



INDUSTRIA AEROESPACIAL / APLICACIONES SATELITALES



PIUBAD
PROGRAMA INTERDISCIPLINARIO
DE LA UBA SOBRE DESARROLLO

.UBA CONICET
Universidad de Buenos Aires
I I E P

.UBA AGRONOMÍA

.UBA fiuba
FACULTAD DE INGENIERÍA

.UBA INVESTIGACIÓN
Secretaría de Ciencia y Técnica

Con el apoyo de:

ARSAT

INVAP

CONAE



Ministerio de Ciencia,
Tecnología e Innovación
Argentina



Personal del Laboratorio de Integración y Ensayos (LIE) del Centro Espacial Teófilo Tabanera de la CONAE en Córdoba, en la sala anecoide junto a la antena radar del satélite de observación argentino SAOCOM 1B, finalizada su integración y ensayos en el mes de mayo de 2019 (desde allí el satélite fue transportado a Bariloche para su prueba completa, con la antena radar, la plataforma de servicios y los paneles solares, para luego partir al sitio de lanzamiento).

Crédito fotográfico: Lucas Vallorani / Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación



Introducción

Sobre el Proyecto Vectores

El Proyecto Vectores es una iniciativa interdisciplinaria surgida a partir de la cooperación de miembros de diversas unidades académicas de la UBA en torno al Programa Interdisciplinario de la UBA sobre Desarrollo, PIUBAD. Asimismo, resultan especialmente destacables en el desarrollo del vector Industria Aeroespacial / Aplicaciones Satelitales, los aportes de la Facultad de Ingeniería, la Facultad de Ciencias Económicas y la Facultad de Agronomía, las cuales facilitaron la participación de muy valiosos/as miembros de sus comunidades.

El objetivo del Proyecto Vectores es generar propuestas integradas de políticas públicas para el desarrollo de Argentina, que contribuyan a la transformación virtuosa de su estructura productiva -con especial atención a la mejora en las condiciones de cuidado del ambiente-, económica y social. Para ello, ordena su agenda de trabajo en torno a una serie de 12 temáticas estratégicas, denominadas vectores para señalar el objetivo de que puedan aportar dirección y sentido, además de magnitud, a dicha agenda. A continuación se presenta el listado completo de vectores que integran el proyecto¹, resaltando el correspondiente a la presente publicación:

1. Sistema Agroalimentario
2. Salud Pública²
3. Desarrollo Sustentable
4. Integración de Barrios Populares
- 5. Industria Aeroespacial / Aplicaciones Satelitales**
6. Industria Naval / Sistema Fluvial y Marítimo
7. Sistema Nuclear
8. Economía Popular, Social y Solidaria
9. Movilidad Eléctrica
10. Petróleo y Gas
11. Sistema Ferroviario
12. Tecnologías de la Información y la Comunicación

¹ Es importante señalar que, para el mejor cumplimiento de los objetivos del proyecto, la definición de vectores y de sus líneas de trabajo no tiene un carácter rígido, sino flexible y evolutivo. El listado que se presenta aquí corresponde a la estructura vigente al momento de la emisión del presente documento.

² Este muy importante vector se incorporó recientemente en reemplazo del vector Bioproductos, cuyos contenidos pasaron a formar parte del vector Desarrollo Sustentable.



Sobre la presente publicación

A través de esta publicación se busca lograr dos objetivos fundamentales para el fortalecimiento del vector Industria Aeroespacial / Aplicaciones Satelitales:

- a.** Realizar, por primera vez, una breve caracterización conceptual del vector así como de las diferentes líneas de trabajo que lo integran
- b.** Realizar, por primera vez, una reseña completa de lo realizado hasta el momento

Es de destacar, asimismo, que las citadas caracterizaciones y reseñas, además de constituirse como un valioso activo para el proyecto, resultan también significativas en cuanto su elaboración y validación en conjunto por parte del equipo interdisciplinario que compone al vector favoreció su consolidación y fortalecimiento, al promover la construcción de lenguajes comunes y la búsqueda de consensos, así como la generación y difusión de nuevo conocimiento. Por último, la presente publicación resulta valiosa por su aptitud para presentar en forma compacta y resumida información básica sobre el vector, lo cual facilita y permite potenciar la interacción con otros grupos que desarrollan actividades de interés para el sistema aeroespacial argentino, así como con organismos públicos encargados del diseño e implementación de políticas públicas relacionadas con éste.





Industria aeroespacial / Aplicaciones satelitales

*Pascuini, Paulo*³

La industria espacial⁴ es uno de los pocos sectores de alta tecnología en donde la Argentina ha generado capacidades de innovación propias y ha alcanzado un nivel relevante de reconocimiento internacional. Esta acumulación de capacidades es resultado de un proceso de más de dos décadas a lo largo de las cuales el país fue capaz de diseñar y poner en órbita diferentes satélites tanto de observación como de telecomunicaciones (López et al., 2017). La evolución reciente de la economía del espacio (OECD, 2012) en la Argentina se evidencia en una serie de hitos que marcaron una trayectoria ascendente en la acumulación de capacidades tecnológicas (López et al., 2018). El primer lanzamiento de un satélite con fines científicos (SAC-B) ocurrió en 1996 y estuvo a cargo de la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE), que al momento ha concluido otras 3 misiones satelitales (SAC-A, C y D, todas ellas en cooperación con la NASA) y hasta mediados del 2021 cuenta con otras dos misiones activas. En efecto, en octubre de 2018 y en agosto de 2020 se lanzaron los satélites de observación de la Tierra SAOCOM 1A y 1B respectivamente⁵.

En el ámbito de las telecomunicaciones satelitales, como sucesora de la empresa privada Nahuelsat, en 2006 se creó la empresa ARSAT cuya participación accionaria (tras varios cambios en la estructura de ministerios de la Nación en los últimos años) a principios de 2021 se encuentra en manos de la Secretaría de Innovación Pública, dependiente de la

Jefatura de Gabinete, y del Ministerio de Economía. Esta empresa fue constituida con el objetivo de diseñar, desarrollar, lanzar y explotar el uso de satélites geoestacionarios de telecomunicaciones. Si bien la fabricación y el lanzamiento de satélites están comprendidos dentro de sus objetivos, ARSAT pertenece principalmente al eslabón de operadores dentro de la cadena de valor de la economía del espacio. En este eslabón la empresa abastece con capacidad satelital a proveedores de servicios de información, quienes la transforman en servicios que satisfacen las necesidades de telecomunicación de sus respectivos clientes. ARSAT participó, en conjunto con INVAP (propiedad de la provincia de Río Negro), en el desarrollo de los satélites geoestacionarios de telecomunicaciones ARSAT 1 y 2, que se encuentran actualmente en órbita. A partir de la Ley de Desarrollo de la Industria Satelital sancionada en el 2015 se programó la construcción y lanzamiento de otros 8 satélites geoestacionarios hasta el 2030, tres de los cuales debían haberse lanzado antes de 2021 (Pascuini, 2020). El lanzamiento del ARSAT 1 en 2015 situó a la Argentina dentro del reducido grupo de 8 actores⁶ con capacidades suficientes para construir localmente satélites geoestacionarios de telecomunicaciones, y a través del proyecto Tronador⁷ o del Vehículo Lanzador Espacial (VLE) anunciado por la CONAE en julio de 2020, el país busca incorporarse a la lista de 10 actores⁸ con capacidades para desarrollar y fabricar vehículos de lanzamiento.

³ Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Económicas/CONICET. Instituto Interdisciplinario de Economía Política de Buenos Aires (IIEP-BAIRES). Buenos Aires, Argentina. Se agradece la colaboración de Valentín Álvarez.

⁴ El trabajo en torno a la industria aeronáutica, comprendida conceptualmente en este vector, será desarrollado en una instancia posterior en el Proyecto Vectores.

⁵ Sobre los planes para darle continuidad a la serie SAOCOM, puede consultarse el siguiente enlace: <https://www.argentina.gob.ar/noticias/la-conae-busca-ampliar-la-familia-saocom>.



En la medida en que la industria espacial contribuye a la generación de capital humano calificado y puede desarrollar encadenamientos con proveedores, socios y clientes, se siembra la semilla de posibles derrames tecnológicos que beneficien a la competitividad de otros sectores (ver sub-sección Industria Espacial), además de habilitar la emergencia de negocios basados en los servicios satelitales, asociados al uso de imágenes (ver sub-sección Aplicaciones Satelitales), la provisión de telecomunicaciones, etc. Aguas debajo del operador satelital (e.g. ARSAT) coexisten: (i) proveedores de servicios de información e integradores; y (ii) proveedores minoristas. En el segmento de telecomunicaciones satelitales, los proveedores de servicios de información agregan valor a la capacidad satelital provista por los operadores como ARSAT mediante equipamiento satelital terrestre (hubs, antenas master, RF, antenas VSAT y módems VSAT). En la Argentina, por ejemplo, existen aproximadamente 18 proveedores privados, tanto nacionales como extranjeros, que brindan servicios de información en las telecomunicaciones satelitales (e.g. Telespazio, Servicio Satelital). Además existe una gran cantidad de empresas privadas que, sin contar con infraestructura propia, agregan valor en la instalación, el mantenimiento y otras actividades. Por ejemplo, proveen servicios de instalación y mantenimiento de antenas, montaje de mástiles, instalación de radio enlaces para la transmisión de datos, telefonía e internet, e instalaciones de sistemas de alimentación ininterrumpida (UPS) y rectificadores.

Bibliografía

López, A.; Pascuini, P.; y Alvarez, V. Integración local y derrames tecnológicos en el sector espacial argentino: situación y potencialidades. Documentos de Trabajo del CCE N° 8, mayo de 2021, Consejo para el Cambio Estructural - Ministerio de Desarrollo Productivo de la Nación.

López, A., Pascuini, P., & Ramos, A. (2018). Climbing the Space Technology Ladder in the South: the case of Argentina, *Space Policy*, 46, 53-63.

López, A., Pascuini, P., y Ramos, A. (2017). Al infinito y más allá: una exploración sobre la economía del espacio en la Argentina. Serie Documentos de Trabajo del IIEP N° 17, 1-61

OECD (2012). *OECD Handbook on Measuring the Space Economy*. París: OECD Publishing.

Pascuini, P. (2020). De la acumulación de capacidades tecnológicas a la planificación geoestacionaria en la Argentina. *Ciencia y poder aéreo*, 15(2), 53-67.



⁶ Argentina, China, Estados Unidos, India, Israel, Japón, Rusia, y la Unión Europea. Se espera que este grupo se amplíe próximamente, en la medida que otros actores avanzan en la curva de aprendizaje tecnológico. Por ejemplo, se proyecta que Turquía lance en 2022 su satélite GEO Türksat-6A construido localmente.

⁷ Para más detalle, ver <https://www.argentina.gob.ar/ciencia/conae/acceso-al-espacio/tronador>

⁸ China, Corea del Norte, Corea del Sur, Estados Unidos, la Unión Europea, India, Irán, Israel, Japón y Rusia.



Industria espacial

Pascuini, Paulo

La industria espacial es uno de los pocos sectores La acumulación de capacidades tecnológicas previas que condujeron al surgimiento de la industria espacial se dio en dos sectores: la industria nuclear y la aeronáutica (López et al., 2018). El fin de la Segunda Guerra Mundial trajo consigo una importante inmigración de científicos entre los cuales se encontraba Ronald Richter. Richter presentó al presidente Juan Domingo Perón una propuesta para fabricar un reactor nuclear, cuyo desarrollo comenzó primero en Córdoba y luego en la isla Huemul (1949) ubicada en Río Negro. En mayo de 1950 se crea la Comisión Nacional de Energía Atómica, CNEA, con el objetivo de darle un marco administrativo al Proyecto Huemul (López Dávalos y Badino, 1994). El informe de una comisión en la que participó el físico José Antonio Balseiro demostraría que el proyecto de Richter carecía de fundamento científico llevándolo a su cancelación (1952), no obstante la CNEA decidió aprovechar las instalaciones e investigaciones ya comenzadas para continuar desarrollando la física nuclear. Con ese objetivo la CNEA fundó, junto a la Universidad de Cuyo, el Instituto de Física de San Carlos de Bariloche, donde Balseiro se desempeñaría como director (López Dávalos y Badino, 1994), y que en 1962 se convertiría en el Instituto Balseiro (IB). Egresados del instituto fundarían en 1972 el programa Investigación Aplicada, que en 1976 iniciaría actividades formalmente bajo el nombre de INVAP S.E. Hoy la empresa cuenta con capacidades para fabricar tanto reactores nucleares de investigación y para la producción de isótopos de uso medicinal, como satélites, radares y otros productos de alta tecnología.

Como resultado de la acumulación de capacidades tecnológicas iniciada con el Proyecto Huemul, la ciudad de Bariloche se constituyó como un valioso ecosistema científico y tecnológico (Pascuini, 2020), que al día de hoy atrae profesionales provenientes

de universidades a lo largo de todo el país. Muchos de ellos trabajan en una serie de spin-offs que emergieron de, por ejemplo, la CNEA, el Centro Atómico Bariloche (CAB), el IB, e INVAP. Algunos de estos spin-offs son de base tecnológica y están vinculados a los sectores nuclear, aeroespacial y de radares. Los encadenamientos productivos no han estado ausentes en esta serie de derrames tecnológicos. De hecho, el conocimiento acumulado permitió que ciertos proveedores de los actores centrales antes mencionados dieran el “salto” hacia nuevas actividades similares desde el punto de vista de su complejidad técnica. De la misma manera que INVAP a partir de la acumulación de capacidades en el área nuclear pudo desarrollar satélites, y a partir del desarrollo de satélites⁹ pudo desarrollar radares, otros subcontratistas de los proyectos satelitales pudieron desarrollar capacidades que les permitieron por ejemplo abastecer al sector de petróleo y gas en los desarrollos cercanos de Vaca Muerta.

Por otro lado, a fines de los '40 comenzó el desarrollo de autopropulsados en el Instituto Aeronáutico de la Fuerza Aérea Argentina y en 1960 se fundó la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales (CNIE), dependiente orgánicamente de esta misma fuerza. Durante las tres décadas en que estuvo en funcionamiento, la CNIE participó en el desarrollo de varios cohetes y en proyectos para el envío de seres vivos al espacio. El siguiente hito ineludible en esta historia se da a fines de los '70, cuando la Fuerza Aérea Argentina comienza a planificar el proyecto misilístico llamado Cóndor II, que fuera desactivado en 1991 debido a presiones internacionales. Con el cierre del programa también se disolvió la CNIE, dándole paso a la creación de la CONAE en 1991, organismo civil que heredó instalaciones y personal civil vinculado al proyecto Cóndor II. Previamente, en 1989, se realizó un acuerdo de cooperación tecnológica entre los Estados Unidos y la Argentina,

⁹En particular por su participación en el proyecto SAOCOM.



seguido por una gestión bilateral para llevar adelante la serie de satélites SAC en cooperación con la NASA. En ese momento la Secretaría de Ciencia y Tecnología encontró que la única empresa en el país que podría participar de esa iniciativa era INVAP, cuyos desarrollos en el área nuclear habían dado lugar a la generación de diversas capacidades requeridas para el ingreso al campo aeroespacial incluyendo: química orgánica e inorgánica; electrónica; desarrollo de software; proyectos de diseño mecánico; física; cálculo de estructuras y simulación; y garantía de calidad. Así es como confluye la acumulación de capacidades en las actividades previas de la Fuerza Aérea con la acumulación de capacidades en el área nuclear. Al igual que en Bariloche, la acumulación previa de capacidades derivó en procesos similares de vinculaciones productivas con empresas e instituciones tanto en Córdoba como en las ciudades de Buenos Aires y La Plata.

Más recientemente, en 1998 se crea la empresa VENG S.A., dedicada al desarrollo de medios de acceso al espacio y servicios de lanzamiento¹⁰. En los últimos años se han realizado diversos desarrollos y lanzamientos de prototipos a la vez que se han redefinido los planes en el terreno de medios de acceso al espacio. Tras la realización de varias demostraciones de la madurez tecnológica de los componentes de los subsistemas de propulsión, aviónica y estructuras necesarias para satisfacer los requerimientos del proyecto Tronador II, se dio paso al Tronador III, un proyecto que pretende mayor capacidad de carga útil y alcance. En julio de 2020 se presentó el Vehículo Lanzador Espacial (VLE), que constituye un paso intermedio en el desarrollo del lanzador Tronador III. Así, se espera que en tres años pueda realizarse un vuelo del VLE, y que en los dos años siguientes ocurra lo mismo con el Tronador III¹¹.

En la actualidad, entre los proyectos satelitales más relevantes de INVAP se encuentran la fabricación anunciada del tercer satélite de ARSAT¹², llamado ARSAT Segunda Generación 1 (ARSAT-SG1), a través de Gsatcom (una asociación con *Turkish Aerospace Industries*¹³ para el desarrollo y fabricación de satélites livianos de telecomunicaciones con propulsión eléctrica), y la participación en los

proyectos de satélites SARE y SABIA-Mar de la CONAE. La serie SARE está formada por satélites livianos de “arquitectura segmentada”, la cual consiste en el despliegue de una constelación de satélites (segmentos) que operados coordinadamente cumplen un objetivo común, como la conformación de una única imagen de alta resolución mediante cámaras ópticas de diversos satélites. SABIA-Mar, por su parte, es un satélite de observación de la Tierra con aplicaciones prioritarias en el estudio del mar y las costas, en el marco de un programa de cooperación entre la CONAE, la *Agencia Espacial Brasileña* (AEB) y el Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales de Brasil (INPE). El proyecto busca poner en órbita una constelación de dos satélites de observación de la Tierra que permitirá aportar datos sobre productividad primaria del mar, ecosistemas oceánicos y costeros, entre otros.

En el marco de un convenio de cooperación de la CONAE con la Agencia Espacial Italiana (ASI) se conforma el Sistema Ítalo Argentino de Satélites para la Gestión de Emergencias (SIASGE) que estará compuesto por cuatro satélites italianos y cuatro argentinos de los cuales ya se han lanzado los SAOCOM 1A y 1B en 2018 y 2020 respectivamente. El objetivo de los mismos es prevenir, monitorear, mitigar y evaluar catástrofes naturales o antrópicas, medir la humedad del suelo y prevenir y monitorear emergencias. Los satélites argentinos de 3.000 kilogramos llevan la antena de radar más grande puesta en un satélite en órbita con fines civiles. Este instrumento, técnicamente SAR banda L polarimétrico, permite proveer información de distintas zonas de la Tierra independientemente de las condiciones meteorológicas y la hora del día en tiempo real.

Por último, dentro del sector privado se destaca la empresa argentina *Satelllogic*, fundada en 2010, la cual hasta enero de 2021 había lanzado veintinueve satélites. *Satelllogic* cuenta con más de 200 empleados y tiene presencia en varios países (la I+D se hace en la Argentina, la integración en Uruguay, el desarrollo de software en Israel y España, el desarrollo de negocios en Estados Unidos donde además hay equipos de venta, al igual que en Colombia, Canadá e Israel). El desarrollo de los primeros dos nanosatélites fue

¹⁰ Además, VENG fue designada por la CONAE como responsable de la comercialización de productos SAOCOM, y actúa como brazo comercial de la agencia brindando servicios y productos al sector espacial y a otras industrias a partir del uso de infraestructura o capacidades de la CONAE.

¹¹ Lo aquí informado surge de un webinar organizado y transmitido por el Ministerio de Ciencia y Tecnología de la Provincia de Córdoba el 15 de Julio de 2020 donde personal de la CONAE presentó el VLE. Ver https://www.youtube.com/watch?v=eNSGyTCP1K0&feature=emb_logo

¹² Ver <https://www.arsat.com.ar/arsat-retoma-desarrollo-de-su-tercer-satelite>

¹³ Ver <https://www.gsatcom.com>



financiado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, y concebido, diseñado y producido por *Satellogic* en colaboración con INVAP (empresa que jugó un papel importante en la incubación de *Satellogic*). A principios de 2021 *Satellogic* anunció un acuerdo de servicios de lanzamiento múltiples con la empresa SpaceX, reemplazando a la Administración Espacial Nacional China (CNSA) como principal proveedor para futuros lanzamientos¹⁴. Según el comunicado de prensa en el que se anunció el acuerdo, *Satellogic* busca contar con una flota de 300 microsátélites en órbita para 2025.

La industria satelital es una de las pocas áreas de alta tecnología donde la Argentina tiene competencias reconocidas internacionalmente, algo que es resultado de un proceso de aprendizaje y desarrollo de capacidades llevado adelante a lo largo de varias décadas. Como puede observarse en la multiplicidad de actores en juego, este proceso ha dado lugar a un complejo ecosistema capaz de llevar a cabo proyectos de alta complejidad tecnológica, que además ha generado derrames tecnológicos y encadenamientos productivos a otros sectores. Preservar y promover estas capacidades es de gran importancia si se piensa en una agenda de desarrollo que habilite la emergencia de nuevas oportunidades en áreas similares.

Bibliografía

López Dávalos, A., y Badino, N. (1994). Antecedentes históricos del Instituto Balseiro. Recuperado el 7 de noviembre de 2019, de Instituto Balseiro: <https://www.ib.edu.ar/instituto-balseiro/antecedentes-del-ib.html>

López, A. & P. Pascuini (2018). Institucionalidad y cambio tecnológico en las telecomunicaciones satelitales argentinas. Serie de documentos de trabajo del IIEP N°30, 3-42.

Pascuini, P. (2020). Sistema de conocimiento en clústers de alta tecnología: el caso de Bariloche. Tesis de Maestría, UTDT.



¹⁴ Ver <https://www.businesswire.com/news/home/20210119005117/en/Satellogic-and-SpaceX-Announce-Multiple-Launch-Agreement>



Aplicaciones Satelitales

Telecomunicaciones¹⁵

Schmidberg, Eduardo¹⁶

Telecomunicaciones basadas en satélites geo-estacionarios

Los satélites geoestacionarios orbitan sobre el ecuador terrestre con la misma velocidad angular que la Tierra, por lo que permanecen inmóviles sobre un determinado punto sobre nuestro globo, facilitando su comunicación con las estaciones terrenas desde las cuales se los opera. Entre los servicios que pueden brindar se cuentan los de internet de banda ancha, televisión y telefonía celular.

En Argentina, se llevaron a cabo exitosamente dos misiones vinculadas a este tipo de tecnología, los satélites ARSAT-1 -lanzado al espacio en octubre de 2014- y ARSAT-2 -lanzado al espacio en septiembre de 2015-, ambos en servicio, y actualmente se avanza en el proyecto ARSAT-SG1 (ex ARSAT-3).

El ARSAT-SG1, basado en el desarrollo de la familia de satélites “Small GEO”, realizado por INVAP y Turkish Aerospace en el marco del joint venture GSATCOM, formado por ambas empresas. INVAP es el contratista principal, a cargo del diseño específico para esta misión y su construcción, y Turkish Aerospace participa como sub-contratista de INVAP. Será un satélite con una carga útil de alto rendimiento (High Throughput Satellite, HTS), y una plataforma que incorpora la propulsión eléctrica completa -la cual permite una importante reducción en la masa del satélite, otorgando mayor potencia y equipamiento a la carga útil para igual masa total-, que brindará banda ancha satelital (en banda Ka), aportando conectividad a todo el territorio nacional y países limítrofes como Chile, Paraguay y Bolivia.

El evento más importante y reciente -al momento de la redacción de este texto- en relación al desarrollo del ARSAT-SG1, es la finalización de la revisión

preliminar de su diseño, en la segunda semana de agosto de 2022, con lo que se espera que la revisión crítica del diseño (CDR, por sus siglas en inglés) se complete en 2023.

Telecomunicaciones basadas en satélites de órbita baja

La órbita terrestre baja (LEO, por sus siglas en inglés) tiene una altitud de 2000km (aproximadamente un tercio del radio de la Tierra), o menos, respecto de la superficie terrestre, y los satélites que operan en este rango de alturas suelen hacerlo en el marco de ‘constelaciones’, o, más recientemente, ‘enjambres’, que se conforman como plataformas integradas bajo el concepto de ‘arquitectura segmentada’. Actualmente la mayoría de los objetos artificiales en el espacio ultraterrestre (contabilizando también los que no cumplen funciones de telecomunicaciones) orbitan en este rango de alturas.

La ventajas que ofrece la órbita terrestre baja son, entre otras: el requerimiento de una menor cantidad de energía para la puesta en órbita de un satélite, la posibilidad de proporcionar un alto ancho de banda y una baja latencia de comunicación, la posibilidad de emplear amplificadores menos potentes para una transmisión exitosa, y ser más accesibles al servicio. Todos estos beneficios han dado lugar a la generación de iniciativas de telecomunicaciones basadas en constelaciones de satélites que operan en esta altura, siendo la del sistema telefónico ofrecido por la empresa Iridium Communications una de las más significativas. También resulta relevante como antecedente reciente de orden internacional, el despliegue alcanzado por la empresa SpaceX, que ya mantiene 700 satélites de órbita baja en el espacio, con el potencial de convertirse en la red de internet de banda ancha más poderosa del mundo.

¹⁵ Esta muy importante dimensión de las aplicaciones satelitales fue incorporada más recientemente al desarrollo de este vector, por lo que su desarrollo conceptual en esta publicación es menos profundo en relación a otras aplicaciones, esperándose poder enriquecerlo hacia el futuro a partir de la agenda prevista para el desarrollo de esta línea de trabajo.

¹⁶ Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ingeniería. Departamento de Electrónica. Buenos Aires, Argentina.



En lo que respecta al plano nacional, se destaca la empresa Satellogic, la cual se dedica al desarrollo de una plataforma de satélites de tamaño pequeño en la órbita terrestre baja, aunque no se focaliza hasta el momento en servicios de telecomunicaciones, sino de observación de la tierra. También, el anuncio por parte de la CONAE de la misión de demostración tecnológica denominada ALOFT (Autonomous LEO Formation Flying Technology), la cual permitirá a nuestra agencia espacial avanzar en el dominio de las tecnologías asociadas al concepto de arquitectura segmentada, con el desarrollo de pequeños satélites que trabajan de manera colaborativa, comparten recursos y combinan datos de sus respectivos instrumentos, lo cual presenta un potencial significativo en lo que respecta a aplicaciones de observación de la Tierra, pero también eventualmente de telecomunicaciones.

En el plano académico nacional, se señala la actividad del Grupo de Redes Complejas y Comunicación de Datos, de la Facultad de Ingeniería UBA, el cual se encuentra trabajando en protocolos de enrutamiento alternativos para constelaciones de satélites o sistemas de satélite distribuido, en particular en torno al concepto de 'sistema de satélite federado', mediante el cual se han explorado los beneficios obtenibles a partir de compartir recursos disponibles y no utilizados entre satélites para maximizar la utilidad de estos sistemas, explorándose la posibilidad de desarrollar técnicas de comunicación entre satélites que sean robustas a las posibles interferencias generadas por otros satélites -uso eficiente del espectro entre emisores no coordinados-.





Estudio y cuidado del ambiente

Garbulsky, Martín^{17 18 19} ; Casadei, Paula²⁰

Los satélites de observación de la tierra proveen una gran cantidad de información de cómo la superficie terrestre refleja la radiación solar a lo largo de diferentes longitudes de onda. Por lo tanto se han convertido en una herramienta sumamente poderosa para la descripción de la estructura y el funcionamiento no solamente de los ecosistemas naturales sino también de los ecosistemas dominados por el hombre como son las ciudades y las áreas agropecuarias. Los sensores remotos permiten estudiar el comportamiento de la superficie terrestre en el espacio y el tiempo (Garbulsky et al. 2014) y supera limitaciones de accesibilidad a lugares de interés y con recursos escasos para relevamiento a campo. La cuantificación de los impactos humanos sobre la superficie terrestre es una de las principales preocupaciones de los científicos relacionados con el ambiente y por lo tanto, los datos satelitales contribuyen de manera absolutamente única en esta tarea.

Los datos satelitales son utilizados en aplicaciones ambientales en muy diversas formas, tanto para la observación de parámetros sobre superficies de tierra, como de agua o hielo e inclusive la atmósfera. La descripción y caracterización del uso del suelo y los cambios a lo largo del tiempo son una de las principales aplicaciones sobre la tierra. La cuantificación periódica de las superficies sembradas con diferentes cultivos y la deforestación son fundamentales para la elaboración de balances globales de gases de efecto invernadero por un lado, y también para los mercados globales de granos y oleaginosas. Respecto al monitoreo de cuerpos de agua continentales y océanos, las imágenes satelitales permiten conocer la fijación de carbono por parte de las algas, así como la temperatura del agua y su relación con el cambio global, entre otras aplicaciones. Relacionado con desastres ambientales sobre el agua, como los derrames de petróleo, las

imágenes satelitales son de fundamental importancia para determinar su ubicación, cuantificar su superficie y monitorear su desplazamiento. Finalmente, las imágenes satelitales han tenido un rol importante en la elaboración de inventarios a escala nacional de glaciares, así como el monitoreo de cuerpos de hielo como témpanos moviéndose en el océano. Todas estas aplicaciones son de singular importancia para monitorear el ambiente y la forma en que los seres humanos impactamos sobre diferentes ecosistemas. A modo de ejemplo, presentamos aquí sólo algunas de dichas aplicaciones, que fueron abordadas en la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires, en el marco de tesis de grado y de posgrado.

Estudio de áreas protegidas

Las series de imágenes de satélite que revisitan un punto de la tierra a lo largo del tiempo constituyen una excelente herramienta para analizar los cambios en diferentes aspectos de la estructura y funcionamiento de la vegetación. ¿Cómo podemos derivar situaciones de referencia para evaluar el impacto del cambio global en el funcionamiento del ecosistema terrestre? Las áreas protegidas (Parques Nacionales, principalmente) representan áreas relativamente no perturbadas por el hombre y brindan una oportunidad única para derivar situaciones de referencia para evaluar el impacto del cambio global en ecosistemas terrestres. Además, los atributos funcionales del ecosistema medidos mediante técnicas de teledetección pueden proporcionar una “moneda común” para la definición de condiciones de referencia en todas las regiones geográficas.

El índice espectral NDVI (por sus siglas en inglés, *Normalized Difference Vegetation Index*) calculado a partir de la reflectancia en las longitudes de onda de la porción del espectro del rojo y del infrarrojo cercano, es un estimador de la fracción de radiación

¹⁷ Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. Departamento de Producción Animal. Cátedra de Forrajicultura. Buenos Aires, Argentina.

¹⁸ Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. Instituto de Investigaciones Fisiológicas y Ecológicas Vinculadas a la Agricultura (IFEVA). Buenos Aires, Argentina.

¹⁹ CONICET – Universidad de Buenos Aires. Instituto de Investigaciones Fisiológicas y Ecológicas Vinculadas a la Agricultura (IFEVA). Buenos Aires, Argentina.

²⁰ Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. Departamento de Producción Animal. Cátedra de Forrajicultura. Buenos Aires, Argentina.



que la vegetación absorbe para su crecimiento. Por lo tanto, permite entender la forma en que el crecimiento de la vegetación varía en el espacio y en el tiempo, analizando, por ejemplo, los cambios en el promedio anual, la estacionalidad y la inestabilidad de la dinámica temporal (cambios abruptos) del NDVI. Un análisis en las áreas protegidas de Sudamérica y los parques nacionales de España mostraron tendencias significativas en la dinámica del NDVI que variaron en magnitud y sentido en función de su situación geopolítica y biogeográfica. Por otro lado, los parques naturales andaluces mostraron de qué manera diferentes manejos históricos han ocasionado una disminución en la estabilidad de la dinámica temporal del NDVI de determinados ecosistemas. En conjunto, estas evaluaciones revelan cómo las políticas de conservación de la biodiversidad en áreas protegidas no pueden basarse en situaciones estáticas o promedio, ya que el funcionamiento de sus ecosistemas varía en diferentes aspectos. Asimismo, estas aproximaciones proporcionan información valiosa para establecer prioridades en conservación, al ser capaces de responder a preguntas tales como ¿qué biomas, países o parques están sufriendo mayores cambios? o ¿qué medidas de manejo proporcionan mayor estabilidad al ecosistema?

Estudio de impactos derivados de la urbanización

La urbanización es una de las formas más extremas de cambios en el uso de la tierra y tiene impactos sobre el clima, el agua y la biodiversidad en grandes áreas en todo el planeta. En un trabajo reciente (Casadei et al. 2020) se cuantificaron las islas de calor urbano (ICU: diferencia en la temperatura entre el centro urbano y el entorno no urbanizado) y se relacionaron con características de las ciudades y su entorno a lo largo de gradientes ambientales de Argentina. Se analizaron 55 de las ciudades más grandes del país, ubicadas en 10 ecorregiones, mediante datos satelitales (MODIS) de temperatura de la superficie terrestre, albedo e índices de vegetación (NDVI) y de variables climáticas. La ICU diurna promedio anual de las ciudades argentinas para 2011-2015 fue $0,36 \pm 1,99^{\circ}\text{C}$ y la nocturna $1,68 \pm 0,61^{\circ}\text{C}$. Los principales controles de la intensidad de la ICU fueron el NDVI rural, precipitación y temperatura medias durante el día y, en menor medida, la diferencia del albedo durante la noche. Durante el día, algunas ciudades se comportaron como islas de frío urbano (IFU) asociadas a climas áridos o contextos agrícolas, mientras durante la noche todas las ciudades se comportaron como ICU. El efecto atemperador de la vegetación

urbana se identificó a partir de la diferencia de NDVI urbano y rural, pero no se observó una relación directa negativa de ICU con NDVI urbano.

Este análisis regional en la Argentina evidencia que, si bien el contexto de emplazamiento del área urbana resulta más importante por sobre el tipo de urbanización, es necesario un adecuado planeamiento territorial y luego tomar decisiones locales para desarrollar ciudades mejor diseñadas e intervenidas que podrían ser más eficientes en términos energéticos, para una efectiva mitigación del fenómeno ICU. Frente a la tendencia de aumento de población urbana será importante asegurar superficies que amortigüen la temperatura como cuerpos de agua o espacios verdes (tanto públicos, privados u otras tales como techos verdes), así como disminuir superficies impermeables. Los resultados de este trabajo proveen nuevos conocimientos sobre los controles de las ICU y permitiría generar estrategias de desarrollo urbano para mitigar los efectos de la urbanización y mejorar la calidad de vida de la población urbana.

Conclusiones

La teledetección es una herramienta que dentro de sus múltiples aplicaciones permite innumerables análisis relacionados con el ambiente. Las diferentes plataformas satelitales y los diferentes sensores a bordo de ellas proveen muchos datos que son de enorme valor. Las series de datos temporales de muchos años aumentan la potencia de ver tendencias de largo plazo y de visitar lugares que serían imposible de hacer mediante otras aproximaciones metodológicas.

Bibliografía consultada

- Alcaraz Segura, D., G. Baldi, P. Durante y M.F. Garbulsky 2008. Análisis de la dinámica temporal del NDVI en áreas protegidas: tres casos de estudio a distintas escalas espaciales, temporales y de gestión. *Ecosistemas* 17 (3): 108-117.
- Casadei, P., M. Semmartin y M. Garbulsky 2021. Análisis regional de las islas de calor urbano en la Argentina. *Ecología Austral* 31:190-203.
- Garbulsky, M.F. and Paruelo, J.M., 2004. Remote sensing of protected areas to derive baseline vegetation functioning characteristics. *Journal of Vegetation Science* 15: 711-720.
- Garbulsky M.F., I. Filella, A. Verger, & J. Peñuelas. 2014. Photosynthetic light use efficiency from satellite sensors: from global to Mediterranean vegetation. *Environmental and Experimental Botany* 103:3-11.





Producción agrícola

Garbulsky, Martín

La producción primaria de alimentos y fibras es la actividad humana que mayor superficie ocupa sobre la Tierra. Por lo tanto, tiene un enorme impacto sobre los intercambios de materia y energía entre la Tierra y la atmósfera. La captación de Carbono a través de la fotosíntesis es fundamental como regulador del CO₂ atmosférico y de los gases de efecto invernadero y por lo tanto es muy importante cuantificarla, no solo por su importancia en los procesos relacionados con la producción agropecuaria sino por sus implicancias en el cambio climático. Los diferentes usos de la tierra, su superficie y las actividades y la forma en que se desarrollan determinan entonces la cantidad de alimentos y fibras y también la capacidad de amortiguar efectos antrópicos sobre la composición de la atmósfera.

En este contexto, la información provista por los sensores remotos en general, y los que se encuentran a bordo de satélites de órbitas bajas en particular, se ha convertido en una muy valiosa y poderosa herramienta para los agrónomos y los profesionales relacionados con la producción agropecuaria. Esta información permite estudiar el comportamiento de la superficie terrestre en el espacio y el tiempo (Garbulsky et al. 2014) y supera limitaciones de accesibilidad a lugares de interés y con recursos escasos para relevamiento a campo. La cuantificación del resultado de las actividades agropecuarias (superficies, rendimientos), la toma de decisiones durante los procesos productivos, son algunas de las problemáticas para las cuales los datos satelitales contribuyen de manera absolutamente única. El uso más frecuente de la información provista por sensores pasivos, aquellos que reciben la radiación solar reflejada por la superficie terrestre en diferentes longitudes de onda, suele ser la caracterización estructural del paisaje, mediante la interpretación visual de fotos aéreas e imágenes digitales y la clasificación digital de esas imágenes. Existen diferentes alternativas que permiten hacer usos más profundos e interesantes de los datos de teledetección, incluyendo esos datos en modelos matemáticos que permiten la descripción de procesos biofísicos. Los datos registrados por los sensores a

bordo de satélites de observación terrestre permiten, por ejemplo, la cuantificación de dos procesos funcionales fundamentales de los agroecosistemas: la productividad primaria (el balance entre la captación de Carbono por la vegetación y la respiración) y la evapotranspiración (el flujo de agua desde el suelo y la vegetación hacia la atmósfera, ambos flujos son claves como determinantes del rendimiento de los cultivos). Esto no se realiza directamente, sino sólo a través de esos modelos de estimación de la productividad primaria y de la evapotranspiración que aprovechan los datos ya sea de índices espectrales, canales térmicos y datos radar provistos por los sensores satelitales.

Existen muchas aplicaciones de los datos remotos para la agricultura y muchas otras aplicaciones potenciales pensando en el futuro. Muchas de estas aplicaciones se basan en la posibilidad de correlacionar los datos de detección remota con la ecofisiología de las plantas y los cambios edáficos. En el caso de los sensores pasivos, la fuente de energía medida es la luz solar reflejada. La radiación electromagnética emitida por el sol que se puede medir con sensores remotos va desde los rayos gamma de onda corta hasta las radiofrecuencias de onda larga. Para muchas de las aplicaciones agropecuarias, las bandas más interesantes se ubican en las regiones del espectro electromagnético del visible (440 nm - 690 nm) y del infrarrojo cercano (760 nm - 900 nm). Las superficies de los cultivos y el suelo absorben o reflejan las diferentes longitudes de onda debido a sus propiedades físicas y químicas. La clorofila, por ejemplo, absorbe más en la zona del azul (450-520 nm) y rojo (630-680 nm) y menos luz verde (520-600 nm). Esto da como resultado una mayor reflectancia en la banda verde y es la razón por la que las plantas parecen verdes para el ojo humano. En comparación con la luz visible, las plantas absorben mucha menos luz del infrarrojo cercano (NIR) y por lo tanto la reflectancia en el NIR aumenta a medida que aumenta la biomasa del cultivo. Comprender la relación de absorción y reflectancia en diferentes partes del espectro con propiedades biofísicas específicas en diferentes



cultivos (índice de área foliar, biomasa húmeda, seca biomasa, altura de la planta, contenido de nitrógeno de la planta y cobertura vegetal) proporciona una base para comprender el comportamiento de los cultivos en diferentes condiciones; la adquisición sistemática de datos espectrales a escalas local, regional y global provee una herramienta única para generar patrones y establecer un marco para el análisis estadístico y el estudio y manejo sistemáticos de la agricultura a través de datos.

En muchos casos, la información de diferentes longitudes de onda es muy útil para calcular índices espectrales que reflejan alguna característica particular de la vegetación. Así por ejemplo, la reflectancia de la luz visible y NIR de la vegetación constituye la base para el desarrollo de numerosos índices de vegetación. El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés) calculado a partir de la reflectancia en el rojo y NIR, es el más antiguo y más utilizado, y es un indicador de la cantidad y vigor de la vegetación. Otro índice como el NRI (Nitrogen Reflectance Index), calculado a partir de las reflectancias en el rojo y el verde, es un indicador de las deficiencias de nitrógeno en los cultivos. La cantidad y diversidad de aplicaciones de los datos satelitales en la producción agropecuaria, tanto los índices mencionados como los datos en los canales térmicos, son grandes y variadas. Algunas de esas aplicaciones directas sobre los cultivos y vegetación son:

- Mapeo de cultivos y monitoreo de superficies cultivadas
- Monitoreo del estado hídrico de los cultivos: sequía y riego
- Estimación y predicción de rendimientos de cultivos
- Monitoreo de residuos de cosecha
- Monitoreo de fuegos e incendios
- Evaluación de la producción de recursos forrajeros y su monitoreo

Estas aplicaciones apuntan a un monitoreo de cultivos y que puedan transmitir información ya sea a los productores o las diferentes máquinas que trabajan en el campo y que deben tomar decisiones de alta resolución para manejo de riego, fertilización y sanidad. La agricultura de precisión ha sido un área de investigación y aplicación en teledetección durante los últimos años. Para ello, es fundamental monitorear el estado nutricional y la sanidad de los cultivos con alta resolución espacial.

Otras aplicaciones relacionadas con las actividades agropecuarias son:

Logística de insumos y productos: el monitoreo diario de las actividades de siembra, fertilización y cosecha, por ejemplo, son de singular importancia para planificar la logística y transporte de insumos y productos. Los movimientos de fertilizantes como la roca fosfórica o la urea son largos, costosos y si no se organizan de forma adecuada implican altos costos financieros y de almacenamiento. De la misma forma, en el momento de la cosecha se necesita alta capacidad de traslado y acopio para los productos que se generan simultáneamente en grandes áreas. Incluso, la cuantificación del almacenamiento en los llamados “silo bolsa” puede ser realizada a partir de datos satelitales. Los datos oportunos y precisos para esta organización pueden ayudar a resolver los cuellos de botella logísticos para las empresas de agroquímicos y los acopios cerealeros, como son los puertos y vías de comunicación en general.

Seguros y aplicaciones fiscales: los diferentes tipos de daños producidos sobre los cultivos por ejemplo por granizo, sequía o inundaciones, pueden ser monitoreados y evaluados a partir de datos satelitales. La pérdida de biomasa producida por cualquiera de estas contingencias se refleja sobre los índices de vegetación. Por lo tanto, tanto las empresas aseguradoras como los productores agropecuarios asegurados pueden encontrar en las imágenes satelitales una herramienta para evaluar el daño y el riesgo, que por la extensión del siniestro es difícil de evaluar de otra forma. Por otro lado, las agencias fiscales estatales tienen en la información satelital una herramienta muy potente para evaluar la productividad de los suelos, el uso del suelo y el rendimiento de los cultivos. Tanto la aplicación de impuestos agrícolas como la asignación de subsidios.

Aplicaciones para el manejo de la ganadería: disponer de información acerca de la productividad de forraje, cuánto forraje disponemos y su distribución en el espacio y el tiempo, y de sus interacciones con las prácticas culturales o las variaciones climáticas es necesario para el diseño y monitoreo de un plan de manejo ganadero eficiente sin dañar el medio ambiente. En tal sentido, la teledetección proporciona datos únicos, y por lo tanto, permite caracterizar la producción de forraje con una extensión muy grande, mediante el análisis espacial, estacional e interanual de índices espectrales como el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) o el índice de vegetación mejorado (EVI).

Estos índices permiten estimar la fracción de radiación que absorben las plantas (fPAR), un factor



fundamental del modelo de eficiencia de uso de la radiación para la estimación del crecimiento del forraje. El crecimiento del forraje, entonces, será el producto entre fPAR, la radiación incidente y la eficiencia con que esa radiación absorbida por las plantas es transformada en biomasa. A partir de este modelo y de los datos satelitales y meteorológicos se puede obtener una cuantificación del crecimiento del forraje con la resolución espacial y temporal que permitan los datos satelitales. Las series de datos de muchos años le suman un mayor interés de aplicación, ya que permiten incluir la variabilidad no sólo estacional sino entre diferentes años producto de la variabilidad climática o de prácticas productivas. De esta manera, tanto la planificación anual de un sistema pastoril como el monitoreo diario de la producción y consumo de pasto es facilitada por los datos satelitales.

Conclusiones

La información satelital es una herramienta fundamental en la producción agropecuaria. La reducción de la incertidumbre de procesos complejos y vitales como es la producción de alimentos. Las complejas interacciones entre el sistema climático, organismos vivos y la actividad humana convierten al análisis de información satelital en sumamente necesario. Las diferentes plataformas satelitales y los diferentes sensores a bordo de ellas proveen muchos datos que son de enorme valor. Las series de datos temporales de muchos años aumentan la potencia de ver tendencias de largo plazo y de visitar lugares que serían imposible de hacer mediante otras aproximaciones metodológicas. De esta manera cada vez es más posible no solo aumentar la eficiencia de la producción agropecuaria sino también hacer predicciones y pronósticos.

Bibliografía consultada

Garbulsky M.F., I. Filella, A. Verger, & J. Peñuelas. 2014. Photosynthetic light use efficiency from satellite sensors: from global to Mediterranean vegetation. *Environmental and Experimental Botany* 103:3-11.





Geodesia – Geofísica

Balbarani, Sebastián²¹

Cuando hablamos de imágenes satelitales, muchas veces nos imaginamos aquellas que brindan las plataformas globales de cartografía digital, tales como *Google Maps*, *Bing Maps* o *Here WeGo*. Éstas son imágenes ópticas, muy similares a las fotografías tradicionales que capturamos con nuestros celulares. Sin embargo, existe otro tipo de imágenes de satélite que recaban información complementaria, precisa y veraz, tal es el caso de las imágenes de radar.

La tecnología de Radar de Apertura Sintética (SAR, por sus siglas en inglés) permite obtener imágenes de alta y media resolución, independientemente de la presencia de radiación solar y de las condiciones atmosféricas (nubes, lluvias, tormentas) al momento de la captura. Esto se debe a que el SAR es un instrumento activo, que tiene la capacidad de generar su propia señal. Además, la energía que genera opera en el rango de las microondas, con longitudes de onda que van desde el centímetro al metro, siendo por ello insensible a casi todos los componentes atmosféricos.

La tecnología SAR posee un amplio rango de aplicaciones de uso en ciencias de la Tierra, cambio climático y medio ambiente. Actualmente, existen misiones satelitales con este tipo de instrumento (SAR), cada una de las cuales se caracteriza por los parámetros del sensor, tales como: la frecuencia central, los modos de adquisición y la polarización de la señal.

Las imágenes SAR poseen un enorme potencial para la observación de los suelos, los mares y la atmósfera, así como de los fenómenos que allí ocurren. Si bien esta tecnología nace a mediados del siglo pasado, fue recién en 1978 que se envió el primer satélite con un radar de apertura sintética, el llamado SeaSAT, una misión de la NASA para estudiar los océanos, que duró apenas 105 días. Más aún, las primeras misiones satelitales consolidadas con un instrumento SAR surgen a principio de los 90 (*ERS*, *RadarSat*).

Argentina se encuentra a la vanguardia en materia de tecnología SAR, llevando la bandera de la misión SAOCOM (Satélite Argentino de Observación con Microondas) de la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE). Está compuesta por el satélite SAOCOM-1A (lanzado en octubre de 2018) y el SAOCOM-1B (lanzado en agosto de 2020). Ambos satélites operan en la banda L, y fueron íntegramente desarrollados en nuestro país, con la participación de empresas públicas y privadas, universidades e institutos de investigación.

La pregunta que surge es: ¿para qué se utilizan los datos adquiridos por un radar de apertura sintética? Estas imágenes generan un volumen masivo de datos complejos (*big data*) que requieren de técnicas de procesamiento no tradicionales para la extracción de información. La inteligencia aplicada sobre los datos de satélite a partir de modelos estadísticos y técnicas de autoaprendizaje (inteligencia artificial) permiten efectuar análisis descriptivos y predictivos, seguimiento de fenómenos y estudio de modelos de negocios, para la correcta toma de decisiones.

En particular, en el área de geodesia y geofísica, existe una técnica denominada Interferometría de Radar de Apertura Sintética (InSAR), que explota la diferencia de fase entre dos imágenes adquiridas sobre una misma región, para generar modelos digitales de elevación (DEM), con precisiones comprobables a la de los sistemas ópticos de teledetección. La técnica tiene gran utilidad en hidrología, geología, agrimensura y otros campos de aplicación.

Una variante de la técnica InSAR, es la denominada Interferometría Diferencial de Radar de Apertura Sintética (DInSAR), la cual permite una solución aún más interesante: medir la deformación de la superficie del suelo con precisiones milimétricas. Si entre dos pasadas sucesivas del sensor, existió un desplazamiento del terreno producto de un sismo, terremoto, extracción o inyección de fluidos en el

²¹ Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ingeniería. Departamento de Agrimensura. Buenos Aires, Argentina.



subsuelo o por actividad volcánica, la técnica permite medir estos movimientos relativos.

Y un paso más adelante, es cuando se dispone de un conjunto numeroso de imágenes SAR sobre la misma zona. En este caso, mediante la aplicación de técnicas multi-temporales, es posible combinar las soluciones individuales DInSAR, y obtener una serie histórica de deformación para cada punto coherente de la imagen, y para el lapso de tiempo que cubren las escenas. La solución permite integrar el resultado en un mapa de velocidad de deformación. Esta técnica posee una capacidad innovadora como un mecanismo remoto complementario para el monitoreo de infraestructura crítica (represas, edificios, puentes) y en la planificación, ejecución y seguimiento de obras de ingeniería compleja.

Resumiendo, la Interferometría SAR puede considerarse una técnica avanzada de procesamiento de imágenes de radar, que permite dar soluciones en sectores como: geodesia y geofísica, minería, petróleo y gas, agricultura, infraestructura crítica, obras de ingeniería, riesgos naturales y antrópicos, alertas y emergencias. Algunas soluciones a partir de interferometría SAR son:

- Mapas topográficos para manejo de agua y agricultura.
- Modelos de superficie y de terreno para planificación de obras de ingeniería.
- Evaluación de impacto ambiental en la explotación de recursos minerales.
- Monitoreo de operaciones de extracción de recursos energéticos y minerales.
- Seguimiento de deformación por tectónica activa.
- Observación de actividades volcánicas.
- Mapas de riesgos y vulnerabilidades.





Qué hicimos hasta ahora

Además de las actividades llevadas adelante desde 2018, con foco específico en cada una de las dos líneas que componen este vector, 'Industria Espacial' y 'Aplicaciones Satelitales' –las cuales serán reseñadas en apartados específicos– se impulsaron también, desde 2020, un conjunto de iniciativas de tipo más general.

La primera de dichas actividades fue la participación conjunta entre la Comisión Nacional de Actividades Espaciales, CONAE, y la FIUBA, en el Encuentro Latinoamericano y Caribeño del Espacio CELAC 2020, con una disertación a cargo del Ing. Fernando Hisas, graduado FIUBA por entonces Gerente de Proyectos de la CONAE, con una presentación titulada "Vinculación de la actividad espacial con el sistema científico-tecnológico, las universidades y la industria en la Argentina".

La segunda fue la elección de la temática espacial para la celebración del Día de la Ingeniería en su

edición 2021, con un encuentro titulado "Proyecto SAOCOM: ingeniería argentina de punta para cuidar la vida en nuestro planeta", organizado por la FIUBA en colaboración con la Comisión Nacional de Actividades Espaciales, CONAE, y la empresa INVAP SE, con la participación del Ing. Alejandro Martínez, Decano Facultad de Ingeniería UBA, el Ing. Raúl Kulichevsky, Director Ejecutivo y Técnico CONAE, el Ing. Gabriel Absi, Gerente de Proyectos Espaciales INVAP, la Inga. Josefina Pérès, graduada FIUBA, actual Gerente de Proyectos Satelitales de CONAE, y Jefa del Proyecto SAOCOM desde 2019 –habiendo sido antes Jefa Adjunta del proyecto por varios años y responsable del instrumento radar de apertura sintética que va montado en los satélites–, el Ing. Gabriel Achtig, Jefe del Proyecto SAOCOM por INVAP desde abril de 2020²²; y la Dra. Laura Frulla, Gerente de Observación de la Tierra de la CONAE e investigadora principal de la misión SAOCOM. [Acceso al video del encuentro.](#)



RELACIONES EXTERIORES

SECRETARÍA DE RELACIONES EXTERIORES

COMUNICACIONES

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

AEM

AGENCIA ESPACIAL
MEXICANA

²² El Ing. Gabriel Achtig también se desempeñó como Jefe por INVAP del proyecto SABIAMAR, proyecto satelital que se lleva a cabo junto a la agencia espacial de Brasil.



.UBA200 **.UBA fiuba** FACULTAD DE INGENIERÍA

Encuentro online

Proyecto SAOCOM:
ingeniería argentina de punta para
cuidar la vida en nuestro planeta

Domingo 06 de junio, a las 18.00

Presentación del documento que recopila los aportes de graduados y graduadas de la FIUBA a la soberanía espacial.

Participan:
Ing. Alejandro M. Martínez, decano FIUBA / Ing. Raúl Kulichevsky, director ejecutivo y técnico CONAE / Ing. Gabriel Absi, gerente de proyectos espaciales INVAP / Ing. Josefina Pérès / Ing. Gabriel Achtig / Dra. Laura Frulla

Consultas: graduados@fi.uba.ar

Con el apoyo de **INVAP** **CONAE**

www.ingenieria.uba.ar

f t i r g g e n e r i a u b a a r / f i u b a / o f i c i a l

Semana de la Ingeniería 2023

Technologies, Imer Antenas, Epic Aerospace, Ericsson y Metrotel, y profesionales de entidades como CONAE, Presidencia de la Nación, Fuerzas Armadas y Facultad de ingeniería de la UBA.

A modo de muy breve reseña, se menciona que las asignaturas obligatorias que componen el plan de estudios de la Especialización son: Introducción a la industria y los sistemas espaciales; Tecnología espacial; Negocio e industria aeroespacial; Sistemas espaciales²³; Gestión de proyectos de desarrollo espaciales. Y se incluye a continuación el perfil del el/ la egresado/a:

tendrá la formación necesaria para gestionar proyectos espaciales complejos en instituciones tecnológicas, agencias espaciales, empresas de la industria aeroespacial, destacándose su capacidad de trabajo en equipos interdisciplinarios para la solución de problemas específicos del sector y para el desarrollo de cambios tecnológicos y operativos con el fin de satisfacer las necesidades de los sectores productivos y del entorno institucional del ecosistema espacial²⁴.

Es motivo de orgullo considerar que dichas actividades, muy especialmente la participación en el Encuentro Latinoamericano y Caribeño del Espacio CELAC 2020, dado el interés que despertó en la comunidad latinoamericana y caribeña por el sistema espacial argentino, hayan aportado a la construcción de un logro muy especial en el año 2022: la creación de la Especialización en Industria y Sistemas Aeroespaciales en el ámbito de la Facultad de Ingeniería UBA, junto al Ministerio Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación, la Comisión Nacional de Actividades Espaciales, CONAE, e INVAP SE.

Dicha especialización, cuyo director es el Mg. Ing. Guillermo Salvatierra, tuvo su primera cohorte en 2023, la cual se compuso por 26 alumnos, entre ellos participantes provenientes de las agencias espaciales de otros países de la región como Paraguay, Bolivia, Perú, México, Venezuela y Costa Rica, miembros de las áreas relacionadas a la política espacial en países que aún están en proceso de desarrollo, como Honduras, Chile y Cuba, integrantes de la industria espacial argentina que se demuestran en empresas como INVAP, ARSAT, Novo Space, Ascentio

Adicionalmente, continuando con la reseña general de actividades, se destaca la organización junto a la empresa ARSAT SA, en el marco de la Semana de la Ingeniería 2023, del encuentro 'Arsat-SG1 Satélite geostacionario argentino de comunicaciones', con la participación como disertante del Ing. Juan Aurelio, jefe Operaciones Satelitales de ARSAT, el cual permitió conocer en mayor profundidad dicho proyecto, llevado adelante por ARSAT, junto a INVAP y en alianza estratégica con la empresa Turkish Aerospace Industries. [Acceso al video del encuentro](#)



²³ Se prevé que en 2024 la Especialización evolucione al nivel de Maestría en Industria y Sistemas Espaciales, incrementando la cantidad materias y permitiéndole a los alumnos cursar la Especialización y, con una serie de créditos adicionales y una tesis, alcanzar el nivel de Magister.

²⁴ Más información: <https://www.fi.uba.ar/posgrado/carreras-de-especializacion/industria-y-sistemas-aeroespaciales>



Por último, se destaca, también correspondiente al año 2023: la visita de Bill Nelson, administrador y máxima autoridad de la Agencia Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio de los Estados Unidos (NASA) a la FIUBA, donde realizó una disertación enfocada en el futuro de la exploración espacial y mantuvo un diálogo abierto con estudiantes y docentes de la Especialización de Industria y Sistemas Espaciales. [Acceso al video del encuentro.](#)



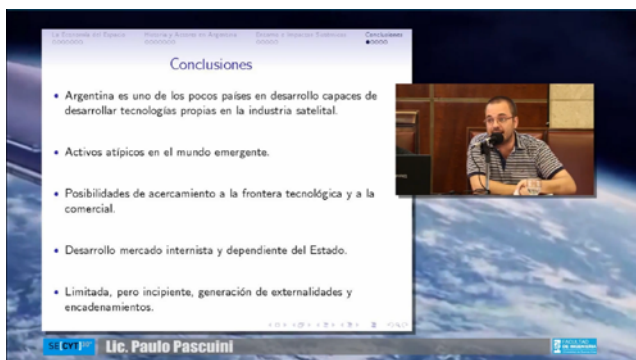


Industria espacial

Una de las actividades fundantes de esta línea de trabajo fue el encuentro Industria Satelital en la Argentina -desarrollado en abril de 2018 en la Facultad de Ingeniería-, en el que disertaron el Ing. Fernando Hisas, Gerente de Proyectos en la Comisión Nacional de Actividades Espaciales, CONAE, y el Lic. Paulo Pascuini, investigador en el Instituto Interdisciplinario de Economía Política de Buenos Aires, IIEP-BAIRES, Facultad de Ciencias Económicas / CONICET.

La presentación del Lic. Pascuini se basó en el trabajo “Al infinito y más allá: una exploración de la economía del espacio en Argentina” (López A., Pascuini P. y Ramos A.) e incluyó el desarrollo de las siguientes temáticas (acceso al video: [parte 1](#), [parte 2](#), [parte 3](#), [parte 4](#)):

- Industria aeroespacial como dinamizador industrial, científico y tecnológico nacional
- Capacidades acumuladas por Argentina, que forma parte de un reducido grupo de países que poseen capacidades para producir localmente satélites geostacionarios de telecomunicación, y se destaca en la región por sus logros en misiones de observación de la Tierra
- Génesis del sector aeroespacial en la Argentina y su vinculación con el sector nuclear
- Principales subsistemas de un satélite, tipos de satélites, principales aplicaciones satelitales
- Rol del sector público en el desarrollo de la industria espacial
- Tendencias industriales y tecnológicas en la industria espacial
- Recomendaciones de políticas públicas para el desarrollo del sector



La presentación del Ing. Hisas incluyó el desarrollo de las siguientes temáticas (acceso al video: [parte 1](#), [parte 2](#), [parte 3](#)):

- Orígenes de las Comisión Nacional de Actividades Espaciales, CONAE
- El primer Plan Espacial Nacional (1994) y su doble objetivo: “Ir al espacio para ver la Tierra” y su concepción como una “Oportunidad para el Desarrollo Tecnológico Nacional”
- Oferta de formación superior en el sector aeroespacial argentino
- Proyectos satelitales de la CONAE desde sus orígenes hasta la actualidad, con énfasis en los proyecto SAC-D y SAOCOM
- Spin-Offs de la CONAE: radares, satélites de comunicaciones
- Proyectos hacia el futuro: SABIA-Mar (en cooperación con Brasil); arquitectura segmentada; vehículo lanzador Tronador II.



También se desarrolló en el marco de esta línea de trabajo un video de divulgación sobre el proyecto SAOCOM, con un mensaje de una de sus protagonistas, la Inga. Josefina Peres, responsable del radar de apertura sintética montado en los satélites SAOCOM 1A y SAOCOM 1B, ya lanzados al espacio y brindando servicios ([acceso al video](#)).

A partir de las actividades citadas, se trabajó en el contribuir al fortalecimiento de la vinculación tecnológica de la UBA con el sector espacial, buscando sistematizar la oferta disponible, en primera instancia de la Facultad de Ingeniería UBA,



integrando tanto elementos industriales como de aplicaciones. En lo que respecta a las capacidades industriales se identificaron fundamentalmente capacidades en materia de ingeniería mecánica (optimización de diseño; materiales y procesos de fabricación de componentes mecánicos metálicos mediante soldadura, recubrimientos y manufactura aditiva²⁵, y de componentes mecánicos en polímeros y compuestos de matriz polimérica; fluidodinámica experimental y numérica; entre otros) y de ingeniería electrónica (fundamentalmente aspectos de navegación espacial, los cuales cuentan con varios años de trabajo conjunto entre FIUBA y CONAE).

Se destaca también la elaboración y publicación del documento titulado 'Graduados y graduadas en el proyecto SAOCOM. Un repaso por los aportes a la soberanía espacial', realizado por la Facultad de Ingeniería UBA con la colaboración de la CONAE y de INVAP SE, en el que se detalla el aporte de cada uno/a de un conjunto de 16 graduados/as de la Facultad de Ingeniería UBA en dicho proyecto. [Acceso al documento.](#)

Se destaca también el valioso aporte que representa para el avance de esta línea de trabajo la articulación con el Instituto Interdisciplinario de Economía Política de Buenos Aires (IIEP), instituto de doble dependencia UBA-CONICET radicado en la Facultad de Ciencias Económicas UBA; a continuación se incluye una breve reseña sobre su conformación y actividades:

Forman parte del IIEP investigadores y becarios con diversas formaciones, incluyendo economía, sociología, ciencias políticas, historia, filosofía y ciencias físicas y cognitivas. Las actividades de investigación se concentran en el estudio de procesos económico-sociales desde



múltiples enfoques y con diferentes métodos, favoreciendo oportunidades de cooperación entre diversas áreas de estudio, manteniendo las especificidades de cada campo disciplinar.

Desde el año 2017 investigadores, becarios de grado, de maestría y de doctorado del IIEP han participado en distintos proyectos de investigación vinculados a la industria espacial y a las aplicaciones satelitales. En el marco de estos proyectos se dirigen tesis de grado y de posgrado, se participa de congresos en la Argentina y en el exterior, y se han publicado documentos de trabajo y artículos en revistas locales e internacionales.

A continuación se listan las referencias de algunas de dichas publicaciones:

- López, A. y P. Pascuini, Actores y capacidades en el sector espacial argentino. En A. López, M. Fuchs, J. Lachman y P. Pascuini (Comps.), *Nuevos sectores productivos en la economía argentina: impactos sobre el desarrollo de políticas públicas*, Buenos Aires: Eudeba.

²⁵ Por ejemplo, se destaca la participación de la FIUBA (Grupo de Materiales Avanzados), junto al INTI, en el proyecto 'Desarrollo de prototipos integrales para el sector Aeroespacial mediante manufactura aditiva por fusión de cama de polvo', cuya institución titular es la asociación civil ACDICAR (Rafaela, Santa Fe), al que se asignó en 2023 desde el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, en el marco del Programa Interinstitucional de Manufacturas Aditivas, un presupuesto de U\$S 949.157.



- Pascuini, P. (2020). De la acumulación de capacidades tecnológicas a la planificación geoestacionaria en la Argentina. *Ciencia y poder aéreo*, 15(2), 53-67.
- López, A., P. Pascuini & A. Ramos (2019). Economía del espacio y desarrollo: el caso argentino. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad N° 40*, 14, 111-133.
- López, A., P. Pascuini & A. Ramos (2018). Climbing the Space Technology Ladder in the South: the case of Argentina. *Space Policy*, 46, 53-63.
- López, A. & P. Pascuini (2018). Institucionalidad y cambio tecnológico en las telecomunicaciones satelitales argentinas. *Serie de documentos de trabajo del IIEP N°30*, 3-42.
- López, A., P. Pascuini & A. Ramos (2017). Al infinito y más allá: una exploración sobre la economía del espacio en la Argentina. *Serie de documentos de trabajo del IIEP N° 17*, 1-61.

A su vez, se enmarca en dicha articulación la aplicación en 2022 a un Proyecto de Desarrollo Estratégico (PDE) UBA de carácter bi-anual, titulado “Desarrollo y complementariedad tecnológica y productiva de la industria espacial sudamericana”, desarrollado en el Instituto Interdisciplinario de Economía Política (IIEP), bajo la dirección del profesor Paulo Pascuini, con la colaboración en la co-dirección del Ing. Xavier Gonzalez²⁶ el cual se propone realizar un relevamiento de las actividades espaciales en Sudamérica. A continuación se incluye una reseña de dicho proyecto, incluyendo los avances logrados hasta el momento:

En base al estudio de las actividades espaciales en Sudamérica y aplicando una serie de métricas de complejidad tecnológica, el proyecto se propone: (i) identificar asimetrías en el desarrollo tecnológico de la actividad espacial latinoamericana; (ii) identificar nichos de complementariedad tecnológica entre los países; y (iii) proponer métricas alternativas para caracterizar el nivel de desarrollo alcanzado por los países en estas actividades.

Hasta el momento el proyecto relevó información sobre los hitos satelitales de los países de Latinoamérica y sus características técnicas (e.g. peso, cantidad de instrumentos, nivel de integración local). Posteriormente se diseñaron, por un lado, distintos ejes que permiten diferenciar a los países según la complejidad tecnológica de sus misiones satelitales; y por otro lado, estrategias de identificación de nichos de complementariedad tecnológica, a fines de agrupar a aquellos países con niveles de desarrollo similares que podrían transferirse conocimientos o llevar a cabo proyectos conjuntos. La última etapa consistirá en construir un indicador sintético que funcione como métrica alternativa a la variedad generalmente usada para evaluar

la complejidad tecnológica de las misiones satelitales, que sea desarrollar una métrica robusta que permita ordenar a los países según sus capacidades tecnológicas en la actividad espacial.

La figura a continuación presenta una clasificación de las capacidades tecnológicas de los países a través del análisis de cinco características técnicas de los satélites no-geoestacionarios que han integrado localmente con o sin colaboración externa, a saber: i) peso promedio; ii) suma del peso lanzado en satélites; iii) cantidad promedio de instrumentos por satélite; iv) cantidad total de instrumentos lanzados en satélites; y v) cantidad de satélites lanzados. Para cada una de las variables mencionadas, se calcula la media y se ubica a cada país por encima o por debajo de la misma, con un valor por encima indicando un mayor nivel de desarrollo tecnológico y viceversa. Los nodos celestes representan los países considerados²⁷, mientras que los nodos verdes y rojos indican la clasificación según variable, por encima y por debajo de la media, respectivamente.

Como puede observarse, si se consideran el peso promedio y el peso total de los satélites lanzados, Argentina es el único país que se ubica por encima de la media. Respecto a la cantidad promedio de instrumentos incluidos en los satélites, Chile, Uruguay, Costa Rica, Ecuador y Paraguay se ubican por encima de la media, siendo (a excepción de Chile) países que han lanzado muy pocos satélites con gran cantidad de instrumentos en comparación con otros (e.g. Argentina, Brasil, México). Sin embargo, cuando se considera la cantidad total de instrumentos, se penaliza la baja cantidad de satélites lanzados y los países ubicados por encima de la media son entonces Argentina, Brasil y Chile.

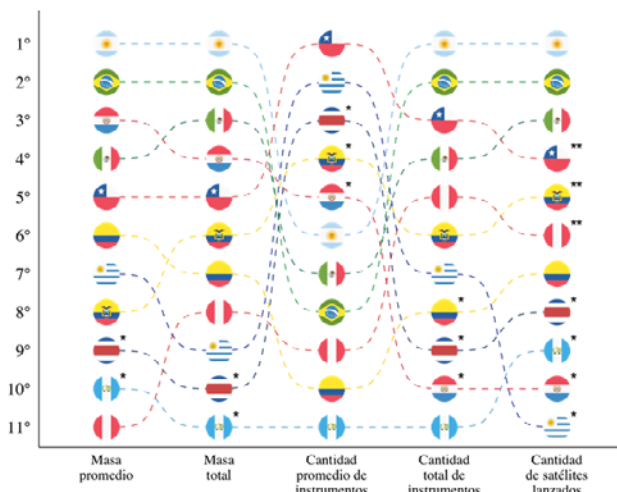


²⁷ Argentina (AR), Brasil (BR), Chile (CH), Colombia (CO), Costa Rica (CR), Ecuador (EC), Guatemala (GU), México (ME), Paraguay (PA), Perú (PE), y Uruguay (UR).



Por último, los países con una cantidad total de satélites lanzados por encima de la media son nuevamente Brasil y Argentina, sugiriendo que son los países más avanzados de la región en materia de capacidades tecnológicas y desarrollo de la actividad satelital.

La siguiente figura resume y ordena la información del grafo anterior, donde se ubican en el eje horizontal las cinco variables mencionadas, y los ordenamientos de los países para cada una de ellas en el eje vertical, con "1^o" señalando el mayor desarrollo en la variable y "11^o" el menor. En los casos donde dos o más países tuvieran el mismo valor para una variable, se utilizaron marcas (* y **) para indicar los países que comparten una misma posición, por ejemplo Argentina, Brasil y Colombia tienen el mismo valor en la cantidad promedio de instrumentos de sus satélites. Las posiciones relativas entre los países con la misma marca sólo responden al orden alfabético.



Como se puede observar, Argentina y Brasil lideran la región en casi todas las dimensiones, denotando un mayor desarrollo en la actividad satelital. La única variable donde ambos países tienen un desempeño menor a otros países de la región es la de la cantidad promedio de instrumentos. Después de Argentina y Brasil, Chile es el país que mejores resultados tiene, ubicándose en todas las variables entre las primeras cinco posiciones. Por su parte, México se ubica entre las primeras cuatro posiciones en cuatro de las cinco dimensiones consideradas. Este resultado permite identificar, después de Argentina y Brasil, un segundo grupo en términos de capacidades, formado por México y Chile. Ecuador se ubica entre la tercera y sexta posición en cuatro variables, y Colombia, habiendo lanzado únicamente

dos satélites, se ubica entre la sexta y octava posición también en cuatro de las cinco variables. Los resultados de Perú oscilan entre la cuarta y la última posición en las diferentes variables, aunque tanto en cantidad de satélites lanzados (4) como en la suma de instrumentos incluidos en sus satélites tiene un desempeño mejor que los países que siguen. El resto de los países (Costa Rica, Guatemala, Paraguay y Uruguay) lanzaron un único satélite cada uno, lo cual indica un menor recorrido en la actividad espacial. Sin embargo, Paraguay y Uruguay igualan o superan los resultados de Costa Rica y Guatemala en todas las variables. Adicionalmente, hay otros dos países en la región que cuentan con satélites pero no fueron considerados en el análisis precedente, aunque se podrían ubicar después de Costa Rica y Guatemala: se trata de Bolivia y Venezuela, los cuales han adquirido satélites sin ningún nivel de integración local. En este sentido, dentro de todos los países que operan satélites, se puede identificar a éstos como aquellos con menores capacidades tecnológicas en la actividad satelital.





Aplicaciones satelitales²⁸

Una de las actividades fundantes de esta línea de trabajo fue el encuentro “Aplicaciones Satelitales en el Agro” -desarrollado en mayo de 2018 en la Facultad de Ingeniería-, en el que disertaron el Ing. Agr. Martín Garbulsky, docente investigador en la Facultad de Agronomía / CONICET, la Dra. Laura Frulla, investigadora principal de las misiones SAOCOM de la CONAE, la Dra. Sandra Torrusio, posteriormente Gerente de Vinculación Tecnológica de la CONAE, Mg. Guillermo Salvatierra, por entonces Director de la empresa Frontec SA (actualmente fusionada por absorción con INVAP SE) e Ing. Agr. Elio Martín, Director Comercial de la empresa GeoAgris SA.

La presentación del Ing. Agr. Martín Garbulsky, incluyó el desarrollo de las siguientes temáticas ([acceso al video](#)):

- Evolución de la actividad académica argentina en torno a las aplicaciones satelitales en el agro desde los 90' hasta la actualidad
- Evolución y tendencias tecnológicas en torno a las aplicaciones satelitales en el agro a nivel mundial (desde

la descripción de eventos y patrones pasados hasta la posibilidad de realizar pronósticos)

- Tipo de productos generados: mapas de vegetación (cultivos y vegetación natural), de rendimiento, de suelos y ambientes, de deficiencias nutricionales en la vegetación, de daños por plagas y enfermedades, de estrés hídrico, entre otros.
- Aspectos esenciales para el uso efectivo de aplicaciones satelitales en el agro: buen balance calidad / costo de la información (posible aporte del paradigma de la constelación de satélites vs. satélites de gran porte); capacidad de procesamiento y disponibilidad de imágenes (rol de las empresas de servicios agropecuarios); profesionales formados para el uso de este tipo de herramientas (Facultad de Agronomía UBA brinda formación en este sentido tanto en el grado como en el posgrado)
- Perspectivas de una mayor adopción de estas tecnologías por una mejora del ratio costo / beneficio en la toma de decisiones agropecuarias (debida al descenso sostenido del costo de acceso a imágenes e información y por la mejora en los servicios agropecuarios asociados).

Qué preguntas nos interesaron a los agrónomos?

- Mapas de vegetación
- Cultivos
- Vegetación natural

- Mapas de rendimientos
- Producción forrajera
- Mapas de suelos/ambientes
- Calidad de forrajes
- Deficiencias nutricionales
-

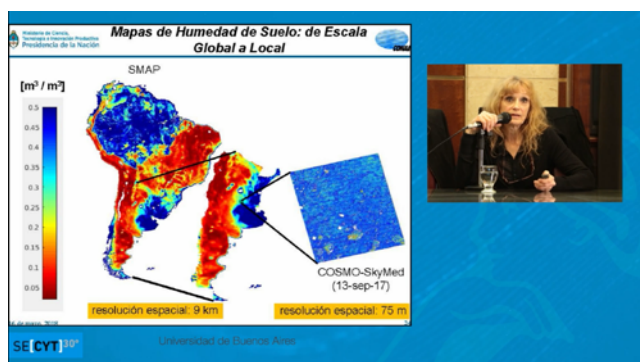



²⁸ Por la temática tratada, las actividades reseñadas en esta sección se constituyen también como valiosos antecedentes y parte de la agenda de trabajo del vector Tecnologías de la Información y la Comunicación, en su línea *Ciencia de Datos*.



La presentación de la Dra. Laura Frulla incluyó el desarrollo de las siguientes temáticas ([acceso al video](#)):

- Sistema Ítalo Argentino de Gestión de Emergencias, SIASGE, integrado por dos satélites SAOCOM argentinos (con radar de apertura sintética en banda L, polarimétricos [a 180°]) y por cuatro satélites italianos (con radar de apertura sintética en banda X, cuasi-polarimétricos [a 90°])
- Razones de la selección de un radar de apertura sintética como carga útil principal en los satélites SAOCOM (aplicaciones en hidrología, altimetría y otras vinculadas a la producción agrícola y la gestión de emergencias); beneficios respecto de las imágenes ópticas
- Ejemplos de aplicaciones de las imágenes generadas por el SIASGE: mapas de humedad del suelo (cooperación: INTA); pronóstico de inundaciones (cooperación: INA); monitoreo de áreas incendiadas y de su recuperación; monitoreo de erosión eólica; productos de interferometría (modelos digitales de elevación [DEMs], hundimiento de terreno en ámbitos urbanos y agropecuarios).



La presentación de la Dra. Sandra Torrusio incluyó el desarrollo de las siguientes temáticas relacionadas con información brindada desde CONAE (en base a imágenes radar y ópticas; potenciación por la colaboración con otras agencias espaciales) ([acceso al video](#))

- Emergencias abióticas: inundaciones; sequías; cenizas volcánicas; incendios; nevadas
- Emergencias bióticas: floraciones algales; plagas (ej.: tucuras; langostas)
- Producción agropecuaria: desarrollo del sistema ISAGRO (www.isagro.org.ar/), en cooperación con Uruguay, Paraguay y Chile; desarrollo de firmas espectrales;

monitoreo de ganado caprino en ambientes de montaña;
monitoreo de evolución de bosque implantado

- Fiscalización y ordenamiento de propiedades urbanas y rurales
- Acceso través de la web de CONAE de los productos ofrecidos



La presentación del Mg. Guillermo Salvatierra incluyó el desarrollo de las siguientes temáticas ([acceso al video](#)):

- Cooperación de Frontec con CONAE, Servicio Meteorológico Nacional y Ministerio de Ciencia y Tecnología
- Clientes de la empresa: más de 5000, sumando más de 3.000.000 de hectáreas
- Productos ofrecidos: mapas de rendimiento, análisis de daño por granizo, monitoreo de inundaciones, de riego, de incendios forestales.



La presentación del Ing. Agr. Elio Martín incluyó el desarrollo de las siguientes temáticas ([acceso al video](#)):



- Génesis de la empresa GeoAgris, como emprendimiento surgido en 2003 por la iniciativa del expositor y un socio también graduado en la Facultad de Agronomía UBA
- Qué es el Índice Verde (surgido en la primera mitad de los 80'; indicador de la actividad fotosintética de la vegetación)
- Servicios ofrecidos: seguimiento de cultivos (con baja, media y alta resolución espectral), que orienta la inspección en campo por parte de los ingenieros agrónomos; detección de estrés hídrico; análisis de eficiencia de riego
- Clientes principales: grandes empresas contratistas agropecuarias (baja adopción por parte de pequeños productores)
- Gran potencial a partir de la implementación de los satélites en un arreglo tipo constelación por la baja de costos que puede implicar

Asimismo, y para fortalecer la vinculación tecnológica de la UBA con el sector espacial se aportó a la sistematización de la oferta disponible, en primera instancia de la Facultad de Ingeniería. En lo que respecta a las capacidades relacionadas con aplicaciones satelitales se identificaron fundamentalmente capacidades en materia de geodesia y geofísica (modelos digitales de elevaciones y mapas de desplazamiento del terreno, a partir de imágenes de radar de apertura sintética) y de redes y enlaces de comunicaciones (protocolos de enrutamiento alternativos para 'sistemas de satélite distribuido', DSS, en particular 'sistema de satélite federado', FSS; enlaces robustos de datos entre satélites y técnicas de uso eficiente del espectro entre emisores no coordinados).

También se destaca el desarrollo en el marco de esta línea de trabajo de la tesis de grado de ingeniería en agrimensura titulada "Modelos digitales de elevación a partir de imágenes de radar en bandas L, C y X", desarrollada por Damián Marsilli con la dirección del Dr. Ing. Sebastián Balbarani. A continuación se incluye una breve reseña de dicha tesis:

Un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) es una grilla regular en la que cada pixel contiene el valor de la altitud del terreno, sobre un determinado sistema de referencia plani-altimétrico. Este producto y sus derivados poseen aplicaciones en proyectos de respuesta ante alertas y emergencias, ingeniería básica en obras de infraestructura, ingeniería ambiental, geología, procesamiento de imágenes satelitales, entre otras.

Los MDE libres, sean locales o globales, poseen resolución espacial desde los 30 metros, pudiendo ser inapropiado su uso para diversas aplicaciones. Mediante el uso de imágenes de radar de apertura sintética (SAR) se pueden generar MDE con mayor resolución espacial, entre 3 y 20 metros, de manera rápida y eficiente, sobre grandes extensiones, y con la posibilidad de prescindir de mediciones en el terreno. Interferometría de radar de apertura sintética (InSAR) es una técnica geodésica de la teledetección que permite explotar la información contenida en la fase de las imágenes para estimar la elevación de la superficie terrestre. Si bien la técnica presenta ciertas ventajas sobre los sistemas de adquisición ópticos, las limitaciones más importantes son: los errores atmosféricos, las distorsiones geométricas (desplazamiento por relieve, escorzo, inversión por relieve y sombra), y la incertidumbre, producto de la configuración espacial y temporal de los pares interferométricos (decorrelación).

El presente trabajo de tesis se basó en la obtención de MDE mediante InSAR con pasada repetida, a partir de imágenes SAR en banda L (ALOS Palsar), banda C (Sentinel-1) y banda X (COSMO SkyMed). El área de estudio estuvo focalizada en una región de 21,5 km x 18,5 km que incluye al Volcán Lanín y su entorno, en la provincia de Neuquén, la cual presenta una topografía abrupta.

La cadena de procesamiento interferométrico incluyó: selección de imágenes, preprocesamiento, corrección, muestreo e interpolación, formación del interferograma, filtrado, desenrollado de fase, conversión de fase a altura y georreferenciación.

Los resultados muestran interferogramas topográficos con presencia de franjas que en un análisis preliminar denotan desniveles de la topografía del terreno. Los mapas de coherencia presentan baja decorrelación en el cono del edificio volcánico y en las crestas del lado sureste. En la cima del volcán (cráter y alrededores) la decorrelación es alta. En tanto, en la zona baja se aprecia decorrelación media y alta. Los mapas de coherencia generados a partir de imágenes ALOS Palsar y Sentinel-1 presentan bondades en relación a la decorrelación observada en aquellos que fueron formados utilizando imágenes COSMO SkyMed.

Los modelos topográficos obtenidos fueron comparados con modelos fotogramétricos y con el MDE-Ar v2.0 30m (Modelo Digital de Elevaciones de Argentina) del IGN, para determinar la calidad de los mismos. Los MDE generados a partir de imágenes ALOS Palsar y COSMO SkyMed presentan bondades respecto a la calidad observada en aquellos elaborados a partir de imágenes Sentinel-1, siendo que estos últimos se encuentran afectados en gran medida por la longitud de las líneas base perpendiculares, las cuales son cortas e impactan en la configuración geométrica para la obtención de los modelos.



Zona de Estudio

Datos Auxiliares - MDE Externos

- SRTM C, 1-arc-sec de resolución espacial. Sistema de referencia geodésico WGS84. Datum vertical EGM96. Precisión altimétrica: absoluta menor a ±16m y relativa menor a ±10m; precisión horizontal: absoluta menor a ±20m y relativa menor a ±15m. Para la cadena de procesamiento.
- MDE-Ar v2.0, 30m de resolución espacial. Sistema de referencia geodésico POSGAR07. Datum vertical SRV/N18. Error Medio (EM) de -2.13m y Desvío Estándar (σ_{EM}) de ±1.91m (IGN,2019). Para la validación / comparación.

Modelo Digital de Elevación (MDE)

- Estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de la altitud de la superficie del terreno.
- Puede describirse de forma genérica del modo siguiente:
 $z=g(x,y)$
- Las estructuras de los MDE pueden ser vectoriales o raster.

Desenrollado de Fase

	A_c [m]
a) ALOS-Palstar	-82
b) Sentinel-1	178
c) COSMO SkyMed	29

A su vez, se están desarrollando actualmente dos tesis de grado en el Departamento de Agrimensura FIUBA con aplicaciones de imágenes satelitales. Así, Mariano Harguinteguy lleva adelante el trabajo denominado “Detección y Mapeo de Área Quemada a partir de Imágenes SAOCOM-1”, haciendo explotación de los datos del satélite de radar argentino. Por otro lado, la estudiante Julia Pérez Altuna lleva adelante la tesis denominada “Mapa de Cobertura de Suelos para Modelado de Riesgo de Incendios”, haciendo uso de la plataforma Google Earth Engine. En ambos casos, con la dirección del Dr. Ing. Sebastián Balbarani.

También se destaca una iniciativa reciente que busca intensificar el uso de imágenes SAOCOM en trabajos de investigación, incluyendo trabajos profesionales y tesis de grado, posgrado y doctorado en la Facultad de Ingeniería ([acceso](#)).

Se destaca por último el valioso aporte que también representa para el avance de esta línea de trabajo la articulación con el mencionado Instituto Interdisciplinario de Economía Política de Buenos Aires (IIEP). A continuación, se listan las referencias de algunas de las publicaciones del IIEP relacionadas con esta línea de trabajo:

- Lachman, J. and López, A. (2019), Innovation obstacles in an emerging high tech sector: The case of precision agriculture in *Argentina*, *Management Research*, Vol. 17 No. 4, 474-493.
- Lachman, J. & López, A. (2019). Las empresas de Servicios Basados en Conocimiento para producciones de base biológica: el caso de la agricultura y ganadería de precisión, *Revista de Economía Política de Buenos Aires* 19 (14), 67-10.
- Lachman, J. & López, A. (2018). Innovación, habilidades y nuevas áreas de conocimiento en sectores tecnológicos emergentes: el caso de la Agricultura y Ganadería de Precisión, *Revista Pymes, Innovación y Desarrollo*, 6(3), 60-85.



Proyecto
Vectores