones tales como agropecuarias, emergencias naturales (inundaciones, sequías, incendios, erupciones volcánicas), calidad de aguas continentales, costeras y marinas, vigilancia del mar, (en especial el monitoreo de buques poteros utilizados para pesca del calamar, gracias a su cámara de alta sensibilidad que detectaba la luz de estos barcos durante la noche mientras pescaban), forestales, geológicas, entre muchas otras (Figura 3). Toda esta información estuvo (y sigue estando como datos históricos) disponible para múltiples organismos públicos, para el sector científico-académico y educativo.

La carga útil del SAC-C estuvo formada por 9 instrumentos, de los cuales tres fueron cámaras ópticas desarrolladas en el país para la observación de la Tierra, y un sistema colector de datos también nacional:

- La cámara multiespectral (MMRS, Multispectral Medium Resolution Sensor) con sensores en rangos del visible (azul, verde y rojo) y dos bandas en el infrarrojo (cercano y medio), con 175 m de pixel, y un ancho de barrido de 360 km.
- La cámara pancromática (400-900 nm) (HRTC, High Resolution Technological Camera) con 35 m de pixel y 90 km de ancho de barrido.
- La cámara de alta sensibilidad (450-850 nm) (HSTC, High Sensitivity Technological Camera) con 300 m de pixel, y 700 km de ancho de barrido.
- El colector de datos (DCS, Data Collection System) que permitía recibir datos in



*Fig. 3. Ejemplos de imágenes multispectrales (sensor MMRS) y de alta sensibilidad (sensor HSTC) de la Misión SAC-C entre los años 2005 y 2009: Floraciones algales en el Mar Argentino (izquierda y arriba centro), Vigilancia de buques poteros en el límite de la zona económica exclusiva (en blanco y negro, arriba centro, HSTC), Sedimentos en el Río Uruguay (derecha arriba), Sequía en Laguna Mar Chiquita (prov. Córdoba) (abajo derecha), Nieve, glaciares y lagos patagónicos (abajo centro). (Imágenes SAC-C provistas por CONAE).*

situ proveniente de plataformas en terreno (transponder de mensajes), desarrollado por la UNLP, compatible con el sistema ARGOS de la NOAA.

Los restantes instrumentos fueron desarrollados por las agencias internacionales mencionadas más arriba y estuvieron enfocados en el espacio exterior y en desarrollos tecnológicos específicos.

La construcción de la plataforma de servicios, que alcanzó unos 400 kg de peso en total, estuvo a cargo de la empresa de base tecnológica INVAP SE.

Una atención especial merece la siguiente misión argentina desarrollada también por la CONAE: el **SAC-D AQUARIUS** que, al igual que su predecesor, fue el resultado de una muy importante colaboración internacional (NASA, ASI, CNES, AEB/INPE, CSA (Canadá)), destacándose además la clave participación del sistema científico tecnológico nacional y empresas de base tecnológica de nuestro país. Se trató de un verdadero

observatorio para el Océano, el Clima y el Ambiente. Fue lanzado por la NASA el 10 de junio de 2011 desde Vandenberg, y estuvo operativo hasta 2015. De órbita casi polar heliosincrónica (657 km), sensor pasivo, alcanzó los 1600kg de peso. <https://www.argentina.gob.ar/ciencia/conae/misiones-espaciales/sac-d>.

Llevó a bordo un conjunto de instrumentos pensados, en su mayoría para el mar. La carga principal fue el instrumento **AQUARIUS** de la NASA, primero en su tipo para estimar la **salinidad superficial de los océanos (SSS)** a partir de la emisión natural de microondas de parte de la superficie del mar (en banda L, frecuencia 1.4 GHz, con tres haces paralelos cross-track de 76 km x 94 km, 84 km x 120 km, 96 km x 156 km, y co-alineado con un escaterómetro de 1.26 GHz; ambos polarimétricos). La resolución espacial era de 100 km y el ancho de barrido de 390 km. Sus aportes fueron claves para incrementar los conocimientos sobre las variaciones en el ciclo del agua que afectan la salinidad su-

perficial del mar en un escenario de cambio climático como el actual. En la Figura 4 se observa el efecto del ciclo del agua sobre la salinidad del mar, donde se destaca que una mayor evaporación y el congelamiento del agua producen un aumento de la salinidad oceánica, mientras que los aumentos de precipitaciones, del flujo de agua subterránea y superficial de los continentes hacia el mar, y del derretimiento de los hielos producen su disminución. Estos cambios impactan directamente en el clima ya que el vínculo océano-atmósfera es el que lo condiciona. A partir de los datos colectados semanalmente por AQUARIUS fue posible integrar el

mapa global de la SSS, la Figura 5 muestra el primero de una larga serie, conformado en 2011 a pocos meses de su lanzamiento. Donde se pudo validar junto a trabajos de campo que las zonas de mayor salinidad se encuentran en las zonas tropicales de los océanos Atlántico y Pacífico, y en el mar Mediterráneo (tonos rojizos-anaranjados), mientras aquellas de valores más bajos se encuentran circundantes a los polos y en regiones monzónicas en el Indico (tonos azules-violáceos). Se destaca en la figura el aporte de agua dulce en los estuarios de los ríos Amazonas y de La Plata (plumas costeras violáceas).



Fig. 4. Efecto del ciclo del agua sobre la salinidad del océano (Fuente Misión SAC-D AQUARIUS)

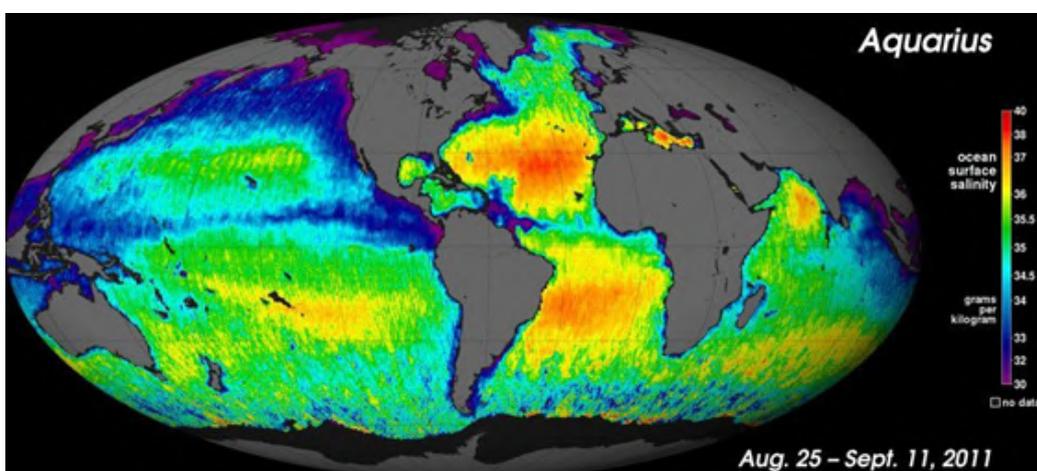


Fig. 5. Primer mapa global de la salinidad superficial del mar (SSS) a partir de datos del sensor AQUARIUS a bordo del SAC-D (medido en g/kg). (Fuente NASA)

Otros instrumentos de desarrollo nacional, y principalmente platenses, a bordo del SAC-D AQUARIUS fueron:

- El MWR (Micro Wave Radiometer) que trabajó con dos frecuencias en tres canales: 23.8 GHz, polarización vertical, y 36.5 GHz polarización vertical y horizontal, fue desarrollado junto al IAR (Instituto Argentino de Radioastronomía) y la Facultad de Ingeniería. Su resolución espacial fue de 50 km con 380 km de ancho de barrido. Permite estimar sobre el mar: lluvia y velocidad superficial del viento, vapor de agua, agua líquida en nubes y concentración de hielo marino, y sirvió como dato auxiliar para corregir adquisiciones de AQUARIUS.
- La NIRST (Near Infrared Sensor Technology, una cámara térmica) con tres bandas (3,8  $\mu\text{m}$ , 10,85  $\mu\text{m}$  y 11,85  $\mu\text{m}$ ) permitió estimar la temperatura superficial del mar (SST) y de la tierra (LST), y anomalías térmicas. Resolución espacial de 350 m y 180 km de ancho de barrido. Fue un trabajo colaborativo entre CONAE, CSA (Agencia Espacial de Canadá) y la UNLP.
- La cámara de alta sensibilidad (HSC, High Sensitivity Camera) fue la sucesora que estuvo en el SAC-C para la vigilancia del mar y luces urbanas. Con 200/300m de pixel y un barrido de 700km, pancromática (450-610 nm). Fue desarrollada por INVAP SE.
- El DCS (Data Collection System, 401.55 Mhz uplink), desarrollado por la Facultad de Ingeniería (UNLP), sucesor mejorado del que estuvo a bordo del SAC-C, recibió información de plataformas en el terreno desde varios lugares del país, incluyendo la Antártida (en colaboración con el IAA (Instituto Antártico Argentino)).
- El TDP (Technology Demonstration Package) desarrollado por el CIOP (Centro de Investigaciones ópticas/CIC-UNLP, para determinar posición, velocidad y tiempo; y determinación de velocidad angular inercial.

(Receptor GPS. Unidad de referencia inercial).

En la Figura 6 se muestran a fin de ejemplificar los principales productos satelitales derivados de la Misión SAC-D AQUARIUS: SSS (AQUARIUS), lluvia, viento, vapor de agua y hielo (MWR), SST (NIRST), de fondo en blanco negro imágenes de la HSC y NIRST.

La información provista por el SAC-D AQUARIUS dio lugar a la formación de un nutrido grupo de ciencia conformado por expertos/nacionales (IAFE, IADO, INIDEP, SMN, Universidades, etc.) e internacionales (NASA, CNES, ASI), dando lugar a encuentros de ciencia, publicaciones científicas, tesis doctorales y de maestría, y entrenamiento específico en el análisis de datos y productos que encontrarían cierta continuidad en las misiones argentinas que siguieron.

Actualmente Argentina, a través de la CONAE, tiene operativa la Misión **SAOCOM**, constelación formada por dos satélites idénticos (el 1A lanzado en 2018 y el 1B en 2020) desde EEUU. A diferencia de las misiones presentadas previamente estos satélites son activos con tecnología SAR (Synthetic Aperture Radar), trabajan en banda L polarimétrico, de órbita casi polar heliosincrónica (a 620 km de altura), casi único en su tipo. Es un proyecto en colaboración con la Agencia Espacial Italiana (ASI) e integra de manera operativa el SIASGE (Sistema Italo Argentino de Satélites para la Gestión de Emergencias) junto a cuatro satélites italianos COSMO Skymed (radares en banda X). También hubo participación de la UNLP, en particular del GEMA (Grupo de Ensayos Mecánicos Aplicados), para diseño, análisis y control de las antenas de ambos satélites. <https://www.argentina.gob.ar/ciencia/conae/misiones-espaciales/saocom>

La tecnología radar presenta muchas ventajas y se complementa mucho si los comparamos con los sensores ópticos. Permite tomar imágenes de día y de noche (ya que estos sensores tienen su propia fuente de energía y no dependen del Sol) y la nubosidad no los afecta ya que al trabajar en el sector de las microondas estas tienen una

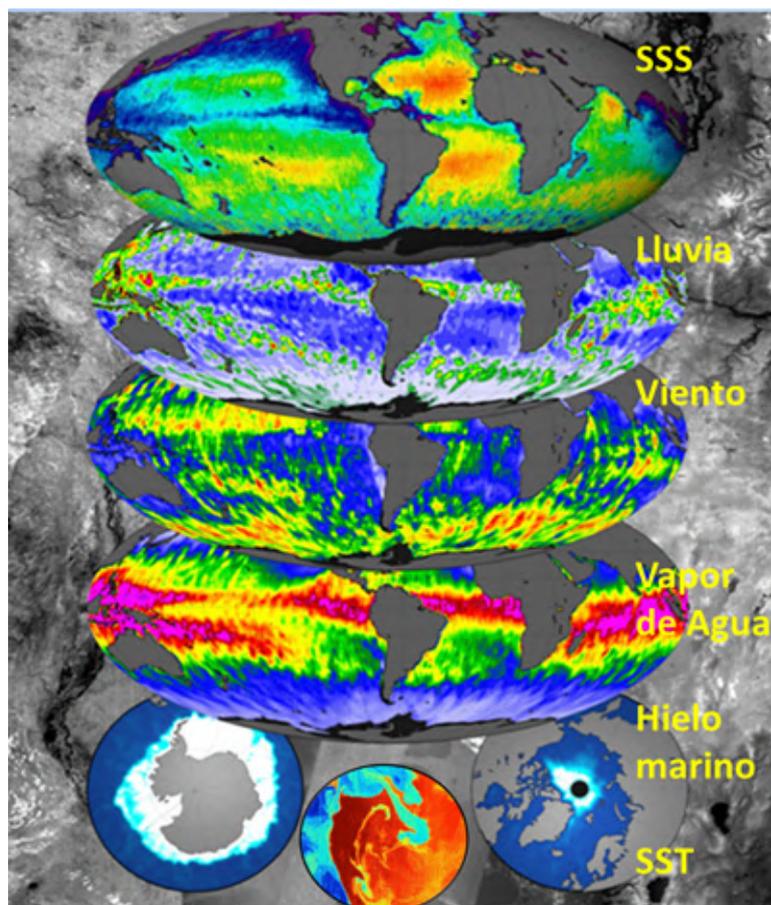


Fig.6. Ejemplos de productos derivados de los datos obtenidos por los diferentes instrumentos a bordo del SAC-D AQUARIUS (Fuente: Misión SAC-D AQUARIUS)

longitud de onda mayor que las partículas que forman las nubes y pueden atravesarlas. Son sensibles a la topografía y geometría de las cubiertas, así como a su contenido de agua (constante dieléctrica).

El objetivo principal de la Misión SAOCOM es la estimación de humedad de suelo, de suma utilidad para el sector agropecuario y las emergencias (inundaciones, sequías, deslizamientos, plagas), y se suman muchas otras aplicaciones como la detección de derrames de hidrocarburos y barcos en el mar o en ríos (Fig. 7), el estudio de glaciares, temáticas geológicas, y se destacan las aplicaciones interferométricas que permiten observar movimientos del terreno con gran detalle y precisión.

Finalmente, no podemos dejar de mencionar la misión **SABIAMar** que está en pleno desarrollo y avanzando, y pensada exclusivamente para el mar, las costas y las aguas

interiores, estudiando el color del mar. Contará con cámaras multiespectrales que llevan sensores en rangos específicos del EE para poder “mirar” el agua con muchos más detalles espectrales, y para corregir atmosféricamente las imágenes. Tendrá una resolución de 200 m para un escenario regional (Sudamérica) y de 800 m para un escenario global, con una revisita de 2 días. Lleva además instrumentos ya desarrollados para las misiones de la serie SAC, como un DCS, una HSC y una carga de desarrollo tecnológico (al estilo del TDP del SAC-D) que aseguran, una vez más, la participación activa de la UNLP en los desarrollos. Su puesta en órbita está prevista para el 2024. <https://www.argentina.gob.ar/ciencia/conae/misiones-espaciales/sabia-mar>.

Esta misión resultará en un importantísimo aporte a la iniciativa interministerial Pampa Azul que coordina el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación desde hace ya



Fig. 7. Imagen SAOCOM-1A del 29/01/2019 (Río de La Plata, costa de Berisso y Ensenada). Producto StripMap Dual Pol – Haz 2. Polarización VV-VH. Combinación de Falso Color. Pasada Descendente. Se destacan los barcos (puntos blancos) esperando la entrada al puerto (Fuente CONAE).

varios años centrada en articulación en la investigación científica, promoviendo el desarrollo tecnológico y la innovación para robustecer las políticas oceánicas nacionales. <https://www.pampazul.gov.ar/>. Se destaca también todo el aporte a los ODS.

## LA OBSERVACIÓN DEL AGUA DESDE EL ESPACIO EN EL MUNDO

Habría muchísimas páginas para llenar aquí con la historia de los sensores satelitales que han brindado datos, productos e información vinculados al agua, al menos desde la década del 70 hasta el presente. Hubo misiones geoestacionarias que aportaron a la meteorología y al clima (Ejemplo: la serie GOES (EEUU) que inicia en 1975 y llega hasta el presente, METEOSAT (Francia)), otras de órbita baja exclusivas para el mar y/o la tierra (Ejemplo: CZCS (1978), SeaWiFS (1997) (Fig.8), serie NOAA (inicio de los '70), SNPP), entre muchos otros. La mayoría de estos satélites fueron/son pasivos, ópticos, de resolución espacial baja o media (de 1km a cientos de metros de pixel) desarrollados por agencias como la NASA, la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Adminis-

tration de EEUU), la ESA (Agencia Espacial Europea), EUMETSAT (EU).

Otros satélites que, si bien no eran/son de uso exclusivo para el mar y aplicaciones para el agua, brindaban y brindan información sobre la Tierra (Ejemplos: serie Landsat (EEUU, desde 1972 a la fecha), Serie SPOT (Francia, desde 1986 a la fecha), serie ERS (ESA, 1991), Palsar (Japón, 2006), serie TerraSar-X (DLR, Alemania, 2007), Envisat (ESA, 2002), serie CBERS (Brasil/China, 1999), serie Radarsat (Canadá, desde 1995 a la fecha), serie ResourceSAT (India), serie Gaofen (China), Perusat (Perú). Son activos o pasivos, ópticos o radar, con resoluciones espaciales medias a altas (con pixeles desde decenas de metros a unos pocos), algunos marchan en solitario y otros en constelaciones, pero todos tiene en común el valioso aporte que hacen al conocimiento ambiental del planeta.

Vale la pena destacar y sumar a este listado de plataformas y sensores algunos ejemplos particulares. Por un lado, el caso especial de los satélites TERRA y AQUA (de EEUU) que están en órbita desde 1999 y 2002 respectivamente, con una revisita diaria, con distintos instrumentos a bordo, va-

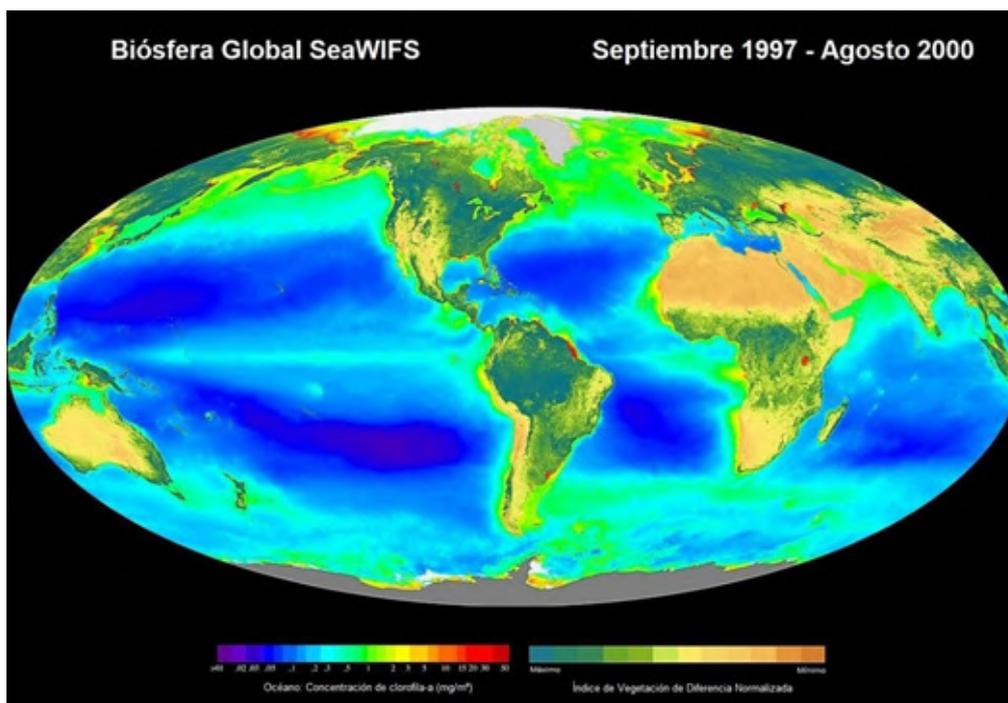


Fig. 8. Producto SeaWiFS: muestra la concentración promedio de clorofila (mg/m<sup>3</sup>) en el mar y el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) sobre la tierra (a partir de datos adquiridos entre septiembre de 1997 y agosto de 2000). Fuente: NASA

riadas resoluciones espaciales y generando distintos productos derivados para la tierra, el agua y la atmósfera que han permitido estudios multitemporales como no se habían tenido con anterioridad. Han sido testigos de eventos y fenómenos de todo tipo, han sido utilizados por generaciones de expertos y jóvenes científicos, siendo claves en los estudios sobre cambio climático tanto a escala global como regional. <https://terra.nasa.gov/> ; <https://aqua.nasa.gov/> ; <https://modis.gsfc.nasa.gov/> .

Por otro lado, un ejemplo más actual: el Programa COPERNICUS que es el Programa de Observación de la Tierra de la Unión Europea (cooperan la ESA, EUMETSAT y otras agencias) <https://www.copernicus.eu/es>. Esta iniciativa tiene un amplio alcance en beneficio de la sociedad, se basa en brindar servicios (de vigilancia ambiental, emergencias, seguridad) a partir de la información satelital de acceso abierto. Para ello desarrollaron constelaciones específicas: Sentinel 1 (radar, 2014), Sentinel 2 (óptico, 2015), Sentinel 3 (específico para el mar, 2016),

Sentinel 5 (específico para la atmósfera, 2017), y la lista continua bien nutrida para los años venideros.

### GALERÍA DE APLICACIONES DE LAS IMÁGENES SATELITALES QUE “ANALIZAN EL AGUA”

En la Fig. 9 se aprecian algunos fenómenos en cuerpos de agua continentales detectados con distintos tipos de sensores, resoluciones espaciales y espectrales, y diferentes procesamientos. Arriba a la izquierda se muestra la afectación por inundaciones (zonas negras) sobre áreas productivas en provincia de Buenos Aires durante un evento “El Niño” (imagen Landsat 5 TM, falso color, 1998); abajo a la izquierda es el drenaje del agua hacia el Bajo Maldonado en el partido de Berisso luego de la gran inundación de la ciudad de La Plata el 2 de abril de 2013 (imagen sensor ASTER a bordo de TERRA, combinación seudo color real, fuente NASA). En el centro arriba la costa del Río de La Plata, ciudades de Berisso, Ensenada y La Plata

antes del bloom (floración) de cianobacterias (Sentinel 2A, color real, 04 feb 2023, fuente Copernicus), centro abajo la misma zona que en Sentinel 2A, pero durante el bloom de cianobacterias (Spot 6 (distribuida por CONAE-AIRBUS), falso color, 09 feb 2023) con distintos procesamientos donde se ve en tonos grises, anaranjados, verdes y magentas en cada captura el bloom algal recostado sobre la costa. A la derecha de la figura se ve una porción del Embalse Salto Grande afectado por floraciones algales, en distintos tonos se ve la concentración de clorofila estimada a partir de datos SPOT 5 con validación a campo con datos limnológicos in situ y datos de radiómetro de campo (Drozd et al, 2014). Las floraciones mencionadas tienen un impacto directo sobre la salud.

Varias de las aplicaciones marinas más usuales de las imágenes satelitales se muestran la Fig. 10. En la parte superior se observan estimaciones de clorofila (izquierda) (más rojo más clorofila) y de temperatura superficial del mar (derecha) (colores más cálidos más temperatura) de la zona de los golfos norpatagónicos de la primavera del año 2022, a partir de datos Sentinel 3 sensor OLCI (sept.-oct. 2022, fuente Copernicus).

Este monitoreo satelital (Torrusio y Rivarossa, 2023) se realizó a raíz del bloom fitoplanctónico tóxico que afectó tanto a la acuicultura artesanal como la fauna marina (ballenas, lobos, pingüinos, entre otros) y ameritó la declaración de veda para el consumo de mariscos para prevenir afectaciones en la salud humana. En la parte inferior de la figura, a la izquierda se presenta una imagen del satélite SNPP/VIIRS (fuente NOAA), cámara de alta sensibilidad, donde se identifican los buques poteros tanto en aguas argentinas como sobre el límite de la milla 200 (zonas brillantes sobre el mar). En el centro se trata de una imagen AQUA/Modis y en celeste se aprecia el rastro de floraciones de cocolitofóridos a lo largo de la plataforma continental argentina. A la derecha arriba una porción de una imagen COSMO-Skymed (fuente CONAE, Proyecto Monitoreo de Derrames de Hidrocarburos) donde se identifica un derrame de hidrocarburo (mancha negra) y un barco en cercanía (punto brillante). Finalmente, en la parte inferior derecha se muestra la zona costera oriental de la isla de Tierra del Fuego donde se evidencian restingas cubiertas por macroalgas verdes y pardas (*Macrocystis pyrifera*, foto).

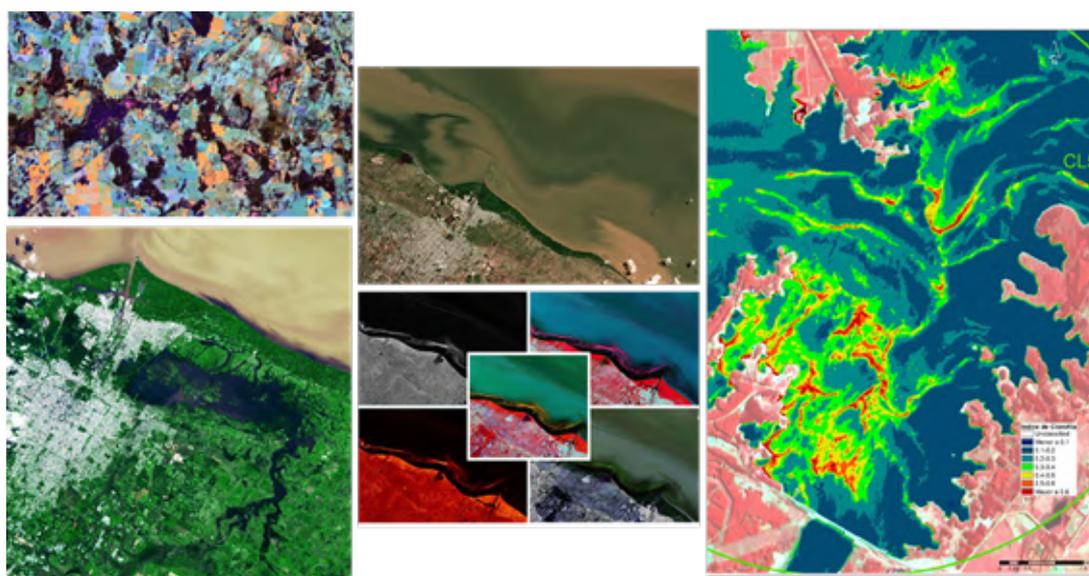


Fig. 9. Aplicaciones de imágenes satelitales ópticas sobre cuerpos de agua continentales y tierra. Ver detalles en el texto

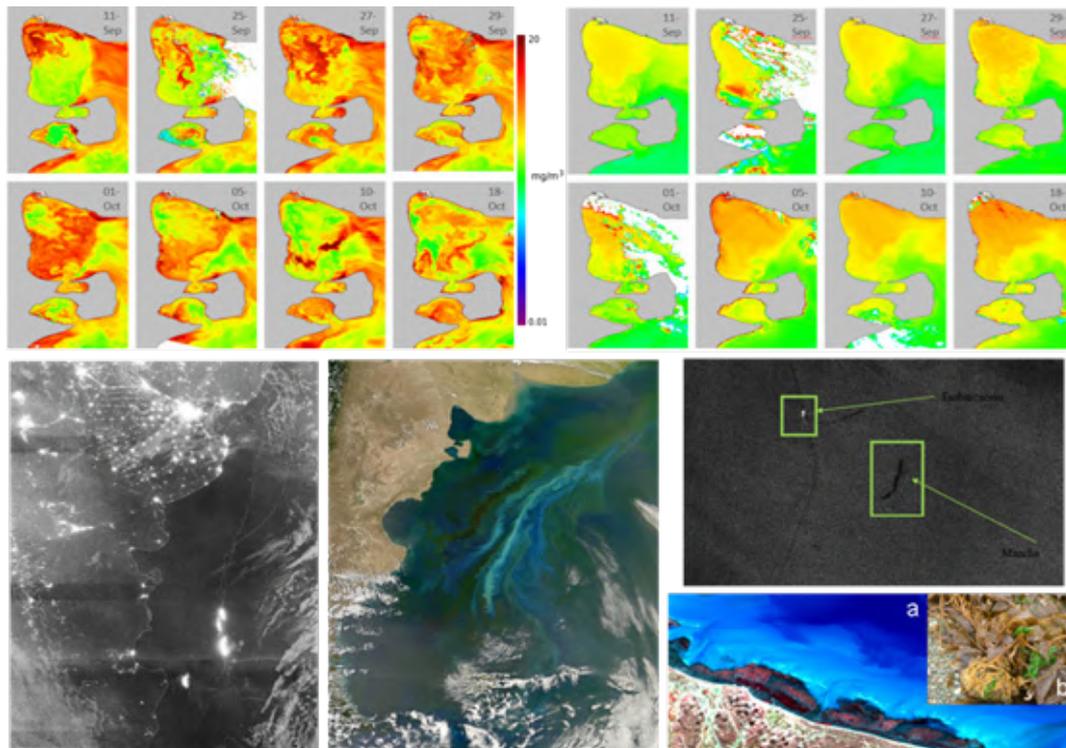


Fig. 10. Aplicaciones de imágenes satelitales en el mar y costa. Ver detalles en el texto.

## FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS ESPECIALIZADOS

El manejo de estas herramientas geomáticas aplicadas al ambiente, así como para promover el trabajo en ingeniería espacial, los desarrollos de sistemas informáticos, entre muchos otros aspectos que conforman el gran ecosistema de la tecnología espacial en sentido amplio, requieren un acompañamiento robusto en lo que a formación, capacitación y actualización se refiere de los especialistas en las distintas disciplinas. En esa línea la UNLP ofrece carreras de grado como ingeniería aeroespacial, y otras especializadas que también aplican, carreras de posgrado como por ejemplo la Maestría en Geomática (FI & FCAyG), asignaturas de grado y cursos de posgrado que brindan la Facultad de Ciencias Naturales y Museo (Sensores Remotos, SIG), y la FCAyG vinculados tanto la astronomía como la geodesia, disciplinas indispensables para estas tecnologías de punta.

En el país también se dictan materias, cursos y se investiga en estas temáticas en universidades como UNSAM, UNICEN, UNLu, UNQ, UNC, UNL, UNCom, Instituto Gulich (CONAE-UNC), Institutos y centros de CONICET, solo por mencionar algunos.

## BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

2009. Lamaro A., Torrusio S., Ulibarrena J, Mugni H. y Bonetto C. Mapping of Coastal Changes Applying Maps, Satellite Images and GIS in Samborombón Bay, Argentina. International Journal of Ecology & Development (IJED), special issue on Coastal Environment. Vol. 12, No. W09; 15-27.
2009. Torrusio S. Mapping of marine macrophytes (algae) in the atlantic coast of Tierra del Fuego (South extreme of Argentina) using remote sensing data. Capítulo 12, Pp.279-293. En: Remote Sensing and Geospatial Technologies for Coastal Ecosystem Assessment and Management. Editor: Xiaojun Yang. SPRINGER Book.
2010. D. M Le Vine, G.S.E. Lagerloef and S. Torrusio. Aquarius and Remote Sensing of Sea Surface Salinity from Space. Proceedings of the IEEE, mayo, vol.98(5). Pp688-703.
2013. Lamaro A. A., Mariñelarena A., Torrusio S., Sala S. Water surface temperature estimation from Landsat 7 ETM+ thermal infrared data using the generalized single-channel method: Case study of Embalse del Río Tercero (Córdoba, Argentina) Advances in Space Research 51 (2013) 492–500.
2014. Drozd A., Ibañez G., Bordet F., Torrusio S. Teledetección aplicada a la estimación de concentraciones de clorofila "a" y cyanobacterias en aguas hipertróficas del embalse Salto Grande, a partir de datos espectroradiométricos de alta resolución, datos SPOT HRVIR y Landsat ETM+. Revista "Programa Hidrológico Internacional para América Latina y el Caribe, Aqua-LAC". Presentado en el II Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras. 23 al 26 de septiembre. Santa Fé. ISBN 978-987-692-039-1
2019. Editora: A. V. Sastre. Autores: M. E. Ferrario, A. Lamaro, M. Ortega, L.B. Pérez, N. H. Santinelli, A.V. Sastre, M. E. Solís, S. E. Torrusio, Microalgas marinas tóxicas en aguas costeras de la provincia de Chubut. 2019. <http://www.fcn.unp.edu.ar/index.php/consejo-directivo/100-noticias/620-libro-de-especies-web-obra-de-especial-interes-para-colegas-y-estudiantes>
2021. Teleobservación aplicada al Monitoreo de calidad de aguas costeras. Búsqueda, visualización, descarga y procesamiento de imágenes satelitales. Instructivo de Trabajo (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca), Lamaro A., Ortega, M., Torrusio S. 36 pp.
- 2023: Third International Operational Satellite Oceanography Symposium, 12 al 15 de junio, Busan Korea del Sur. Use of Copernicus data for monitoring algae blooms in Argentina coasts (South Atlantic), Torrusio S. y Rivarossa M. [https://cdn.eventsforce.net/files/efxnn67yq56yly/website/41/day4\\_1\\_torrusio\\_use\\_of\\_copernicus\\_data\\_for\\_monitoring\\_algae\\_blooms\\_in\\_argentina\\_coasts\\_south\\_atlantic\\_ocean.pdf](https://cdn.eventsforce.net/files/efxnn67yq56yly/website/41/day4_1_torrusio_use_of_copernicus_data_for_monitoring_algae_blooms_in_argentina_coasts_south_atlantic_ocean.pdf)