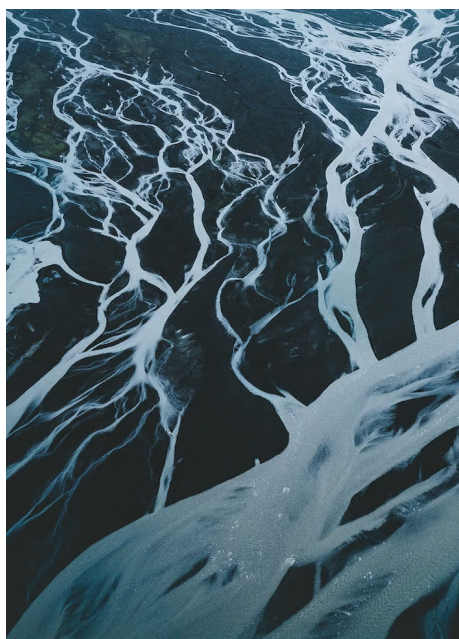
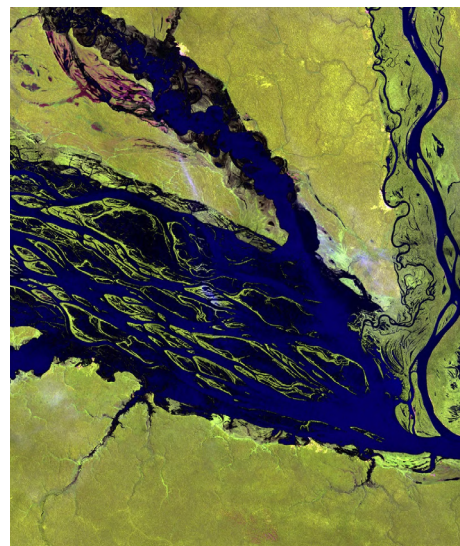




# IN-GENIUM

CONOCIMIENTO Y APLICACIONES DE LA INGENIERÍA

## AGUA: FUENTE DE VIDA



ACADEMIA DE  
LA INGENIERÍA  
DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

REVISTA DE LA ACADEMIA DE LA INGENIERÍA  
DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

NÚMERO 6 - 2023  
ISSN 2796-7042



# ÍNDICE

4.  
NOTA EDITORIAL
10.  
HOMENAJE AL PRESIDENTE HONORARIO,  
ACADÉMICO LUIS JULIÁN LIMA
28.  
REPORTAJE AL LIC. RAÚL PERDOMO
32.  
GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN  
LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES. HACIA UN ENFOQUE  
HOLÍSTICO Y SUSTENTABLE  
*(POR ING. GUILLERMO JELINSKY)*
38.  
APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO  
SANTA CRUZ  
*(POR MARIANO DE DIOS Y SERGIO LISCIA)*
54.  
REPORTAJE AL ING. JUAN CARLOS SCHEFER
60.  
EL CONFLICTO EN UNA CUENCA TRANSFRONTERIZA Y  
LA COMPLEJIDAD DE LAS CONDICIONES HIDROLÓGI-  
CAS: EL RÍO NILO  
*(POR RAFAEL S. SEDANE Y RAÚL A. LOPARDO)*
84.  
RELACIONES INSTITUCIONALES DE LA ACADEMIA
90.  
EL AGUA EN UN SITIO DEL PATRIMONIO NATURAL  
MUNDIAL: EL RECURSO, LOS RIESGOS Y LAS SOLU-  
CIONES DESDE LA INGENIERIA  
*(POR JAVIER FAZIO)*
106.  
¿CÓMO LLEGA EL AGUA AL ESPACIO?  
*(POR DRA SANDRA TORRUSIO)*
120.  
CONFERENCIAS Y PANELES
126.  
REPORTAJE AL DR. CLAUDIO LEXOW
130.  
ARTICULACIÓN ENTRE INVESTIGACIÓN, EXTENSIÓN Y  
TRANSFERENCIA: RELATO DE UNA INNOVACIÓN  
*(POR BERARDOZZI E, GARCÍA EISCHLANG F Y LUCINO, C)*
136.  
ESTADO SANITARIO DE LAS AGUAS DEL CONURBANO  
BONAERENSE QUE DESAGUAN EN EL ESTUARIO DEL  
RIO DE LA PLATA  
*(POR MAG. INGRA CRISTINA SPELTINI)*
142.  
NUESTROS ACADÉMICOS: NOTICIAS DESTACADAS
148.  
OPORTUNIDAD DE UTILIZAR LAS OLAS DEL MAR  
PARA GENERAR ENERGÍA LIMPIA. APORTES DESDE EL  
INSTITUTO LEICI  
*(POR MOSQUERA FD, EVANGELISTA CA Y PULESTON PF)*
160.  
SIST. SATELITAL DE COLECTA DE DATOS AMBIENTALES  
*(POR ADRIÁN CARLOTTO Y JOSÉ MARÍA JUÁREZ)*
170.  
PREMIO CONSAGRACIÓN 2022 “ING. NÉSTOR BER-  
NARDO BUSSO”: DR. ING. ALBERTO BANDONI
174.  
HOMENAJE A UNA PERSONALIDAD DESTACADA EN  
EL ÁREA DE LA INGENIERÍA CIVIL: PROF. ING. CÉSAR  
JULIO LUISONI
178.  
INGENIEROS DE HOY Y DEL FUTURO





# NOTA EDITORIAL





Por  
**Ing. Patricia Arnera**  
**Académica Presidente**

En este nuevo número de In-Genium: Conocimientos y Aplicaciones de la Ingeniería, presentamos el tema **“Agua: fuente de vida”**. El mismo título fue considerado por la Asamblea General de las Naciones Unidas en el año 2003, para proclamar el período 2005-2015 como el Decenio Internacional para la Acción «El agua, fuente de vida». El Decenio comenzó oficialmente el 22 de marzo de 2005, Día Mundial del Agua.

Es indudable que el agua es esencial para la vida. Ningún ser vivo sobre la Tierra puede sobrevivir sin agua. El agua resulta indispensable para la salud y el bienestar humano, así como para la preservación del medio ambiente. Más allá de cubrir las necesidades básicas del ser humano, el abastecimiento de agua y los servicios de saneamiento, así como el uso que hacemos de los recursos hídricos, son factores determinantes para un desarrollo sostenible. En algunas partes del mundo, el agua constituye la principal fuente de energía, mientras que en otras se desaprovecha casi totalmente su potencial energético. También resulta indispensable para la agricultura y forma parte de numerosos procesos industriales y, en muchos países, supone el principal medio de transporte. Gracias a un mejor entendimiento del conocimiento científico, la comunidad internacional ha empezado a apreciar en mayor medida los beneficios derivados de los ecosistemas acuáticos, por ejemplo, en el control de las inundaciones, la protección contra las tormentas o la purificación del agua.

Tal es su importancia que la vemos reflejada en varios de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) señalados en la Agenda 2030 de Naciones Unidas. De modo directo se encuentra contemplada en: Objetivo 6: Ga-

rantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos; Objetivo 3: Salud y Bienestar; Objetivo 13: Acción por el clima; Objetivo 12: Producción y Consumo Responsable; Objetivo 14: Vida submarina; Objetivo 15: Vida de Ecosistemas Terrestres y en muchos otros de manera transversal.

De acuerdo al Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2023, en todo el mundo, una de cada tres personas no tiene acceso a agua potable salubre; dos de cada cinco personas no disponen de una instalación básica destinada a lavarse las manos con agua y jabón, y más de 673 millones de personas aún defecan al aire libre. Y a su vez, dicho informe señala:

- Se prevé que la población urbana mundial que se enfrenta a la escasez de agua se duplique, pasando de 930 millones en 2016 a 1700-2400 millones de personas en 2050. Riesgo inminente de una crisis mundial del agua, advierte el Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo 2023 | UNESCO
- A pesar de los avances, en 2022, 2200 millones de personas todavía carecían de servicios de agua potable gestionados de forma segura, 3500 millones carecían de servicios de saneamiento gestionados de forma segura y 2000 millones carecían de servicios de higiene básicos
- Las masas de agua superficial, como lagos, ríos y embalses, están experimentando rápidos cambios en todo el mundo, y una de cada cinco cuencas fluviales muestra grandes fluctuaciones de los niveles de agua superficial en los últimos 5 años
- En muchos países, la contaminación del agua plantea un considerable desafío para

la salud humana y el medioambiente. Son innumerables los problemas a solucionar vinculados a “el agua”. La ingeniería, en sus diversas especialidades, se encuentra involucrada en lograr dichas soluciones, de allí que actúe contemplando: la generación de energía eléctrica limpia; permita las evaluaciones satelitales del recurso para la toma de decisiones; realice evaluaciones de contaminantes para lograr su purificación; contemple el desarrollo de infraestructura que permita, sin mayor impacto, el acceso a paisajes únicos. Algunos de estos temas son los que presentamos en esta edición de nuestra revista, sumado a las tradicionales secciones que ella posee.

Respecto al contenido de este número de Ing-Genium, debemos señalar que comienza con un homenaje especial a quien fuera nuestro Presidente Honorario, el Profesor Ingeniero Luis Julián Lima, destacada personalidad tanto en el ámbito académico como profesional, de allí que nuestro modesto homenaje a su exquisita y distinguida figura es volcando las vivencias de diversas personas que han compartido alguna de las tantas actividades que Luis desempeñó en su fructífera trayectoria.

Seguidamente, en este número encontrarán:

#### **ENTREVISTAS A PROFESIONALES E INSTITUCIONES:**

- Lic. Raúl PERDOMO, Ex Presidente de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP). Impulsó la creación del Centro Interdisciplinario de Investigaciones Aplicadas del Agua y el Ambiente. En la entrevista, señala los motivos que llevaron a la creación de este centro, las líneas de investigación que se desarrollan en el mismo, las relaciones de interacción con el CONICET, la CIC y la red ambiental CONICET-CIC-RUMBO, como así también reflexiona sobre la problemática del agua en la región y el rol de la ingeniería y las universidades para brindar soluciones a los temas pendientes.

- Ing. Juan Carlos SCHEFER, Director Decano

del Departamento de Ingeniería de la Universidad Nacional del Sur (UNS) (2017-2022), quien presenta la complejidad del abastecimiento de agua en la zona de Bahía Blanca, los trabajos realizados en forma conjunta entre la Universidad Nacional del Sur y la UTN Regional Bahía Blanca, brindando una reflexión final respecto a la importancia de las políticas de estado en temáticas tan sensibles para la población.

- Dr. Claudio LEXOW, Investigador y Profesor Adjunto del Departamento de Geología de la Universidad Nacional del Sur (UNS). comparte su experiencia vinculada a las líneas de investigación que abordan el impacto en el suelo de diferentes elementos tales como la industria, la producción agrícola y los rellenos sanitarios y su efecto en la contaminación de aguas subterráneas.

#### **ARTÍCULOS DE PROFESIONALES E INSTITUCIONES:**

- *GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES*, por Ing. Guillermo JELINSKI. Subsecretario de Recursos Hídricos de la Provincia de Buenos Aires. Representante titular de la Pcia de BA en el Consejo Hídrico Federal (COHIFE). Presenta una síntesis de la GIRH, la cual se ha convertido en una prioridad para garantizar el acceso al agua potable y al saneamiento, disminuir el riesgo hídrico de las localidades y áreas rurales por inundaciones, proteger los ecosistemas acuáticos y promover el desarrollo sustentable. La SubSecretaría ha establecido principios y lineamientos estratégicos que orientan sus acciones hacia un enfoque holístico y sostenible de la gestión del agua.

- *APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ*, realizado por Ing. Mariano de Dios y Académico Ing. Sergio Liscia, ambos del Departamento de Hidráulica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata. Se realiza una descripción general de cada uno de los proyectos que

conforman los aprovechamientos sobre el Río Santa Cruz, así como también, las principales modificaciones efectuadas durante la construcción de los mismos para atender a los requerimientos ambientales. Finalmente, se presenta el estado actual de la construcción de las obras.

• *EL CONFLICTO EN UNA CUENCA TRANSFRONTERIZA Y LA COMPLEJIDAD DE LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS: EL RÍO NILO*, por Ing. Rafael S. Seoane (Centro de Estudios Transdisciplinarios del Agua -CETA. Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad de Buenos Aires) y Académico Ing. Raúl A. Lopardo (Departamento de Hidráulica, Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de La Plata). Los autores introducen las características hidrológicas de la cuenca del río Nilo en Egipto, los principales datos de las obras hidráulicas que se han realizado tanto en Etiopía, como Sudán y Egipto, los acuerdos internacionales existentes y los conflictos de intereses que se han despertado entre los países, por el uso del agua del río Nilo.

• *EL AGUA EN UN SITIO DEL PATRIMONIO NATURAL MUNDIAL: EL RECURSO, LOS RIESGOS Y LAS SOLUCIONES DESDE LA INGENIERIA*, por Ing. Javier Fazio, Miembro Titular, Academia Nacional de Ingeniería, Profesor Titular UBA, UCA y UTN. Describe el proyecto de ingeniería y construcción de las pasarelas que permiten recorrer y disfrutar el recurso natural que representan las cataratas del Iguazú en Misiones, Argentina. Tratándose de un sitio declarado Patrimonio de la Humanidad (1984) y Valor Universal Excepcional (2013), debieron contemplarse importantes restricciones para asegurar el uso público del bien en los máximos niveles de seguridad y eficiencia que resulten compatibles con la mínima pérdida de valores patrimoniales tangibles e intangibles.

• *¿CÓMO LLEGA EL AGUA AL ESPACIO?* por Dra. Sandra Torrusio, Profesora Titular y Secretaria de Investigación y Transferencia de

la Facultad de Ciencias Naturales y Museo de la UNLP, Gerente de Vinculación tecnológica de CONAE (2008-2022). Nos presenta la manera en la cual se pueden observar las diversas formas y estados del agua, mediante sensores específicos a bordo de plataformas satelitales que orbitan a cientos o miles de kilómetros de la Tierra. Son innumerables las aplicaciones que se pueden brindar a partir de dichas observaciones y de los productos derivados de los datos obtenidos por diferentes instrumentos a bordo de los satélites. Puntualiza la historia de las misiones satelitales argentinas.

• *OPORTUNIDAD DE UTILIZAR LAS OLAS DEL MAR PARA GENERAR ENERGÍA LIMPIA. APORTES DESDE EL INSTITUTO LEICI*, por Mosqueira, F.D.\*; Evangelista, C.A.; Puleston, P.F. Grupo de Estrategias de Control y Electrónica de Potencia (GECEP) LEICI – FI-UNLP-CO-NICET. El grupo de trabajo investiga los diferentes convertidores de energía de ola a efectos de proponer estrategias de control avanzado que mejoren su funcionamiento. Se presentan diversas experiencias de emulación de algunos convertidores de energía de ola, donde se ensayan estrategias de control avanzado para sistemas complejos, que fueron realizadas en distintas universidades del mundo.

• *ARTICULACIÓN ENTRE INVESTIGACIÓN, EXTENSIÓN Y TRANSFERENCIA: RELATO DE UNA INNOVACIÓN*, por Berardozi E (UIDET Hidromecánica, FI-UNLP), García Eischlang F. (INIFTA, CONICET) ) y Lucino C. (UIDET Hidromecánica, FI-UNLP). Se describen los pasos dados para el diseño de plantas para el tratamiento de aguas de consumo con alto contenido de arsénico, utilizando columnas reactivas basadas en el empleo de hierro cero Valente (ZVI) y su implementación en comunidades de la provincia de Buenos Aires.

• *SISTEMA SATELITAL DE COLECTA DE DATOS AMBIENTALES (DCS)*, por Ing. Adrián CARLOTTO e Ing. José María JUÁREZ. UIDET



GRIDComD. Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de La Plata. Se presentan los antecedentes de los Sistemas Satelitales de Colecta de Datos, los cuales resultan fundamentales para la misión SABIA-Mar de la CONAE la cual se enfocará en el estudio de los mares a nivel global, y especialmente en las regiones costeras de la Argentina y Sudamérica y aguas interiores. Los instrumentos van a permitir monitorear las costas argentinas y sudamericanas con una muy buena resolución espacial, de 200 metros, generando información única, que hoy no existe sobre el Mar Argentino.

• *ESTADO SANITARIO DE LAS AGUAS DEL CONURBANO BONAERENSE QUE DESAGUAN EN EL ESTUARIO DEL RIO DE LA PLATA*, por Mag. Ingra. Cristina Speltini. Directora de la Especialización y Maestría en Ingeniería Ambiental. Directora Departamento Ing. Química. UTN- Facultad Regional Avellaneda. Presenta las campañas de monitoreo para recabar información que permita cuantificar el estado sanitario de arroyos de la provincia de Buenos Aires, a efectos de determinar el estado sanitario mediante el empleo de Índices de Calidad de Agua (ICA).

## RELACIONES INSTITUCIONALES

Por un lado, hemos continuado con la firma de convenios de cooperación con instituciones cercanas a nuestro quehacer, tal es el caso de los convenios firmados con la Academia Nacional de Ingeniería y con la Facultad Regional Avellaneda de la Universidad Tecnológica Nacional. Por otra parte, hemos participado de las Jornadas de Infraestructura Vial Sostenible para el Desarrollo: INVISOS, que se desarrollaron en el Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica (LEMIT-CIC).

## PREMIO CONSAGRACIÓN

La Academia ha otorgado la edición 2022 del Premio Consagración "Ingeniero Néstor B. Busso", al Dr. Ing. José Alberto Bandoni, basados en la importante actividad

desarrollada, tanto en el campo científico y tecnológico de I&D, como en el campo de la docencia universitaria, siendo una de sus principales áreas de competencia la Ingeniería en Sistemas de Procesos.

## CONFERENCIAS REALIZADAS

En esta sección podrán encontrar diversas conferencias que hemos organizado, para las cuales podrán leer una breve descripción del perfil del disertante y un resumen de los temas brindados, como así también los respectivos links para acceder a ellas. Las mismas son:

- Acto de incorporación del Dr. Ing. Fabián Bombardelli como Miembro Correspondiente de la Academia.
- Acto de incorporación del Dr. Ing. Alejo Sfriso como Miembro Correspondiente de la Academia.
- Acto de incorporación del Dr. Ing. Gustavo Basso como Miembro Titular de la Academia.
- En el marco del "Programa Ing. Miguel de Santiago: Estudio y análisis de problemas trascendentes de la Argentina con soluciones técnicas", se realizó la conferencia brindada por el Mag. Ing. Raúl Kulichevsky, Director Técnico y Ejecutivo de CONAE.

## HOMENAJE A UNA PERSONALIDAD DESTACADA:

En esta oportunidad nuestro homenaje es para el Ing. Civil Profesor César Julio Luisoni, Miembro Correspondiente de nuestra Academia, quien fuera un destacado realizador de muy relevantes obras en el campo de la Ingeniería Civil-Estructural.

## INGENIEROS DEL FUTURO

Esta sección hemos recogido las experiencias vividas por alumnos e ingenieros de la carrera Ingeniería Hidráulica de la Universidad Nacional de La Plata:

- Luciana Noelia Barros Abdala. Alumna de la carrera.
- Juan Francisco Varvasino, egresado 2022.

- Arturo RIVETTI, egresado en 2010
- Gonzalo DURÓ, egresado en 2008, trabaja en los Países Bajos

### **NOTICIAS DESTACADAS.**

• El 26 de septiembre de 2023, se inauguró en el Departamento de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería de la UNLP, el aula que lleva por nombre el de nuestro Académico Dr. Ing. Raúl Lopardo.

• La Académica Dra. Noemí Zaritzky ha sido reconocida con el Premio Konex Platino 2023, en la disciplina Ciencias Agrarias y de los Alimentos.

Solo hemos cubierto algunos aspectos vinculados al agua, esperamos que el material que les brindamos, resulte de vuestro interés. Finalmente, deseo agradecer a los Académicos que han contribuido con los contenidos de este número, al equipo técnico que realiza la edición de la Revista, al Servicio de Difusión de la Creación Intelectual (SEDICI); a la Universidad Nacional de La Plata por su permanente colaboración para esta iniciativa y a la Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires, en particular al Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica (LEMIT-CIC) por su constante apoyo a nuestra Academia.

**HOMENAJE  
AL PRESIDENTE  
HONORARIO,  
ACADÉMICO  
LUIS JULIÁN  
LIMA**





El 28 de julio de 2023, recibimos la inesperada noticia del fallecimiento del Prof. Ing. Luis Julián Lima, Presidente Honorario de la Academia de la Ingeniería de la Provincia de Buenos Aires. Esta noticia fue de gran impacto en los diversos ámbitos en los que Luis Lima se desempeñó.

Para quienes no han tenido el placer de conocerlo, presentamos una breve semblanza. Nació en octubre de 1936 en la ciudad de La Plata. Fue alumno del Colegio Nacional egresando en el año 1954. Obtuvo el título de Ingeniero Civil, se especializó en el Centro de Altos Estudios en Hormigón Armado y Pretensado de París, llegando a construir alrededor de 100 puentes.

Recorrió su vida entre las aulas y pasillos de la Facultad de Ingeniería y de la Universidad Nacional de La Plata, donde pasó por todos los estamentos hasta llegar a ser Director del Departamento de Construcciones, Decano de la Facultad de Ingeniería (1983-1986 y 1989-2001) y Presidente de la UNLP en tres períodos (1992-1995, 1995-1998 y 1998-2001).

Luis se incorpora a nuestra Academia en el año 1990, donde trabajó activamente, siendo su Vicepresidente (2010-2014), Presidente (2014-2020) y desde 2020 Presidente Honorario.

En ocasión de firmarse el acta fundacional de la Asociación de Universidades del Grupo Montevideo (AUGM), el 9 de agosto de 1991, el Ing. Luis Lima, en calidad de Presidente de la UNLP, formó parte de aquel núcleo de visionarios, autoridades universitarias y rectores fundadores de la AUGM que se propusieron hace ya más de tres décadas proyectar los principios de la Universidad latinoamericana, la construcción de un espacio regional del conocimiento y la cooperación entre las universidades públicas de la región.

En el año 2003 fue convocado por el intendente de Junín, Abel Paulino Miguel, como rector organizador de la Universidad Nacional del Noroeste- UNNOBA, tarea que desempeñó con compromiso, pasión y una gran sabiduría, manteniéndose firme en el objetivo de crear “la Universidad del Siglo XXI, comprometida con su tiempo y su territorio”.

Finalizada la etapa de organización de la UNNOBA, siguió vinculado a su vida institucional siendo Guardasellos, profesor, director del Laboratorio de Ensayos de Materiales y Estructuras y miembro del Consejo Académico del Instituto de Posgrado.

En el año 2017, recibió la distinción de Graduado Ilustre de la UNLP junto a otros ex presidentes, en reconocimiento “al esfuerzo de quienes forjaron y acompañaron el crecimiento de esta universidad en los años de democracia”.

Fue el Presidente fundador de Lat-RILEM en el período 2010-2014, motivo por el cual fue también nombrado RILEM Fellow en el año 2015. Además, fue miembro ilustre de fib (Fédération internationale du Béton), siendo nombrado como miembro vitalicio en el año 2006 y como fib Fellow en 2020.

Ha sido Miembro Correspondiente de la Academia Nacional de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, miembro de la Junta de Calificaciones de la Comisión de Investigaciones Científicas (CIC) de la Provincia de Buenos Aires (1984-1999). e integrante de la Comisión por la Memoria de la Provincia de Buenos Aires.

Desde UUNOBA han señalado “Su fallecimiento representa una gran pérdida para la UNNOBA y para el conjunto del sistema universitario que encontró en él y su trayectoria un testimonio de lo que el saber, la capacidad y la experiencia pueden en la tarea de construir una educación pública de calidad.”

Cada vez que en cualquier ámbito se lo interrogaba sobre aquellas cuestiones que lo definían, simplemente afirmaba que su currículum podía resumirse en aquello a lo que se había dedicado toda la vida: “a aprender y a enseñar”.

En este número de In-Genium, deseamos realizar un homenaje muy especial, presentando las vivencias de diversas personas que han compartido alguna de las tantas actividades que Luis desempeñó en su fructífera trayectoria profesional y académica.

# ING. PATRICIA ARNERA

ACADÉMICA PRESIDENTE  
DE LA ACAINGPBA

DIRECTORA DEL  
IITREE-FI-UNLP

Conocí a Luis Lima en marzo de 1982, en oportunidad de jurar y recibir mi título de “Ingeniero Electricista”. La ceremonia se realizó en el antiguo anfiteatro de Hidráulica y atrás del canal que dividía el anfiteatro con el estrado y con el pizarrón, se encontraba una mesa presidida por el Decano de la Facultad, Ing. Diego Cotta, otra persona que no llegué a conocer y Luis en su rol de Director del Departamento de Construcciones. Señalo que me impactó su erguida postura, su señorial presencia que impartía respeto y cordialidad a la vez. Esa primera imagen la mantuve en el recuerdo hasta que los avatares universitarios nos volvieron a reunir en el año 1997, a él como Presidente de la UNLP y a mí a cargo de la Dirección del Instituto de Investigaciones Tecnológicas para Redes y Equipos Eléctricos (IITREE-FI-UNLP). Eran tiempos en que la transferencia de conocimientos en las universidades, aún no estaban interpretadas ni consideradas con lo es actualmente. Previo a mi dirección tuvimos algunos inconvenientes de los cuales, Luis destacó que correspondía continuar por ese camino en el que la generación de conocimiento tiene que ser volcado a la sociedad para su aprovechamiento. Continuamos interactuando en esos roles hasta el año 2001, luego Luis continúa su actividad en la UNNOBA. Nos re-encontramos definitivamente a partir del año 2004 cuando ingreso a la Academia de la Ingeniería de la Provincia de Buenos Aires. Entendiendo la importancia de la transferencia, me invitó como disertante para exponer ese tema en el Primer Congreso Multidisciplinario de la UNNOBA, realizado con el lema “Ciencia, innovación y sociedad, camino al centenario de la Reforma Universitaria”.

Fue Luis como Presidente de la Academia quien sostuvo que debíamos reafirmar la pertenencia al sector científico de la provincia, por lo cual gestionó y concretó la firma de un convenio con la Comisión de Investigaciones Científicas (CIC).

Era un placer disfrutar de sus charlas y presentaciones en las que se destacaba por su exquisito conocimiento de la historia, el arte

y aspectos culturales que los involucraba en los temas técnicos, aún en aquellos que pudieran resultar un poco ásperos. Su ausencia es un gran golpe para todos aquellos que hemos compartido con él significativos

momentos del quehacer universitario y de nuestra Academia. Sin duda extrañaremos la presencia de Luis Lima.



Marzo 1982. Entrega de título FI-UNLP. De izquierda a derecha: Luis Lima; Diego Cotta, XX, Patricia Arnera



2018: Primer Congreso Multidisciplinario de la UNNOBA



# DR. GUILLERMO TAMARIT

RECTOR DE LA  
UNIVERSIDAD NACIONAL  
NOROESTE BUENOS AIRES.

A Luis lo definimos como un caballero universitario atemporal.

Calmo, cercano y defensor ineludible de la educación pública y de la universidad reformista; valores que lo guiaron a través de una larga trayectoria académica y profesional que atravesó el esplendor universitario del gobierno del Presidente Arturo H. Illia, la intervención de Onganía, la dictadura militar, la restitución de los valores democráticos del Presidente Raúl R. Alfonsín y los nuevos desafíos del campo universitario de nuestros días.

Nos conocimos hace 40 años en nuestra querida Universidad Nacional de La Plata. Nuestros coincidentes recorridos académicos en la Escuela "Anexa", en el "Colegio Nacional" y luego la facultad de Cs Jurídicas y Sociales y en su caso la Facultad de Ingeniería tramaron un destino común que luego nos llevaría al gobierno.

Años después otro desafío nos volvió a juntar: la UNNOBA

Una vez más la ya "tradición Lima", concibió una universidad de su tiempo y de su territorio. Popular, inclusiva y de calidad que puso al estudiante en el centro de la escena y al esfuerzo de estudiar como contrato tácito.

Satisfecho por la marcha de la institución que había creado, Luis nos siguió guiando como Guardasellos y Doctor "Honoris Causa".

Hoy nos queda su legado irrenunciable: brindar a nuevas generaciones educación superior de calidad, inclusiva y democrática como garantía real de la movilidad social ascendente.

Querido Luis, gracias por todo.



*Dr. Guillermo Tamarit e Ing. Luis Lima*

# DR. ARQ. FERNANDO TAUBER

VICEPRESIDENTE  
ACADÉMICO DE LA  
UNIVERSIDAD NACIONAL  
DE LA PLATA.

EX PRESIDENTE  
DE LA UNLP

Integré la gestión como Presidente de la Universidad Nacional de La Plata del Ingeniero Luis Julián Lima entre los años 1996 y 2001. Primero como Director de Asuntos Municipales (1996-1998) y luego como Secretario de Extensión Universitaria (1998-2001).

Guardo de él un muy grato recuerdo y un afecto y respeto que se consolidó más aún después de haber pertenecido a su equipo. Recuerdo su claridad conceptual sobre la Universidad Pública. Sus principios y valores que transmitía y contagiaba con su ejemplo.

“Ponga la Universidad en la calle” fue el concepto definitorio de mi gestión en la Secretaría de Extensión Universitaria! No necesitaba decir más. Nos guiaba con su visión.

Un Presidente de la UNLP de la Democracia que resguardó y defendió los principios de la Reforma Universitaria de 1918, modeló nuestra Universidad y respaldó a sus funcionarios, convencido que era el compromiso colectivo el que podía llevar adelante esta universidad inclusiva y de calidad.





2011: Presidentes de la UNLP, en democracia, desde 1983 a 2014. De derecha a Izquierda: Ing. Luis Julián Lima (1992-1995, 1995-1998 y 1998-2001); Dr. Fernando Tauber (2010-2014); Dr. Alberto Ricardo Dibbern (2001-2004); Dr. Ángel Luis Plastino (1986-1989 y 1989-1992); Arq. Gustavo A. Azpiazu (2004-2007 y 2007-2010);

# ING. ARMANDO DE GIUSTI

VICEPRESIDENTE  
ACAINGPBA

EXVICEPRESIDENTE  
ACADÉMICO UNLP

EX DECANO FACULTAD DE  
INFORMÁTICA UNLP

El aporte del Ing. Luis Lima a la disciplina Informática

En estas breves líneas quisiera resaltar la visión y el compromiso que siempre tuvo el Ing. Luis Lima con el desarrollo de Informática en la UNLP y en el país

Desde la vuelta de la democracia, entre 1984 y 1985 se elaboró el primer plan de estudios de Licenciatura en Informática en la Universidad Nacional de La Plata y el Ing. Lima apoyó con entusiasmo la iniciativa

Así se aprobó a mediados de 1985 uno de las primeras titulaciones de grado de 5 años en Informática en el país, marcando el inicio de una evolución que gradualmente se dio en todo el sistema universitario.

La visión del Ing. Lima en ese momento fue muy clara, ya que impulsaba una orientación de esta nueva Licenciatura en Informática vinculada con la combinación de “electrónica y software”... lo cual se concretó casi 25 años después en la Ingeniería en Computación que fue la primer carrera de grado compartida por dos Facultades en la UNLP e iniciada en el año 2010.

Fue fundamental su aporte como Presidente de la UNLP para crear la Facultad de Informática en 1999

Durante todo 1998 acompañó la iniciativa que transcurría en la Facultad de Ciencias Exactas y colaboró en las gestiones para su aprobación por unanimidad en el Consejo Superior de la UNLP el 1 de Junio de 1999, pero también ayudó desde la Presidencia de la UNLP a su puesta en marcha y a generar el proyecto de edificio para la Facultad que se concretó años después

La foto que acompaña la presente es del momento en que Luis Lima como Presidente de la UNLP pone en funciones al Decano Normalizador de la nueva Facultad de Informática, en Junio 1999.



*Ing. Armando De Giusti e Ing. Luis Lima*

# VÍCTOR MENDIBIL

MIEMBRO DE LA  
COMISIÓN PROVINCIAL  
POR LA MEMORIA DE LA  
PCIA. DE BUENOS AIRES.

Luis Lima fue un miembro fundador de la Comisión Provincial por la Memoria (CPM), como representante de la Universidad Nacional de La Plata mientras cumplía su función de Presidente. Corría el año 1999. Su rol fue fundamental para acercar a ambas instituciones en tareas de cooperación que resultaron de alta relevancia para los objetivos y misiones de la CPM que daba sus primeros pasos. El convenio con la Facultad de Informática, que tanto impulsó Luis, fue clave para avanzar en el proceso de digitalización y creación del software de gestión del recién desclasificado Archivo de la Dirección de Inteligencia de la policía bonaerense. Una experiencia pionera sin precedentes.

Aportó su calidez humana, su temple, su concepción pluralista y abierta al debate con otros, a un organismo colectivo compuesto por personas de diferentes procedencias políticas e institucionales que estaba naciendo. Siempre equilibrado en sus posiciones, tratando de acercar las diferencias.

Se mantuvo así en los 20 años que permaneció en nuestra querida CPM, como todo fundador ha dejado su huella en nuestra institución y así lo recordaremos siempre.





*Presentación del Informe Comité Contra la Tortura. "Ojos que no ven: El sistema de la crueldad II. Informe sobre violaciones a los derechos humanos por fuerza de seguridad de la provincia de Buenos Aires 2005-2006"*



*Luis Lima, conversando con Mauricio Tenenbaum (integrante de CPM, también fallecido).  
Atrás de ellos se encuentra Rosa Schonfeld de Bru (Madre de Miguel)*

# M<sup>A</sup> CARMEN ANDRADE PERDRIX

ACADÉMICA  
CORRESPONDIENTE  
ACAINGPBA

DIRECTORA DEL INSTITUTO  
EDUARDO TORROJA DE  
CIENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN  
DEL CONSEJO SUPERIOR DE  
INVESTIGACIONES  
CIENTIFICAS DE ESPAÑA  
1985-1988 Y 1993-2003.

PRESIDENTE DE LA UEATC  
1994-1998

PRESIDENTE DE LA RILEM  
2000-2003

PRESIDENTE DE ALCONPAT  
INTERNACIONAL 2017-2021.

En recuerdo de Luis Lima

Con motivo de su triste fallecimiento y en honor a su trayectoria quisiera transmitir aquí algunos hechos en la vida del Ingeniero Luis Lima que puedan no ser suficientemente conocidos y que yo he tenido la oportunidad de compartir.

Supe del buen hacer como ingeniero del Prof. Luis Lima cuando en los años 80 visité varias veces Buenos Aires para dar conferencias y cursos, pero no tuve ocasión de tratarle.

Fue en el año 2005 con motivo de una reunión de la Federación Internacional del Hormigón Estructural (fib) cuando entré en contacto con él y Carlos Luchtenberg con el fin de organizar conjuntamente entre el Grupo de Investigación que yo coordinaba en el Instituto Eduardo Torroja y la AAHES un curso en Buenos Aires sobre Seguridad y Durabilidad Estructural

Este primer curso llamado "Catedra SEDUREC" fue impartido en 2006 y en sucesivos años hasta 2015, en el que terminó el Proyecto español que lo sustentaba

Esos años el curso se impartió además de en Buenos Aires en Rosario, en Salta y en Neuquén y permitió un intercambio fructífero entre los profesores que eran de ambos países, así como con todos los alumnos que tuvieron la oportunidad de asistir

Durante esos años, le propuse que se incorporase a los trabajos de la RILEM lo que le llevó a ser miembro de su Technical Management Committee y su Bureau, y lo que fue más importante, promovió en 2014 la creación del Grupo Latinoamericano de la Rilem (Lat-RILEM) del que fue su Presidente fundador hasta justo antes de la pandemia, motivo por el cual fue nombrado RILEM Fellow en 2015 y justo este año Miembro Honorario de la RILEM

Además fue miembro ilustre de fib, siendo nombrado como miembro vitalicio en 2006 y como fib Fellow en 2020

Cuando paso a promover la Universidad Nacional del Noroeste de la Pcia. de Buenos Aires, UNNOBA, de la que fué su primer Rector y en la que me involucró para dirigir una tesis doctoral.

También me propuso como Miembro correspondiente de la ilustre Academia de Ingeniería de la Provincia de Buenos Aires de la que era su Presidente, que fue aceptado y a la que me honro ahora en pertenecer en la actualidad

Para mí fue un privilegio tratarle y captar su inmensa humanidad y su intuición en los aspectos estructurales

He sabido tardíamente de su compromiso social como integrante de la Comisión por la Memoria de la Provincia de Buenos Aires, de lo que me hubiera gustado comentar con él, pero dada su modestia no hablaba de sus méritos.

Nos queda su ejemplo de honestidad, capacidad de emprendimiento y aceptación de retos que supusieran un avance de la ingeniería.

Descanse en paz,





# ING. VICTORIO HERNÁNDEZ BALAT

ACADÉMICO TITULAR  
ACAINGPBA

PROFESOR TITULAR  
FI-UNLP

## Fragmentos de 45 años de recuerdos

1978. Facultad de Ingeniería de la UNLP. Aula repleta de alumnos y de humo de cigarrillo. Quinto año. Asignatura: Construcciones de Hormigón Armado.

Luis Lima nunca alzaba la voz y, sin embargo, impecable silencio de por medio, se lo escuchaba perfectamente hasta en los bancos del fondo. Letra inconfundible y dibujos con tizas de colores. Hoy los alumnos le sacarían fotos al pizarrón con sus celulares.

Nunca lo vimos apurado al dar una clase. Cada cosa que decía era la consecuencia natural de lo que acababa de decir y, sin gran esfuerzo, lo que quedaba en nuestros cuadernos era más que suficiente para parciales, para finales y para después.

Recién ahora, sacando cuentas, advierto que Luis, en ese momento, apenas pasaba los cuarenta años. Era Profesor Adjunto. Oreste Moretto era el Profesor Titular. Moretto era un prócer de la Ingeniería y le llevaba veinte años. Dos estilos enteramente diferentes. Luis, voz queda y sistemático. Moretto, vozarrón y pizarrones algo desaliñados. No competían. Se respetaban. Se complementaban. Luis se consideraba su discípulo y lo decía con orgullo.

No mucho después Moretto se jubiló y vinieron los años de Luis como Profesor Titular. Modernizó la mayoría de los temas apuntando siempre a que cada uno de ellos se abordara describiendo y comprendiendo primero el fenómeno físico para pasar luego a su formulación analítica. Los grandes cambios los introdujo a lo largo de un año (¿1986?). Como Jefe de Trabajos Prácticos me tocó correr atrás de esos cambios porque nos íbamos enterando junto con los alumnos de los nuevos enfoques y, como se diría ahora, tuvimos que actualizar la práctica de la materia en tiempo real.

En los años siguientes nos encargó a algunos integrantes de la Cátedra el desarrollo de fascículos de teoría aportando una nueva perspectiva: había que pensarlos no como apuntes sino como capítulos de un libro.



Luis supervisaba hasta la calidad de los dibujos. Fue una época de mucho estudio y de mucho aprendizaje.

Algunas cosas no salieron como él las había pensado. Siendo Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata se puso en marcha un plan de estudios en el que aparecía por primera vez "Proyecto Estructural", una asignatura en la que no había ecuaciones sólo conceptos y criterios de proyecto. Un enfoque novedoso en nuestra Facultad. Se concursaron los cargos de profesor titular y adjunto y de jefes de trabajos prácticos. A último momento se retiraron del concurso los profesionales que se habían anotado para los cargos de profesores y quedamos sólo los jefes de trabajos prácticos. El comienzo del primer curso era inminente. Luis se hizo cargo de la materia hasta que se realizara un nuevo concurso. Había que arrancar de cero. Otra época de mucho

estudio y de mucho aprendizaje. Luego Luis se presentó a concurso y fue profesor titular ordinario de esta asignatura hasta su retiro. Durante sus presidencias en la Universidad Nacional de La Plata creo que lo vi sólo una vez. Cuando finalizó su último período me preguntó: "¿Yo a vos te tuteaba o te trataba de usted? Bueno, me acostumbre a tutear a todo el mundo así que, a partir de ahora, nos vamos a tutear". Nunca pude. Sólo llegué a decirle Luis.

La última vez que conversamos largamente fue el 1 de septiembre de 2022 cuando me regaló el primer tomo de su último libro "Fundamentos del hormigón armado". Fui a su casa. Su oficina estaba en el medio de un frondoso jardín. A sus casi 86 años lo encontré, rodeado de libros, trabajando en el proyecto de una estructura y próximo a partir hacia Europa. Me quedo con esa imagen, con lo aprendido y con mi agradecimiento.



*Porto Alegre, Brasil, 03.07.1987 – De derecha a izquierda: Luis J. Lima, Victorio Cisaruk, ¿?, Raúl Zerbino, Victorio Hernández Balat y Marcelo Wainsztein*

# ING. FRANCISCO BISSIO

PROFESOR- FI-UNLP

Vi por última vez a Luis en un acto académico a fines del año pasado (2022). Pasó a mi lado caminando ágilmente por el pasillo lateral del Anfiteatro de Hidráulica y, por alguna razón, lo primero que me vino a la mente fue que solamente tenía que cambiarse el traje para lucir como aquel miércoles de marzo, seguramente caluroso, en que lo conocí al iniciar el curso de Hormigón Armado. Recuerdo nítidamente haber notado aquel día que, pese a la temperatura, el hombre vestía un riguroso ambo cruzado príncipe de gales, camisa y corbata, lo cual me causó un poco de gracia. Luego entendería que esa formalidad estética, que en cualquier otra persona representaría solamente un perfil antiguo o hasta banal, era en realidad una de las tantas condiciones y exigencias que claramente se imponía, y que en definitiva lo llevaron a coronar sus incontables logros.

La introducción que realizó al curso expuso el modo en que Luis entendía el conocimiento en su forma más general: un enfoque conceptual, permanentemente relacionado con otros campos del saber y referencias que podían ir desde la historia o la filosofía hasta la antropología. Nada se limitaba a meros cálculos; todas sus exposiciones seguían una línea rigurosa de razonamiento, y en las clases desarrollaba los temas, ya fueran simples o complejos, de manera concisa, apoyándose en unos gráficos extraordinarios que surgían en el pizarrón a gran velocidad, con colores y una calidad gráfica asombrosa, prácticamente idénticos a los que mostraba en sus apuntes.

Conjugaba varias facetas que rara vez se encuentran juntas: originalidad, racionalidad absoluta, poder de síntesis, claridad expositiva, y la capacidad de establecer un dominio escénico absoluto sobre su audiencia sin recurrir a grandilocuencias. Ya fuera ante un curso de grado o un público de colegas expertos, su exposición era completa y profunda; nunca menospreciaba al auditorio simplificando la complejidad en busca de una mayor aceptación.

Luis no era modesto, pero mucho menos presuntuoso. En el momento en que fui su alum-

no, estaba llevando a cabo en su actividad privada obras de gran magnitud, pero nunca las usaba como ejemplos, aunque se hubieran ajustado perfectamente a la mayoría de los temas tratados. También, ¿hace falta decirlo?, tuvo una participación política sumamente relevante, pero jamás lo escuché "bajar línea" ni referirse de manera despectiva hacia nadie por ninguna razón. Claramente, su campo de batalla era el de las ideas.

En algún momento comprendí que Luis era una especie de espacio de  $n$  dimensiones correlacionadas entre sí pero al mismo tiempo disímiles, con alguna ley fundamental de generación constante de acciones útiles, liderazgo en actividades, estudio, escritura y muchas otras cosas. Su núcleo era una mente brillante alimentada por un sistema educativo de excelencia, con una curiosidad voraz y una capacidad de trabajo envidiable. Ese universo seguía una ley fundamental: cada día aportaba un poco más de conocimiento, una nueva iniciativa, un problema resuelto, otra idea original.

Cuando llegué a la Universidad procedente del centro de la provincia, no sabía que encontraría mucho, muchísimo más que un título habilitante, pero pronto resultó evidente que tenía a mi disposición una fascinante aventura de conocimiento, supeditada solo a mis limitaciones. Hubo una buena cantidad de docentes que impactaron en mi formación y en la manera en que pienso actualmente, pero detrás de la mayoría de los temas que me han interesado particularmente, sobre los que he reflexionado y, muy modestamente, desarrollado alguna idea, se halla una iniciativa de Luis, o la influencia de otras personas que conocí a través de él.

# REPORTAJE AL LIC. RAÚL PERDOMO

EXPRESIDENTE DE LA  
UNIVERSIDAD NACIONAL  
DE LA PLATA



Este número de la Revista de la Academia de la Ingeniería de la provincia de Buenos Aires está dedicado al tema “Agua: fuente de vida”. Dada su trayectoria académica, su recorrido institucional como Presidente y Vicepresidente de la Universidad y conociendo el impulso que Ud. le dio al tratamiento del tema del agua en la ciudad, la región y el país con la creación del Centro Interdisciplinario de Investigaciones Aplicadas del Agua y el Ambiente, nos interesa recoger sus opiniones sobre el tema.

¿Cuál ha sido la motivación principal de la creación de este Centro interdisciplinario y que actores significativos del ámbito académico y científico participan del mismo? ¿Considera Ud. que la trágica inundación de La Plata en 2013 fue un disparador para llegar al proyecto de este Centro?

La motivación principal para proponer la creación de un centro interdisciplinario dedicado al agua y al ambiente fue la urgente necesidad de abordar determinados problemas desde distintas disciplinas. Dado el alto grado de especialización de nuestros investigadores, resulta imperioso que sepan escuchar los planteos de colegas que estudian el problema desde ángulos diferentes. El problema del agua es claramente multi-



disciplinario y su relación con el ambiente agrega aun mayor complejidad para ser abordado desde una sola especialidad.

La inundación de La Plata, en 2013, impulsó a la UNLP y al CONICET a establecer una línea de proyectos cofinanciados denominados PIO (Proyectos de Investigación Orientados) sobre la emergencia hídrica. Los PIO comenzaron con una convocatoria amplia que llevó a la formulación de "ideas proyecto" por distintos grupos de investigadores. Estas fueron analizadas por especialistas de ambos organismos, actores sociales y funcionarios con responsabilidad de gobierno. Luego, aquellas que resultaron pertinentes, pasaron a una segunda instancia de integración de esas ideas en proyectos multidisciplinarios. El resultado fue muy positivo porque se financiaron solo 6 grandes proyectos que contenían más de 30 de las "ideas proyecto" originales. Cada uno de estos proyectos analizó el fenómeno desde distintas miradas y todos los actores valoraron la experiencia del trabajo multidisciplinario.

Con ese resultado a la vista se conformó el Centro que en su primera versión cuenta con aportes de la UNLP (al menos 6 Facultades están representadas y potencialmente podrían sumarse muchas más), el CONICET (que cuenta en la región con varios centros de dependencia múltiple dedicados al agua y al ambiente), la CIC (que se constituye en un articulador con los organismos provinciales vinculados a la temática), la UNNOBA (con la que la UNLP ha compartido proyectos importantes relacionados con la región NO de la Provincia de Buenos Aires) y naturalmente el INA (referente nacional del tema Agua).

**¿Qué líneas de I+D+I abarca el Centro y cuál es el impacto de las mismas para el país y en particular para la Provincia de Buenos Aires?**

El objetivo final es que cualquier problema vinculado con el agua y el ambiente pueda ser tratado por el Centro, no necesariamente por el personal y Unidades Académicas fundacionales, sino por todo el conjunto de instituciones mencionadas en el punto anterior. En tal sentido, el Centro pretende actuar como un gran articulador del enorme potencial de dicho conjunto.

Por mencionar aquellas líneas que tienen un expertise concreto a partir del personal vinculado directamente con el centro podemos mencionar la Ingeniería Hidráulica, la Hidrogeología, la Geofísica, las Cuencas Hidrográficas, la Agronomía, la Geodesia, la Meteorología, la Economía del Agua y el Derecho al Agua. A estas líneas clásicas hay que agregar muy especialmente la capacidad del centro de evaluar diferentes sistemas de tratamiento de agua para mejorar su potabilización a partir de un laboratorio de última generación.

Este último tema es crucial en la provincia de Buenos Aires (y en otros lugares del país) cuyas aguas subterráneas tienen distintos componentes naturales o contaminantes artificiales que condicionan su calidad.

Por otra parte, la disponibilidad de agua y la urgente necesidad de contar con un mapa hidrogeológico actualizado, involucra a varias de las especialidades del centro.

**¿Cómo se relaciona/debiera relacionarse el Centro con las Universidades de la región y con CONICET y CIC, en particular considerando la red ambiental CONICET-CIC-RUMBO?**

La vinculación con CONICET y CIC esta formalizada en la misma conformación del Centro, no obstante, es importante activar la vinculación con las Unidades Ejecutoras y las Universidades de la región.

En el documento institucional que establece la gobernanza del Centro está previsto el

funcionamiento de un Consejo Consultivo que hasta el presente se ha reunido solo un par de veces, y su continuidad fue afectada por la pandemia. Ese Consejo Consultivo, menciona explícitamente, aunque no es excluyente, a las siguientes instituciones

La red RUNBO de Universidades del interior de la Provincia de Buenos Aires, las Unidades Ejecutoras de CONICET y CIC vinculadas con la temática, INTA, INTI, SEGEMAR, ADA, OPDS, Direcciones de Hidráulica provincial y nacional, Servicio Meteorológico Nacional.

Este Consejo debería constituirse en un centro articulador de proyectos, y de información compartida, actualizada y de acceso libre. Este último punto es clave para el trabajo racional de todos los organismos de investigación, así como los organismos públicos ejecutivos, deliberativos, cooperativas de servicios, asociaciones industriales y empresarias, etc.

Por otra parte, el Centro se ha constituido en la referencia institucional para la cooperación internacional en la temática, entre otros, con la Universidad de Granada (España) se realizaron varios encuentros y talleres organizados por la Secretaría de Relaciones Institucionales de la UNLP con el apoyo técnico del Centro y la participación plena de sus representantes, con el fin de establecer "las líneas de base" en relación a los ODS, orientados al agua y al ambiente.

Con la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), se realizaron dos talleres para explorar líneas de interés común con el grupo UPM WATER. Se firmó un convenio marco de cooperación y se recibió la visita de la directora de UPM WATER, Dra. Leonor Rodríguez Sinobas quien desarrolló una intensa actividad en Mendoza, La Plata y San Antonio de Areco sobre la temática de riego. Actualmente se trabaja en conjunto para promover la movilidad de posgrado entre ambas Instituciones.

Con el ZEO Group con sede en Brasil se realizaron varias reuniones de trabajo tendientes a la utilización de zeolitas para la depuración de agua potable. Se espera coordinar un plan de trabajo para la experimentación de esta técnica en el laboratorio del CIIAAA. Un convenio marco de cooperación ya fue firmado por las partes.

El Centro tuvo a su cargo en mayo de 2022 la organización de la Jornada Internacional de Hidrogeología Urbana en el marco de cooperación con Italia (CUIA-Consorcio Universitario Italiano para la Argentina).

**Desde su experiencia ¿Cuáles serían las temáticas prioritarias para la región, relacionadas con el agua? ¿Cuál debiera ser el rol de la Ingeniería en las obras que se requieran para atender estas temáticas?**

Como platenses, hemos sufrido la tragedia generada en nuestra ciudad por la falta de obras de infraestructura y el mal manejo de las existentes. En estos años se han realizado numerosas obras en relación con aquella inundación. No obstante, una lluvia reciente mostró que varios sectores de la ciudad aun no han resuelto sus problemas hidráulicos.

Por otra parte, la falta o escasez del servicio de agua en vastas zonas de La Plata, es un tema central a resolver en el futuro cercano. Los acueductos planificados para dotar a esos sectores de agua del río necesitan ser revisados e inspeccionados rigurosamente para que no se repitan problemas de pérdidas y roturas que se han visto recientemente.

Amplias zonas del conurbano, y del interior de la Provincia padecen problemas semejantes, y las soluciones seguramente necesitarán también obras de ingeniería y estudios hidrogeológicos, geofísicos y ambientales.

La cooperación del Centro con las cooperativas que proveen de agua y servicios de cloacas a la mayoría de las ciudades del interior de la provincia y el país es permanente. Entre las acciones más destacadas es la elabora-

ción por miembros del Centro de un manual de buenas prácticas, y la cercana puesta en marcha de cursos de capacitación.

Se espera para los próximos meses que el laboratorio de ensayo de bombas se encuentre completamente operativo. Será un servicio importante para analizar la capacidad de una serie de equipos (bombas de agua) que no se adaptan a los escasos laboratorios existentes.

A principios de abril se iniciaron las actividades educativas específicas para el bachillerato en Saneamiento y Gestión Ambiental del Colegio Nacional de la UNLP creado hace unos años por iniciativa de la Facultad de Ingeniería.

Están en evaluación proyectos de tratamiento de aguas residuales en zonas rurales por medio de humedales artificiales y diseño sustentable de cámaras sépticas y pozos sustentables, no contaminantes para zonas carentes del servicio de cloacas.

**Por último, sería interesante que Ud. cerrara esta nota con una reflexión sobre la problemática del Agua a nivel país y la importancia del rol de las Universidades y los organismos de Ciencia y Tecnología para dar soluciones a los temas que están pendientes.**

El sistema científico tecnológico del país y la región se encuentra altamente capacitado para ayudar a resolver los distintos problemas que se presentan tanto para usos urbanos y rurales como para el empleo del agua en distintos procesos industriales.

Como “sistema” que tiene todos los componentes necesarios, se debe impulsar el trabajo

interdisciplinario, fortalecer y multiplicar las convocatorias que tengan esta característica y que se orienten a la solución de problemas concretos.

Estos problemas concretos pueden ser tan simples como enseñar a construir un pozo ciego que no contamine acuíferos, o mucho

más complejos, como el uso del recurso agua en procesos industriales y mineros. Seguramente algunos de estos procesos no son sustentables, pero muchos otros son factibles. El sistema científico tecnológico puede determinar con precisión esta factibilidad y establecer las condiciones que los hagan seguros y sustentables.

Naturalmente el “sistema” debe ser requerido por los organismos oficiales encargados de las políticas sociales, de las obras públicas, de fomentar, autorizar y controlar los emprendimientos industriales y empresariales. Las palabras claves de los aportes posibles son contribuir al análisis, planificación y control.

Igualmente es fundamental por parte del sistema el reconocimiento de estas actividades de los investigadores, que los incentive y reconozca debidamente para permitir su progreso personal.

Es importante tener en cuenta que el CONICET a su vez es socio de las universidades nacionales, sus investigadores son docentes e investigadores universitarios.

Es decir que de alguna forma se conecta la producción con el mundo académico.

Es una experiencia muy interesante que podría repetirse también en otras áreas como la de la salud o el agro, donde se podría traccionar de una forma más directa las necesidades del mundo productivo con el académico.

# GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES. HACIA UN ENFOQUE HOLÍSTICO Y SUSTENTABLE.



**ING. GUILLERMO  
JELINSKI.**

**SUBSECRETARIO DE RECURSOS  
HÍDRICOS DE LA PROVINCIA DE  
BUENOS AIRES.**

**REPRESENTANTE TITULAR DE LA  
PCIA DE BA EN EL CONSEJO  
HÍDRICO FEDERAL (COHIFE).**

Ing. Hidráulico y Civil (UNLP), Master en Ecoauditorías y Planificación Empresarial del Medioambiente (2002), Máster en Ecohidrología (Tesista). Diplomado en Bases y Herramientas para la Gestión Integral del Cambio Climático (2020). Profesor en la carrera de Ingeniería Hidráulica de la Facultad de Ingeniería de la UNLP y en la Maestría en Ingeniería Ambiental de la UTN Regional La Plata.



## Introducción

El agua es un recurso vital para la vida en la Tierra y un factor esencial en el desarrollo sostenible en los ámbitos económico, social y ambiental. Esta constituye un elemento clave para los ecosistemas y para las actividades productivas que impulsan el desarrollo económico y social. Además, el acceso al agua es un derecho humano fundamental que incide directamente en la vida y dignidad de las personas.

En el contexto actual, caracterizado por la crisis climática y la explotación intensiva de los recursos hídricos, la gestión del agua representa un desafío creciente. Es imperativo que la gestión adecuada de los recursos hídricos ocupe un lugar central en las políticas públicas, tanto para mejorar la productividad en sectores rurales e industriales, como para proteger los ecosistemas acuáticos y promover el bienestar en las comunidades, especialmente en áreas urbanas vulnerables, donde el acceso suficiente y de calidad al agua es esencial para prevenir enfermedades y mejorar la calidad de vida.

Históricamente, la gestión del agua se ha centrado en la construcción de infraestructuras hidráulicas como presas, embalses, canales y acueductos, así como sistemas de saneamiento pluvial y cloacal. Estas estructuras son vitales para garantizar el suministro de agua potable, para la industria y el agro, el tratamiento de los efluentes, la generación de energía y la reducción del riesgo de inundaciones. No obstante, en un mundo cada vez más complejo y amenazado por el cambio climático, se reconoce la necesidad de adoptar un enfoque más holístico y sostenible de la gestión del agua, enfocado en las cuencas hídricas como unidades de gestión y planificación.

## La Gestión del Agua en la Provincia de Buenos Aires

La Provincia de Buenos Aires (PBA en adelante), Argentina, se enfrenta a diversos de-

safíos en relación con la gestión del agua. Como la provincia más poblada del país, la disponibilidad y calidad del agua son críticas para el bienestar de sus habitantes y el desarrollo de sus actividades económicas.

El gobierno de la PBA ha implementado un plan de acción destinado a asegurar el acceso al agua potable y saneamiento para toda su población, junto a la reducción del riesgo por inundaciones. Este plan se basa en la condición de que estos servicios básicos deben ser de acceso público y universal, dado que son fundamentales para la salud de los bonaerenses. Asimismo, busca proteger los recursos hídricos, los ecosistemas acuáticos y los servicios ambientales y sociales que proporcionan.

En consecuencia, la Subsecretaría de Recursos Hídricos (SSRH en adelante) de la PBA ha establecido cuatro principios básicos que orientan su gestión:

- *El Agua es **Vida***: Se enfoca en regenerar y proteger los ecosistemas acuáticos, incorporando soluciones basadas en la naturaleza y medidas que permitan la mitigación y adaptación a la crisis climática.

- *El Agua es **Salud***: Reconoce que el acceso al agua potable y segura es esencial para una vida saludable y digna. Los servicios de agua potable y saneamiento se consideran derechos humanos fundamentales.

- *El Agua es **Soberanía***: El agua debe ser considerada como un bien común y ser gestionado desde una perspectiva pública, como un bien de todos y todas. El agua se ha transformado en un factor de debate prioritario en la escena internacional y regional conforme se vio acrecentada su importancia en relación con el desarrollo económico de los Estados y de las corporaciones. Este posicionamiento se contrapone con quienes piensan en el agua como un bien privatizable y como un valor especulativo en el mercado. El agua es un derecho social y humano, y de todos los seres vivos. Su aprovechamiento

y usufructo también deben corresponder a una lógica colectiva.

• *El Agua es Desarrollo **Sustentable***: La base de la sustentabilidad es lograr que las generaciones futuras puedan disfrutar del agua al igual que nosotros y esto está íntimamente relacionado con el modelo de desarrollo que hoy tenemos. Necesitamos un modelo que considere lo ambiental, lo económico y lo social en un contexto de equidad, justicia y el bienestar de los más necesitados.

La prestación de servicios adecuados de agua y saneamiento son esenciales para lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible en su conjunto, incluidos los relativos a la salud, acción por el clima, restauración de ecosistemas, ciudades sostenibles y la igualdad de género.

#### *Lineamientos Estratégicos para la Gestión del Agua*

Con el fin de cumplir con estos principios, la SSRH ha establecido cinco lineamientos estratégicos que guían sus políticas y acciones:

##### *La Cultura del Agua:*

La concientización sobre los beneficios del uso sustentable del agua en la población, implican educar y sensibilizar a la sociedad sobre la importancia del agua en la vida y promover prácticas responsables en su uso y conservación.

##### *El Agua como Ordenadora del Territorio:*

La planificación territorial se debe dar considerando el agua como base para ello, no sólo por las características que hacen habitable un lugar por la geomorfología, o por su comportamiento natural en el ecosistema y el riesgo que puede llegar a representar, sino también por su factibilidad de disponibilidad para el uso y consumo racional.

##### *Institucionalidad Hídrica:*

La gobernanza hídrica que se basa en la coordinación efectiva entre instituciones públicas y privadas, garantiza la transparencia en la gestión del agua y el uso racional de un recurso que se pone en tensión por los distintos actores de la cuenca.

##### *Mejoramiento e Innovación Tecnológica y de Capacidades para la Gestión Hídrica:*

Las nuevas tecnologías hídricas incluyen modelos de decisión adaptados a las condiciones de la PBA, teniendo en cuenta la variable crisis climática, la incorporación de tecnologías de medición, monitoreo y relevamiento de datos hidrometeorológicos, de potabilización, de tratamiento y reúso de efluentes, de relevamiento del territorio y modelación matemática.

##### *Fortalecimiento y Mejora de la Infraestructura Hídrica:*

La expansión, optimización y rehabilitación de los servicios de agua potable y desagües cloacales tienen el objetivo de lograr el acceso universal a los mismos. Las obras hidráulicas, tienen como propósito el saneamiento y cuidado de los ecosistemas acuáticos de La Provincia.

##### **Acciones de la Subsecretaría de Recursos Hídricos en la Provincia de Buenos Aires**

La SSRH tiene como objetivo principal supervisar y coordinar diversas actividades relacionadas con proyectos y obras hidráulicas, saneamiento hidro-ambiental, y control y prevención de inundaciones en la PBA. Las obras hidráulicas abordan la gestión integral de las cuencas, la intervención en cursos de agua, la ejecución de desagües pluviales urbano y la protección de las márgenes y las costas. En cuanto a las obras de agua y cloacas, se centran principalmente en mejorar el abastecimiento y la distribu-

ción de agua potable, así como en la intervención en redes de desagües cloacales y plantas de tratamiento de efluentes domiciliarios .

La SSRH también está comprometida con la educación para la cultura del agua, a través del programa "EDUCAGUA" que ofrece diversas iniciativas, incluyendo material educativo, cursos de formación para docentes y capacitaciones para el público en general. En este marco se ha implementado a través de la Dirección de Monitoreo Hídrico la capacitación de "Promotores del Cuidado del Agua" que apunta a establecer hábitos cotidianos en torno a las "3R del Agua": reducir, reusar y respetar. Además, se cuenta con el "Programa de Educación Ambiental del Río Reconquista (PEARR COMIREC)".

La SSRH a través de la Dirección Provincial de Hidráulica (DPH) se enfoca en la planificación y gestión de los recursos hídricos de la PBA, incluyendo la ejecución, operación y mantenimiento de obras hidráulicas. Dentro del organigrama de la DPH se encuentra la Dirección de Mantenimiento que se encarga de la limpieza no estructural de 2 mil km de cursos de agua de la PBA con principal foco en el Conurbano, tarea que desarrolla a través de convenios con cooperativas prestadoras de este servicio. Esta dirección junto a la Dirección de Monitoreo Hídrico (DMH) han desarrollado el "Manual de Buenas Prácticas Ambientales para las tareas de Limpieza y Mantenimiento" con el objetivo de realizar intervenciones manuales con el menor impacto ambiental posible sobre los cauces, tendiendo hacia la restauración de los ecosistemas fluviales.

Para el abastecimiento de agua potable y cloacas la SSRH a través de la Dirección Provincial de Agua y Cloacas (DIPAC), trabaja en proyectos de ingeniería siguiendo las mejores prácticas de la especialidad y abordando las necesidades identificadas en el Plan Provincial de Agua y Cloacas. También está comenzando a desarrollar un Programa de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN) en colaboración DMH, mediante el cual se

diseñan humedales construidos para mejorar la calidad del vuelco de las Plantas de Tratamiento de Efluentes Cloacales.

De la SSRH también depende el Comité de Cuenca del Río Reconquista (COMIREC), el cual coordina y ejecuta las acciones relacionadas con el saneamiento ambiental, la preservación del recurso hídrico y la mejora de la calidad de vida en la Cuenca del Río Reconquista. En el mismo sentido el Comité de Cuenca del Río Luján (COMILU) trabaja en acciones destinadas a conservar el recurso hídrico y gestionarlo de manera integrada y sostenible en la Cuenca del Río Luján.

Por último, la Dirección de Monitoreo Hídrico tiene como objetivo principal acompañar los planes de gestión de riesgos, aportando análisis sobre las variables hidroambientales y articulando programas no estructurales con resto de las áreas de la Subsecretaría. A su vez coordina la Mesa de Riesgo Hídrico ([www.gba.gob.ar/riesgohidrico](http://www.gba.gob.ar/riesgohidrico)) creada en marzo de 2023 y el Programa Provincial de Gestión Integral de Cianobacterias, pionero a nivel nacional como política pública provincial que ha logrado establecer un Sistema de Alerta Temprana conocido como Cianosemáforo ([www.gba.gob.ar/cianobacterias](http://www.gba.gob.ar/cianobacterias)).

## Conclusiones

La gestión integral del agua en la PBA se ha convertido en una prioridad para garantizar el acceso al agua potable y al saneamiento, disminuir el riesgo hídrico de las localidades y áreas rurales por inundaciones, proteger los ecosistemas acuáticos y promover el desarrollo sustentable. La SSRH ha establecido principios y lineamientos estratégicos que orientan sus acciones hacia un enfoque holístico y sostenible de la gestión del agua, promoviendo la incorporación de la perspectiva de género en todas sus acciones. El agua es un recurso fundamental para la vida y el bienestar humano, y su gestión adecuada es esencial para afrontar los desafíos de la crisis climática y el crecimiento

poblacional. La PBA está comprometida en asegurar el acceso universal al agua potable y saneamiento, promoviendo la salud, la soberanía y la sustentabilidad hidroambiental. El enfoque holístico, los principios y lineamientos estratégicos son un paso fundamental hacia una gestión del agua más efectiva y sustentable en la Provincia, y sirven de ejemplo para abordar los desafíos hídricos a nivel global. La gestión integral del agua es esencial para construir un futuro con justicia social, con soberanía y con prosperidad para las generaciones presentes y futuras, a efectos de asegurar el uso sustentable de un recurso vital para el hombre y todos los seres vivos.





# POSGRADO

## FACULTAD DE INGENIERÍA

2024

# Formación académica y científica de excelencia

Doctorado en Ingeniería (Categoría "A" CONEAU)

Cursos de Posgrado Académicos y Profesionales

Maestrías y Especializaciones

POSGRADO DE INGENIERÍA

Tel: (+54) (221) 425-8911 / Interno 3009

[posgrado.ing.unlp.edu.ar](http://posgrado.ing.unlp.edu.ar)

[epec@ing.unlp.edu.ar](mailto:epec@ing.unlp.edu.ar)

Calle 1 y 47 - La Plata - Buenos Aires - Argentina



Abierta  
la inscripción



FACULTAD  
DE INGENIERÍA



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DE LA PLATA



# APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

MARIANO DE DIOS<sup>(1)</sup> Y SERGIO O. LISCIA<sup>(1) Y (2)</sup>

<sup>(1)</sup> DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA, FACULTAD  
DE INGENIERÍA, UNIVERSIDAD DE LA PLATA  
<sup>(2)</sup> ACADEMICO TITULAR ACAINGPBA



## Introducción

Los Aprovechamientos Hidroeléctricos del río Santa Cruz (AHRSC), ubicados en la provincia homónima, son un viejo anhelo del interés energético argentino, postergados por diferentes motivos a lo largo de los años.

El complejo hidroeléctrico, actualmente en construcción, está conformado por dos presas, denominadas Presidente Dr. Néstor Carlos Kirchner (NK, ex Cónдор Cliff) y Gobernador Jorge Cepernic (JC, ex La Barrancosa). Estas represas constituyen la Obra Pública más importante en ejecución por parte del Estado Nacional, y se trata del proyecto más grande en el extranjero financiado por la República Popular China.

El inicio de las obras en el año 2015 marcó el cierre de un ciclo que implicó varios intentos y adaptaciones del proyecto a lo largo de la historia. Las obras han enfrentado desafíos técnicos y ambientales a lo largo de su desarrollo y representan un paso significativo en la diversificación de la matriz energética del país. Las represas Néstor Kirchner y Jorge Cepernic permitirán un desarrollo sostenible de la región y aportarán un poco más de 5.000 GWh/año, equivalentes al 5 % por ciento de la energía que consume el país. Contar con un gran complejo hidroeléctrico en el extremo sur, conformado por dos centrales hidroeléctricas en Santa Cruz, permite que en el Sistema Argentino de Interco-

nexión (SADI), desde el sur hacia el norte, puedan conectarse otros parques energéticos como los eólicos y solares. Esto va a permitir un gran desarrollo de la Patagonia a mediano plazo.

El proyecto concebido para la licitación, como es dable esperar, se ha ido modificando conforme a la profundización del conocimiento geológico, geotécnico, ambiental, hidráulico e hidrológico, llevando cada modificación a soluciones técnicas/científicas que permitan superar los inconvenientes suscitados.

En este artículo se realiza una descripción general de cada uno de los proyectos que conforman los AHRSC, así como también, las principales modificaciones efectuadas durante la construcción de los mismos para atender a los requerimientos ambientales. Finalmente, se presenta el estado actual de la construcción de las obras.

## Descripción general de los Aprovechamientos Hidroeléctricos del río Santa Cruz

Las presas NK y JC se encuentran ubicadas en la Patagonia Argentina, en la provincia de Santa Cruz. Ambas obras, emplazadas sobre el curso del río Santa Cruz, constituyen los Aprovechamientos Hidroeléctricos del río Santa Cruz, cuya finalidad es la generación de energía. En la Figura 1 se observa la ubicación de las presas, la hidrografía de la zona y

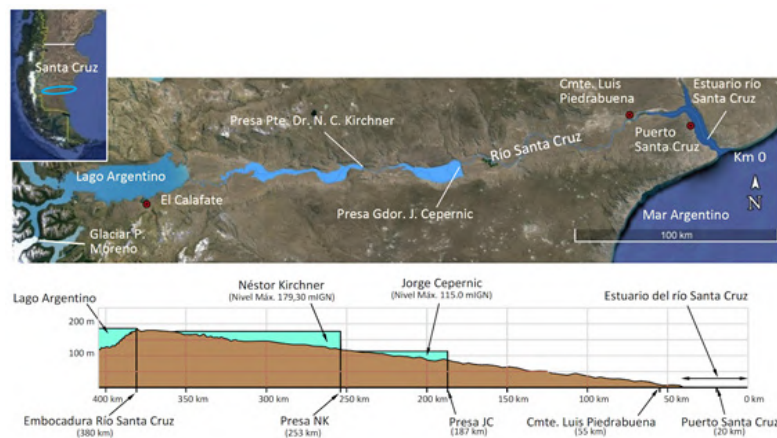


Figura 1.- Ubicación de los Aprovechamientos Hidroeléctricos del río Santa Cruz, presa Pte. Dr. Néstor C. Kirchner (NK) y presa Gdor. Jorge Cepernic (JC): vista en planta (superior); perfil longitudinal (inferior)

las localidades más cercanas.

La presa NK está situada a una distancia de 127 km de la salida del lago Argentino, en coordenadas 50° 12' 45" Sur y 70° 47' 1" Oeste. La población más cercana es la ciudad de Calafate. La obra está conformada por una presa de escollera con pantalla de hormigón en el talud de aguas arriba (CFRD), una central hidroeléctrica equipada con 5 turbinas Francis, descargadores de fondo y medio fondo, y un aliviadero de superficie regulado por compuertas. En la Figura 2 se presenta un esquema general del aprovechamiento, mientras que en la Tabla 1 se resumen las características principales del aprovechamiento NK.

El aprovechamiento JC se encuentra localizado aguas abajo del cierre NK a una distancia de 70 km, en coordenadas 50° 11' 9" Sur y 70° 7' 29" Oeste. La población más cercana es la ciudad de Comandante Luis Piedrabuena. Al igual que la presa NK, este aprovechamiento está conformado por una presa de escollera con pantalla de hormigón en el talud de aguas arriba (CFRD), una central hidroeléctrica equipada con 3 turbinas Kaplan, descargadores de fondo y un aliviadero de superficie regulado por compuertas. En Figura 3 se presenta un esquema general del aprovechamiento y la Tabla 2 resume las características de la presa JC.

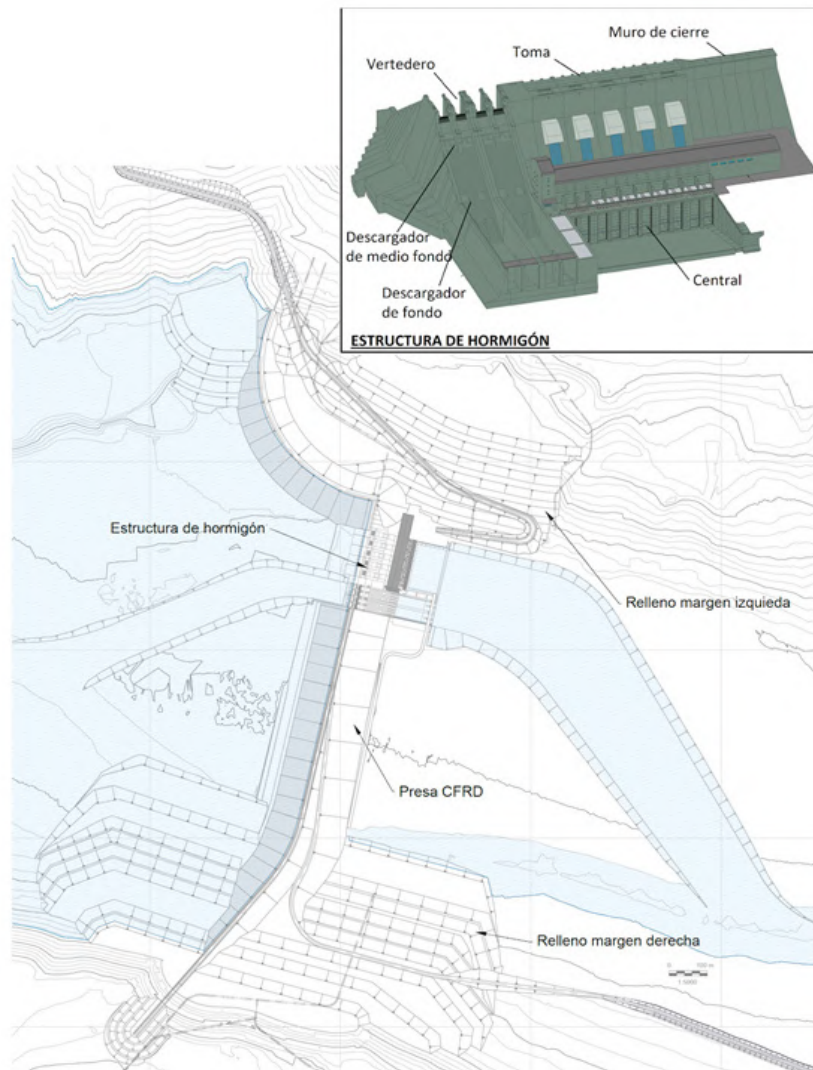


Figura 2. - Esquema general - Aprovechamiento hidroeléctrico Pte. Dr. Néstor Carlos Kirchner.



<b>Embalse</b>	Caudal medio anual (módulo del río)	720 m <sup>3</sup> /s	
	Caudal crecida decamilenario	4.160 m <sup>3</sup> /s	
	Caudal máximo de crecida registrado	2.520 m <sup>3</sup> /s	
	Volumen del embalse a nivel máximo normal	5.800 Hm <sup>3</sup>	
<b>Presa</b>	Tipo	CFRD	
	Altura máxima	71,6 m	
	Longitud /ancho	1.850 m /10,95 m	
	Cota de coronamiento	180,6 mIGN	
	Cota de parapeto rompeolas	181,8 mIGN	
	Cota máxima extraordinaria	179,3 mIGN	
<b>Vertedero</b>	Ubicación respecto de presa (hacia aguas abajo)	Margen izquierda	
	Tipo	Recto	
	Caudal máximo de diseño	4.160 m <sup>3</sup> /s	
	Ancho total	60 m	
	Compuertas	Cantidad	4
		Tipo	Radial
		Dimensiones (alto x ancho)	9,5 m x 12 m
	Órgano de disipación	Cuenco disipador	
Cota de cresta	167,5 mIGN		
<b>Descargador de medio fondo</b>	Ubicación respecto de presa (hacia aguas abajo)	Margen izquierda	
	Número de conductos	4	
	Órgano de cierre	Cantidad	4
		Tipo	Compuerta plana
		Dimensiones (alto x ancho)	5 m x 4 m
	Caudal máximo unitario	350 m <sup>3</sup> /s	
Cota de umbral del conducto	150 mIGN		
<b>Descargador de fondo</b>	Ubicación respecto de presa (hacia aguas abajo)	Margen izquierda	
	Número de conductos	4	
	Órgano de cierre principal	Cantidad	4
		Tipo	Compuerta radial
		Dimensiones (alto x ancho)	4 m x 3 m
	Órgano de cierre de emergencia	Cantidad	4
		Tipo	Compuerta plana
		Dimensiones (alto x ancho)	4 m x 3 m
Caudal máximo unitario	350 m <sup>3</sup> /s		
Cota de umbral del conducto	122 mIGN		
<b>Central</b>	Ubicación respecto de presa (hacia aguas abajo)	Margen izquierda	
	Caracterización de la central	Punta	
	Cantidad de turbinas	5	
	Tipo de turbinas	Francis	
	Caudal nominal turbinado	365 m <sup>3</sup> /s	
	Caudal máximo de operación	365 m <sup>3</sup> /s	
	Caudal mínimo de operación	242 m <sup>3</sup> /s	
	Salto de diseño	57,9 m	
	Salto máximo de operación	61,4 m	
	Salto mínimo de operación	49,6 m	
	Potencia instalada	950 MW	
	Energía media anual mínima (central empuntada)	3.286 GWh/año	
	Energía media anual máxima (central base)	3.350 GWh/año	
	Velocidad de rotación de turbina	100 rpm	
	Número de álabes del rotor de turbina	13	
	Número de álabes del distribuidor	24	
	Center line del rotor de turbina	109 m	
	Altura del álabe del distribuidor	2.068 mm	
	Diámetro superior D1	6.300 mm	
	Diámetro inferior D2	6.682 mm	
Órgano de cierre	Compuerta plana		
Potencia nominal de generadores	190 MW		

Tabla 1.- Características principales del aprovechamiento hidroeléctrico Pte. Dr. Néstor Carlos Kirchner.

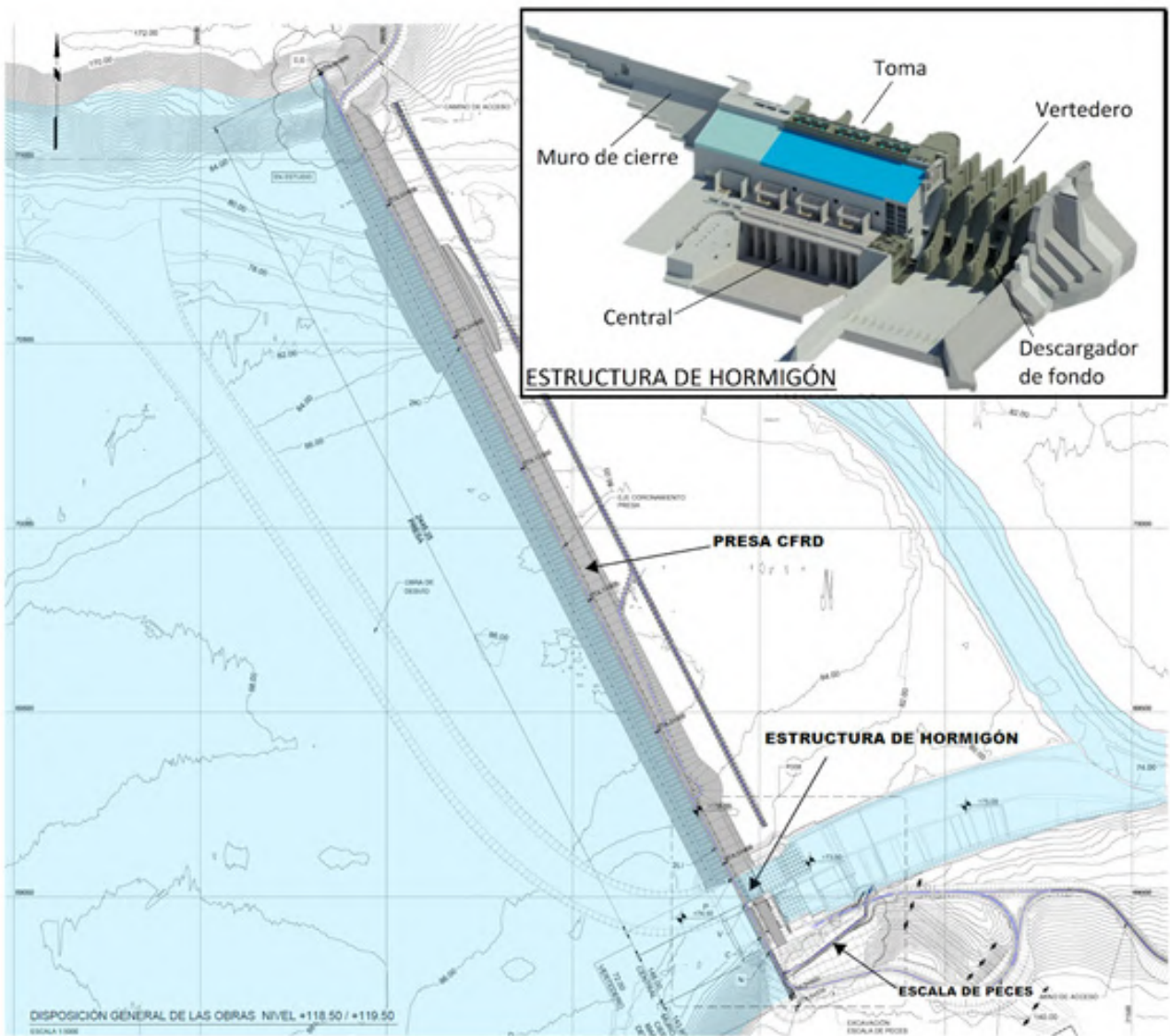


Figura 3.- Esquema general – Aprovechamiento hidroeléctrico Gdor. Jorge Cepernic



<b>Embalse</b>	Caudal medio anual (módulo del río)	720 m <sup>3</sup> /s	
	Caudal crecida decamilenario	4.160 m <sup>3</sup> /s	
	Caudal máximo de crecida registrado	2.520 m <sup>3</sup> /s	
	Volumen del embalse a nivel máximo normal	3.000 Hm <sup>3</sup>	
<b>Presa</b>	Tipo	CFRD	
	Altura máxima	45,5 m	
	Longitud /ancho	2.440 m / 9,20 m	
	Cota de coronamiento	118,5 mIGN	
	Cota de parapeto rompeolas	119,7 mIGN	
	Cota máxima extraordinaria	115,0 mIGN	
	Cota máxima normal	114,0 mIGN	
<b>Vertedero</b>	Ubicación respecto de presa (hacia aguas abajo)	Margen derecha	
	Tipo	Recto	
	Caudal máximo de diseño	4.160 m <sup>3</sup> /s	
	Ancho total	72 m	
	Compuertas	Cantidad	6
		Tipo	Radial
		Dimensiones (alto x ancho)	10,62 m x 12 m
	Órgano de disipación	Cuenco disipador	
Cota de cresta	105,0 mIGN		
<b>Descargador de fondo</b>	Ubicación respecto de presa (hacia aguas abajo)	Margen derecha	
	Número de conductos	4	
	Órgano de cierre principal	Cantidad	4
		Tipo	Compuerta radial
		Dimensiones (alto x ancho)	4 m x 3 m
	Órgano de cierre de emergencia	Cantidad	4
		Tipo	Compuerta plana
		Dimensiones (alto x ancho)	4 m x 3 m
	Caudal máximo unitario	296 m <sup>3</sup> /s	
	Cota de umbral del conducto	76,2 mIGN	
<b>Central</b>	Ubicación respecto de presa (hacia aguas abajo)	Margen derecha	
	Caracterización de la central	Base	
	Cantidad de turbinas	3	
	Tipo de turbinas	Kaplan	
	Caudal nominal turbinado	382 m <sup>3</sup> /s	
	Caudal máximo de operación	394 m <sup>3</sup> /s	
	Caudal mínimo de operación	133 m <sup>3</sup> /s	
	Salto nominal	34,4 m	
	Salto máximo de operación normal	36 m	
	Salto mínimo de operación	33,3 m	
	Salto mínimo extraordinario / Caudal mínimo extraordinario	26,5 m / 126 m <sup>3</sup> /s	
	Potencia instalada	360 MW	
	Energía media anual	1.942 GWh/año	
	Velocidad de rotación de turbina	107,1 rpm	
	Número de álabes del rotor de turbina	6	
	Número de álabes del distribuidor	24	
	Center line del rotor de turbina	69,3 m	
	Altura del álabe del distribuidor	2.625 mm	
	Diámetro rodete	7.000 mm	
	Órgano de cierre	Compuerta plana	
	Potencia nominal de generadores	120 MW	

Tabla 2.- Características principales del aprovechamiento hidroeléctrico Gdor. Jorge Cepernic

## Adecuación de los proyectos a los nuevos desafíos ambientales

El proyecto básico de licitación pública tuvo que experimentar una serie de ajustes significativos con el propósito de abordar de manera efectiva los desafíos ambientales que emergieron a lo largo del tiempo. Básicamente, se buscó proteger los sectores no inundados por los embalses, tanto aguas arriba de NK (Lago Argentino) como aguas abajo de JC (tramo inferior del río y estuario). En la Figura 4 se muestran los sectores protegidos a partir de las adecuaciones del proyecto licitatorio.

Sin lugar a dudas, entre las modificaciones más destacadas de los campos ambientales, hidráulicos e hidrológicos, se puede citar el cambio de los niveles de los embalses que componen las obras, a fin de garantizar que se mantengan intactas las oscilaciones naturales del lago Argentino, estudio que se conoce como “desacople de las obras hacia el lago Argentino”.

La no afectación del lago Argentino por parte de la presa NK garantiza también que los glaciares que descargan sobre este cuerpo de agua no se vean afectados, en particular, el glaciar Perito Moreno.

El nivel máximo normal de operación (NMN)

estipulado en el pliego de licitación para la presa NK estaba fijado en la cota 178,90 m. Sin embargo, a través de análisis hidráulicos fundamentales, se identificó que este nivel tenía un impacto adverso en la descarga natural de caudales del Lago Argentino. En otras palabras, el nivel resultante del lago para la mencionada cota de embalse se situaría por encima del rango natural de fluctuación del nivel del mismo. Como ejemplo, para caudales bajos en el río Santa Cruz, el nivel natural del lago se sitúa en cotas cercanas al valor de 177 m. Por lo tanto, al definir el nivel máximo normal de operación en la cota de 178,90 m, el Lago Argentino se vería obligado a aumentar su nivel para mantener la misma descarga de caudal.

El análisis descripto condujo a la necesidad de estudiar un nuevo nivel máximo para el embalse NK. Para la definición del nuevo NMN se tuvieron en cuenta las siguientes premisas:

- Preservar las fluctuaciones naturales del lago Argentino.
- No interferir en el rango de niveles históricos del lago Argentino para cada caudal descargado por el mismo.
- Maximizar la generación de energía, teniendo en cuenta el objetivo principal de cumplir con los requisitos ambientales.

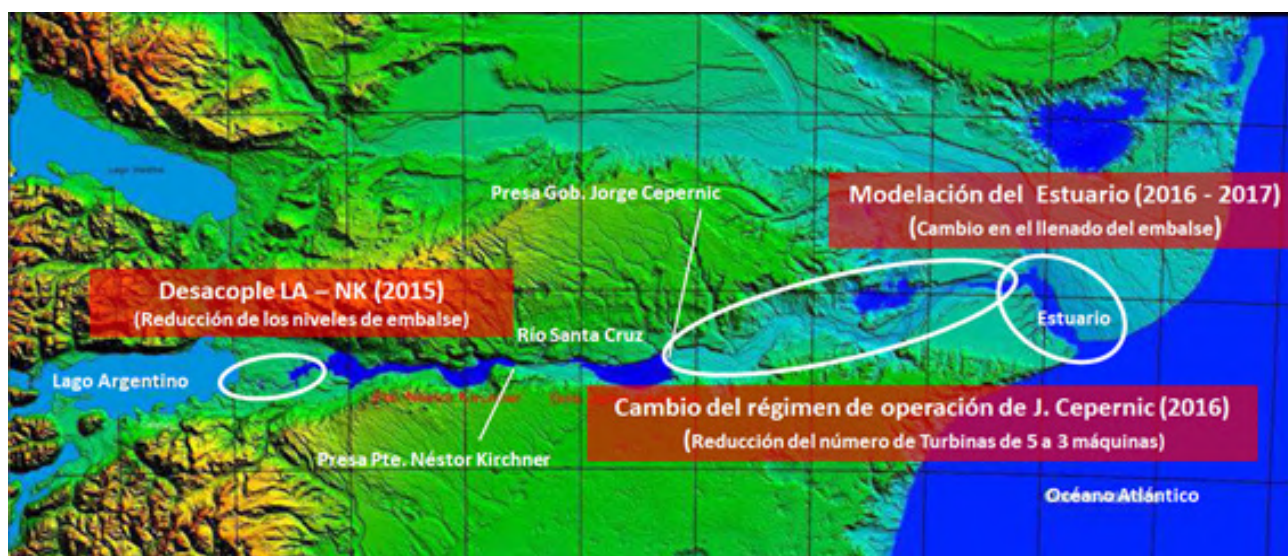


Figura 4.- Adecuación de los proyectos a los nuevos desafíos ambientales

El proceso de estudio llevado a cabo para establecer un nuevo nivel de operación involucró, dada la importancia de este cambio, la ejecución de tres informes independientes (UNLP, 2015; UTE, 2015; Lara, 2016) que confirmaron que el NMN que satisface estas premisas es de 176,50 m.

De este modo, puede decirse que operando a la cota 176,5 el proyecto hidroeléctrico Néstor Kirchner no afecta los niveles naturales del lago Argentino. En términos prácticos, el Lago Argentino y el embalse NK están desacoplados (Lara, 2016).

En la Figura 5 se muestra un esquema del desacople entre el lago Argentino y NK. En la Figura 6 y Figura 7 se presentan parte de los resultados de los informes técnicos que respaldan la adopción del nivel 176.50 mIGN.

En forma complementaria, se incrementó el NMN del embalse JC de 112.2 mIGN hasta 114.0 mIGN. De esta manera la cola del embalse de JC llega al pie de la presa NK, garantizando la continuidad del sistema hídrico. Además, este incremento en los niveles de embalse de presa Jorge Cepernic permite compensar la energía que es resignada al asegurar el desacople entre el lago Argentino y el embalse NK.

Un aspecto que fue atendido en el proceso de optimización llevado a cabo en el año 2016, tuvo que ver con la modificación del régimen de operación de la central JC, la cual pasó de un funcionamiento empuntado (o semi-empuntado) a uno de base. Esta situación implica que aguas abajo de la presa, el río mantiene su régimen hidrológico

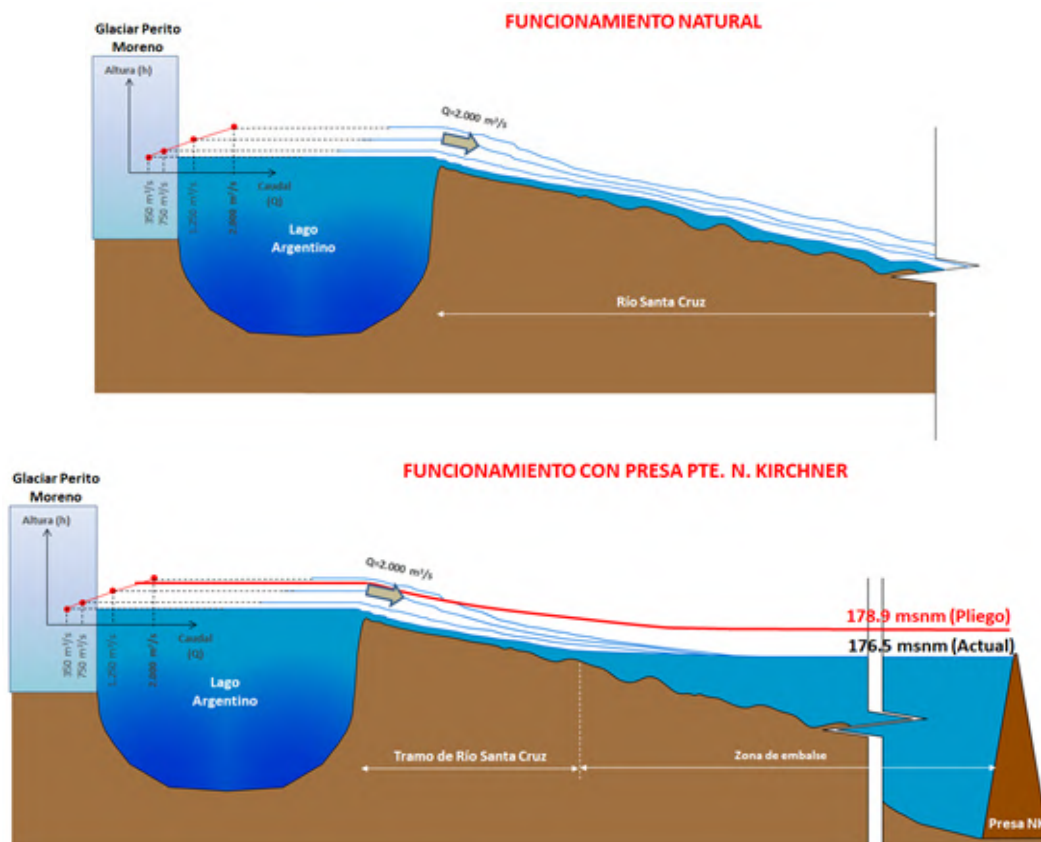


Figura 5.- Representación esquemática del funcionamiento del sistema lago Argentino – río Santa Cruz.



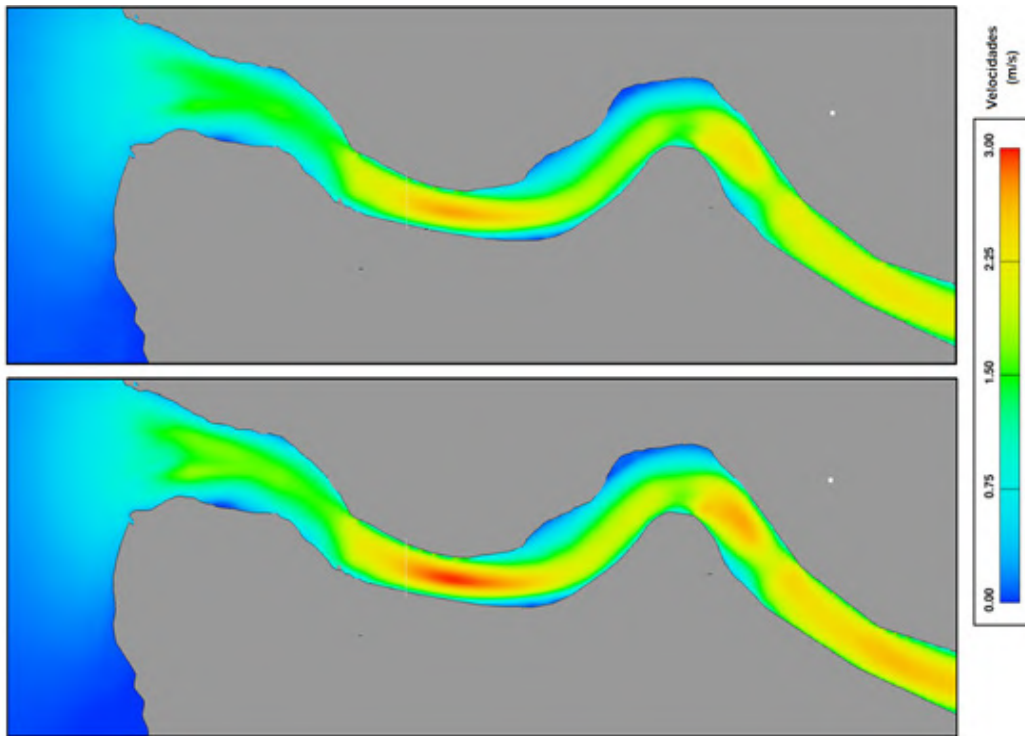


Figura 6.- Simulación numérica CFD. Velocidades en la desembocadura del lago Argentino ( $Q = 2000 \text{ m}^3/\text{s}$ ): condición natural (superior); escenario con presa NK (inferior) (Fuente: UNLP, 2015)

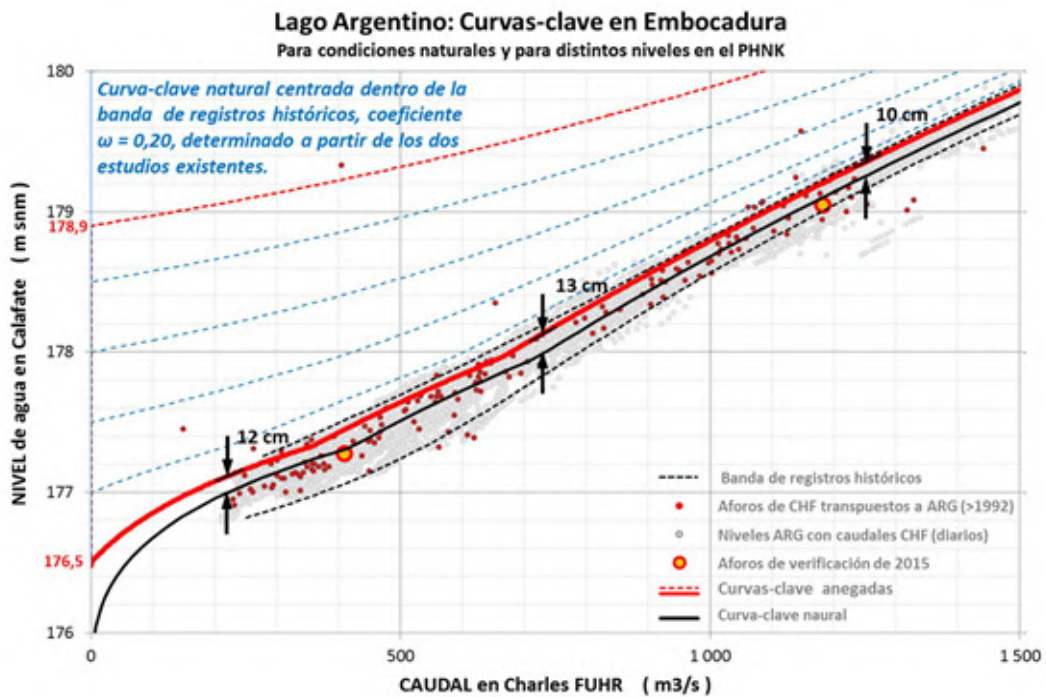


Figura 7A.- Curva de clave desembocadura del lago Argentino. Los niveles de agua provocados por el embalse NK a la cota 176,5 msnm se inscriben dentro de la banda de incertidumbre de los niveles naturales históricos (Fuente: Lara, 2016)

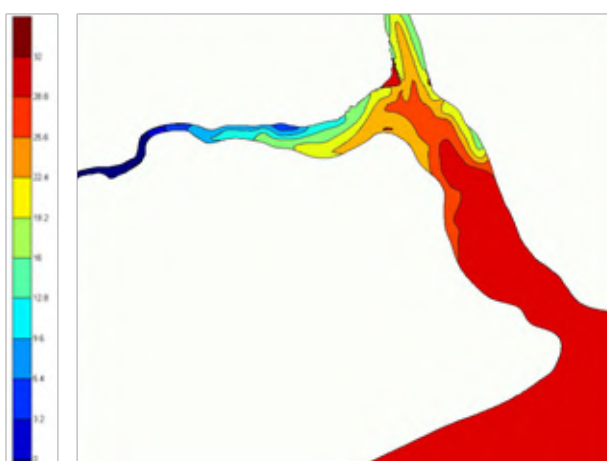


Figura 7B.- Modelación del estuario del río Santa Cruz. Salinidad

natural. No se producirán a lo largo del día pulsos de caudales, sino que se mantendrán los caudales equivalentes a los que entran al sistema (aguas arriba del embalse NK), manteniendo aguas abajo de JC los caudales horarios naturales del río Santa Cruz.

Esta modificación implicó la reducción del número de turbinas de la central JC de 5 a 3 máquinas. La nueva cantidad de turbinas surgió a partir de un análisis técnico-económico de la solución, teniendo en cuenta además aspectos contractuales complejos derivados de una obra que se encontraba en ejecución. Se demostró que, si bien existe una reducción en la potencia instalada del 40 %, la energía anual generada por el aprovechamiento JC tiene una merma inferior al 4 % (UNLP, 2016)

Finalmente, el otro cambio de magnitud relacionado con aspectos ambientales es el aumento del caudal de diseño de los descar-

gadores de fondo. Se dispuso un incremento en la capacidad de los descargadores de fondo de las dos presas a fin de atender cuestiones de seguridad de obra (vaciado de emergencia y llenado controlado del embalse) y dar cumplimiento al régimen de caudales ambientales durante el llenado del embalse. En particular, el caudal de diseño de los descargadores de fondo del proyecto licitatorio de la presa JC, que era de 200 m<sup>3</sup>/s, fue incrementado 6 veces (1200 m<sup>3</sup>/s).

La Universidad de Valladolid, contratada por la UTE responsable del proyecto, llevó adelante el estudio para definir el régimen de caudales ambientales aplicables durante la etapa de llenado de las obras (UTE, 2018). Mediante la metodología IFIM ("Instream Flow Incremental Methodology", Bovee y Milhous, 1978) se definió un rango de caudales ambientales, variables a lo largo del



año, que deben ser erogados por el aprovechamiento JC durante el llenado para garantizar buenas condiciones de habitabilidad en el tramo aguas abajo. Por otro lado, el estuario del río Santa Cruz mereció un estudio particular con el objeto de conocer las condiciones hidrodinámicas y físicas (salinidad, temperatura, sedimentos, etc.) de este sector de la cuenca (Figura 7). La importancia del estuario del río Santa Cruz radica, entre otras cosas, en que es el sitio de invernada del macá tobiano, una especie en peligro crítico de extinción de acuerdo a la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). Las modelaciones permitieron establecer los límites de tiempo en el que es posible hacer el llenado del embalse y la puesta en marcha de la obra, garantizando la no afectación del macá tobiano durante su época de invernada en el estuario del río Santa Cruz (Figura 8)

### Estado actual de la construcción de las obras

La obra, actualmente en ejecución, pertenece al Estado Nacional, siendo el Comitente o dueño de la misma la empresa estatal Energía Argentina S.A. Fue adjudicada en el año 2013 a la UTE Contratista conformada

por China Gezhouba Group Company Limited, Electroingeniería S.A e Hidrocuyo S.A. La Inspección de obra es realizada, desde el inicio de la misma, por la Facultad de Ingeniería de la UNLP.

La puesta en marcha de la construcción de las represas sobre el río Santa Cruz tuvo lugar en el año 2015. El ritmo de avance del proyecto no resultó el esperado, sufriendo demoras en los planes de trabajo previstos originalmente. Además de las cuestiones técnicas que deben sortear en general este tipo de grandes obras, hay que sumarle aspectos particulares que se suscitaron en estos años. Durante casi todo el año 2016 se llevó adelante una revisión integral y optimización de los proyectos que derivó en la reducción de las turbinas del complejo (se pasó de 11 a 8 turbinas) y la incorporación en el contrato de una línea de extra alta tensión de 500 KV, no contemplada hasta ese momento. Este tendido eléctrico permitirá la vinculación de las nuevas centrales hidroeléctricas con el SADI. Asimismo, a finales del año 2016 la Corte Suprema de Justicia de la Nación ordenó suspender provisoriamente la construcción de las obras permanentes hasta tanto no se implemente el proceso de evaluación de impacto ambiental y audiencia pública previstos en la ley de

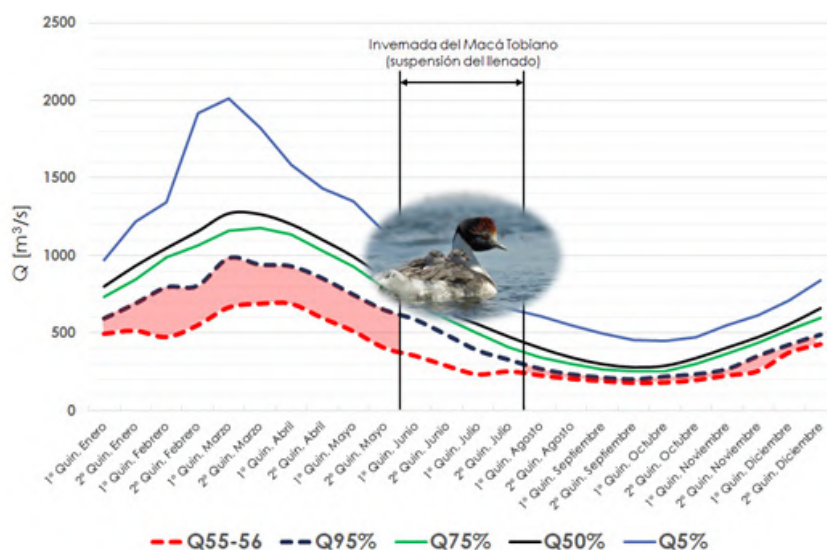


Figura 8.- Caudales en el río Santa Cruz a lo largo del año. Diferentes percentiles. El sombreado rosa indica el rango de caudales ambientales que debe erogarse aguas debajo de JC para garantizar buenas condiciones de habitabilidad en el tramo aguas abajo.

obras hidráulicas N° 23.879 (las obras contaban hasta ese entonces con un estudio de impacto ambiental aprobado por la provincia de Santa Cruz). Este proceso, que duró varios meses, finalmente permitió retomar la construcción de las obras principales en octubre de 2017. Por otro lado, la pandemia por covid 19 acaecida en marzo 2020, cuyos efectos se extendieron por años, tuvieron un marcado impacto en el ritmo de construcción de las represas.

Sumado a los hechos relatados anteriormente, no debe perderse de vista las condiciones climáticas propias del lugar donde estas obras están siendo ejecutadas. Si bien otras presas en nuestro país se han construido en climas con inviernos fríos, estas son las primeras con grandes volúmenes de hormigón masivo que se construyen en estas latitudes (Figura 9). Esta situación obliga a adaptar los sistemas de colocación y protección de hormigones, abandonando muchas de las técnicas empleadas en otras obras en nues-

tro país. A esto deben sumarse los vientos intensos y persistentes característicos de la estepa Patagónica que dificultan, y en algunos casos impiden, la ejecución de tareas durante varios días al año.

En la actualidad, con más de 2600 trabajadores en ambos emplazamientos, el porcentaje de avance de la presa JC es de 42,12 % (Figura 10) y de 18 % en NK (Figura 11).

El avance en los trabajos de la presa JC muestra que se lleva ejecutado un gran porcentaje de los terraplenes que conforman la presa CFRD, iniciándose a la brevedad la ejecución de la pantalla de hormigón. Respecto a la central, vertedero y demás obras complementarias, se han colocado un total de 280.000 m<sup>3</sup> de hormigón (total 735.000 m<sup>3</sup>). Asimismo, los trabajos de los componentes hidroelectromecánicos de JC, provenientes de la República Popular China, tienen un importante grado de avance en su fabricación y montaje. Se encuentran instalados las narices de pilas, los codos y tubos



*Figura 9.- Vista general de las obras de hormigón de la presa JC. Julio de 2023*



*Figura 10.- Estado de avance de la obra JC. Mayo 2023*



*Figura 11.- Estado de avance de la obra NK. Noviembre 2022*





*Figura 12.- Vista de los tubos de aspiración de las tres turbinas del aprovechamiento JC*

de aspiración de las 3 turbinas (Figura 12), tuberías de drenaje y empotrados, varios de los componentes más importantes ya se encuentran en obra (predistribuidores, anillos de descarga, blindajes). En el próximo mes de octubre se espera el arribo a puerto argentino de la segunda turbina Kaplan y los componentes principales de los descargadores de fondo, que partieron desde Shanghái el pasado mes de agosto (Figura 13) Asimismo, se está trabajando tanto en la colocación de los hormigones de la estructura de desvío/vertedero, como en los trabajos adicionales necesarios para lograr desviar el río a mediados del 2024, el primer hito clave de la obra (Figura 14). En cuanto a la generación de energía, se espera poder contar con la primera turbina generando para el año 2025.

En el caso de la presa Néstor Kirchner, la ejecución de la obra se encuentra algo más retrasada producto, fundamentalmente, de las condiciones geológicas/geotécnicas adversas del sitio de emplazamiento. Con el

avance de las excavaciones se produjeron una serie de deslizamientos en los estribos de la presa los cuales fueron atendidos en el PEO, Proyecto Ejecutivo Optimizado vigente. En efecto, en el año 2019, producto de la identificación de condiciones geológicas más desfavorables de las que se habían definido en el proyecto, se inició un proceso de optimización general del layout de la obra de licitación. Como principal modificación, se decidió cambiar la localización de las obras principales de hormigón (central y vertedero). En el proyecto licitatorio, estas obras estaban dispuestas sobre las laderas, dando como resultado estructuras de relativa baja altura, pasando ahora a estar localizadas en el valle de inundación.

Con el objetivo de atender a las condiciones geológicas señaladas y alcanzar un proyecto con los mayores estándares internacionales de seguridad, se implementaron una serie de acciones estructurales concretas. En este sentido, se destacan las siguientes medidas incorporadas en el PEO de la pre-



*Figura 13.- Traslado de componentes hidroelectromecánicos de los AHRSC al puerto de Shanghái.  
Agosto 2023*



*Figura 14.- Trabajos de preparación del cauce para asegurar el desvío del río. Presa JC. Noviembre 2022 (izquierda); Septiembre 2023 (derecha)*



sa NK: rellenos de estabilización en los dos estribos, orientación en curva de la presa a modo de evitar zonas deslizadas, kilómetros de galerías de drenaje en los estribos, incremento de la capacidad de los descargadores de fondo y medio fondo (la capacidad total de estos órganos pasó de 180 m<sup>3</sup>/s, en el pliego, a 2800 m<sup>3</sup>/s), entre otras.

Resulta importante destacar las investigaciones geotécnicas no convencionales que debieron realizarse para confirmar las condiciones de fundación de las nuevas obras de hormigón en el valle del río. A principios del año 2023 se finalizó la construcción de un pozo exploratorio de 10 m de diámetro y 40 m de profundidad que reafirmó los parámetros geotécnicos de la roca de fundación. Actualmente, se encuentran ejecutándose las excavaciones necesarias para poder fundar las obras de hormigón, y se espera comenzar con los trabajos de hormigonado de estas obras en el año 2024. Se estima que la puesta en marcha de la primera turbina de la central NK tenga lugar en el año 2028.

## Referencias

- Lara, A. (2016). Evaluación de la influencia del Proyecto Hidroeléctrico Néstor Kirchner sobre los niveles de agua del Lago Argentino. Subsecretaría de Energía Hidroeléctrica de la Nación.
- UNLP. (2015). Estudio del Funcionamiento del sistema Lago Argentino – Río Santa Cruz – Embalse Néstor Kirchner. Universidad Nacional de La Plata.
- UNLP. (2016). Aprovechamientos Hidroeléctricos del río Santa Cruz. Análisis del Número de Turbinas. Universidad Nacional de La Plata.
- UTE (2015). Determinación de la función 'Altura-Caudal' para el Río Santa Cruz a la salida del Lago Argentino". Héctor Daniel Farias. UTE CHINA GEZHOUBA GROUP COMPANY LIMITED–ELECTROINGENERÍA S.A–HIDROCUYO S.A
- UTE (2018). Estudio del caudal ecológico - Aprovechamiento Hidroeléctrico del río Santa Cruz - Argentina. Informe Final. Universidad de Valladolid, España. UTE CHINA GEZHOUBA GROUP COMPANY LIMITED–ELECTROINGENERÍA S.A–HIDROCUYO S.A

# REPORTAJE AL ING. JUAN CARLOS SCHEFER

DIRECTOR-DECANO DEL DEPARTAMENTO  
DE INGENIERÍA DE LA UN SUR

PROFESOR TITULAR UN SUR (2006-2018)

RESPONSABLE TÉCNICO DE TEMAS DEL  
EMBALSE PASO DE LAS PIEDRAS.  
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS DE LA  
PROVINCIA DE BUENOS AIRES (1974-2009)

MIEMBRO DEL DIRECTORIO DE LA  
AUTORIDAD DEL AGUA DE LA PROVINCIA  
DE BUENOS AIRES (2000-2008).



**El suministro de agua en la zona de Bahía Blanca ha sido un problema recurrente al que Ud. se ha abocado con diferentes trabajos académicos y de asesoramiento a las autoridades correspondientes. ¿Podría definirnos sintéticamente cuáles son los puntos principales de esta problemática?**

Cuando nos referimos al suministro de agua a Bahía Blanca tenemos presente que hablamos de un conglomerado de 406.000 habitantes, que incluye a la ciudad de Punta Alta, ya que, por el desarrollo de las redes y las fuentes de suministro, conforman una unidad, principalmente por la provisión desde el embalse de Paso de las Piedras.

Si tomamos una dotación promedio por habitante y por día de 300 litros, como cuando diseñamos una red de abastecimiento de agua potable a una ciudad, estaríamos necesitando 121.800 m<sup>3</sup> para nuestra ciudad. Ella, es sede de uno de los mayores polos petroquímicos del país y para su funcionamiento se construyó un acueducto para el transporte de 30.000 m<sup>3</sup>. Si bien no llega a consumirlos y tomamos este valor para sumar al valor teórico que requiere la población, obtenemos un volumen diario requerido de alrededor de 152.000 m<sup>3</sup>.

El abastecimiento inaugurado a comienzos de la década de 1970 se proyectó para extraer un caudal diario de 3 m<sup>3</sup>/seg. de los 4,5 m<sup>3</sup>/seg. que es el módulo del río Sauce Grande embalsado en Paso de las Piedras. Ello permitió diseñar un acueducto que puede transportar un caudal máximo de 259.200 m<sup>3</sup> /día. Sin embargo, en los días de verano, con el acueducto trabajando a pleno, el agua no alcanza en la ciudad. Muchos sectores de Bahía Blanca no reciben un mínimo caudal que satisfaga sus necesidades.

Esto sucede porque no es suficiente la capacidad de potabilización. Cuando se proyectó el acueducto, se diseñó para la potabilización del agua en la ciudad, una planta constituida por tres módulos de potabilización de 80.000 m<sup>3</sup> cada uno y solo se llegaron a construir dos de ellos cuando se inauguraron las obras. En ese momento con esos dos alcanzaba. Hoy ya no. El tercer módulo nunca se construyó. Si bien con los valores teóricos de consumo, dos de los módulos pueden alcanzar, la obsolescencia de la red, la falta de mantenimiento, las enormes pérdidas y la ausencia total de una política de educación para el uso racional del agua vuelven utópicos los valores teóricos de consumos. Cuando la calidad del agua del embalse se encuentra con muy bajos índices de turbidez y se envía a la ciudad el total del agua que puede traer el acueducto, las cisternas de almacenamiento pierden nivel y zonas altas de la ciudad se quedan sin agua. ¡En esos días la dotación de abaste-

cimiento supera los 600 litros por habitante!

**Entre las soluciones posibles, hay un trabajo importante realizado por la UN Sur y la UTN Regional Bahía Blanca en el que se proponen soluciones inmediatas y a mediano plazo. ¿Podría sintetizarnos cuales serían las acciones prioritarias para mejorar la situación Bahía Blanca y su zona?**

El trabajo mencionado que fuera realizado en conjunto UNS- UTN Facultad Regional Bahía Blanca, es un informe que pretende mostrar que los problemas actuales de abastecimiento de agua a la población de Bahía Blanca no se deben solo a vulnerabilidades técnicas o falta de proyectos, sino que se deben a la acumulación de vulnerabilidades institucionales y/o políticas, que han llevado a la actual crisis, la que ha sido alertada desde hace más de 30 años por distintos grupos multidisciplinarios y que además, han sido consensuados por distintos profesionales de diferentes instituciones.

Luego de hacerse en este trabajo un detallado análisis cronológico de las propuestas y alternativas que les fueran requeridas a los grupos multidisciplinarios de las dos Universidades, se resumen, finalmente los programas y planes, que además sugerían nuevas alternativas a partir de nuevas necesidades y otras que luego debido a las condiciones impuestas por el cambio climático quedarían postergadas o pasarían a no ser tan prioritarias.

Sintéticamente entre las acciones a CORTO PLAZO se propone:

-Detectar, controlar y reparar las pérdidas de agua en la red. Permitiría además de contar con más agua en la distribución, hacer más sostenible la gestión porque no solamente se evitaría la pérdida del agua, sino también lo que se gastó en ella en energía y potabilizantes.

-Renovar gran parte de la red, obsoleta y con más de 150 años de antigüedad, en algunos sectores.

-La construcción del tercer módulo de filtración faltante con un mínimo diario de pota-

bilización de 80.000 m<sup>3</sup> y la construcción de una cisterna de regulación de 100.000 m<sup>3</sup>. ¡La capacidad actual de las cisternas no se amplía desde el año 1929!

-Reconsiderar volver a las tarifas en función del uso medido, pues la tarifa en función de la valuación fiscal no pareciera justa y favorece el uso irracional. Hasta el año 2016 Bahía Blanca era una de las pocas ciudades de la Provincia que mantenía los medidores domiciliarios.

Las propuestas de obras a MEDIANO PLAZO hacen referencia a considerar todas las propuestas elaboradas en El Plan Integral de Abastecimiento realizado por convenio en 1990 entre MOPBA, UNS y la CIC, comenzando con el endicamiento sobre el arroyo Napostá Grande en el paraje Puente Canesa, que se considera necesario no solamente como fuente de abastecimiento de agua potable y/o industrial, sino también como solución al problema de las crecidas que pudieran inundar las zonas bajas de la ciudad de Bahía Blanca, como ya ocurriera en más de una oportunidad.

Por último, se considera que es urgente iniciar las obras de acuerdo con una planificación. En esta circunstancia, el problema de la falta de agua, que se ha hecho tan sensible a la población no es por falta de cantidad de agua, es por falta de capacidad de tratamiento de potabilización y por el alto porcentaje de agua no contabilizada en la red (sobre todo por pérdidas de agua).

### **En general la problemática del agua es muy importante en la Provincia de Buenos Aires y desde su conocimiento, ¿cuáles son los puntos principales a mejorar? ¿Cómo puede contribuir la Ingeniería a las soluciones?**

En general podemos expresar que la problemática del agua en la Provincia de Buenos Aires es similar a la de todo el país. Hay agua en cantidad, pero mal distribuida. Muchas áreas con aguas superficiales insuficientes o aguas subterráneas de mala calidad. En ellas,

de haberse seguido las ideas de F. Ameghino, con retenciones en los campos y canalizaciones para evacuar los excesos en las grandes lluvias, el problema hoy sería más acotado. Pero ello requiere de una política de estado con planificaciones de largo plazo y planes directores que se cumplan a rajatabla cualquiera sea el gobierno de turno.

También se requiere contar en los organismos provinciales relacionados con el agua, con la presencia de muchos profesionales ingenieros especialistas con profundos conocimientos de la disponibilidad de agua y de las técnicas a aplicar para su uso racional y que las apliquen desarrollando los proyectos. Pero está a la vista que en los últimos 50 años en dichos organismos vieron reducida la presencia de esos profesionales y el resultado es la falta de una política de Estado con respecto al agua.

Un ejemplo claro es lo que sucede en todo el sur de la Provincia, que dispone de más de 600.000 Has aptas para riego y el agua que necesitan se tira al mar.

En alguna otra publicación he comparado ello con lo que sucede en España, que lidera la exportación frutihortícola de la Unión Europea con ventas que superan los 50.000 millones de euros anuales y que representan el 15 % de su PBI. Ellos utilizan para riego 4054 m<sup>3</sup>/Ha y por año. En nuestro caso necesitaríamos para el riego anual de nuestras 600.000 Has, 2432 Hm<sup>3</sup>.

Si solo se tomara del Río Negro los 200 m<sup>3</sup>/seg que pretende la Provincia de Buenos Aires y que ahora se tiran al mar, representarían 6.307 Hm<sup>3</sup> anuales casi el triple de lo que necesitaríamos si usáramos la dotación para riego que utiliza España como promedio.

Por supuesto que para llegar a la cantidad de hectáreas que riega España, con esa dotación promedio, requirió de años y años de desarrollo, de aplicación de políticas y tecnologías para el buen uso del agua.

Estamos muy lejos de la utilización de esas técnicas, gastamos más agua por no aplicarlas, pero, aun así, el agua que se tira alcanzaría para el desarrollo de las 600.000 hec-



táreas.

Se habla del petróleo como el oro negro, del aceite de oliva como el oro verde- como lo tiene España- y en todo el mundo, del oro azul, el agua, que nosotros disponemos en cantidad, como ocurre en el sur de la Provincia y lo desperdiciamos. ¿A alguien se le ocurriría dejar que un pozo de petróleo descargue libremente a la atmósfera todo su caudal, sin recogerlo, sin conducirlo y aprovecharlo? Seguro que no.

Pero eso es lo que actualmente estamos haciendo con el agua del Río Negro y no nos inmutamos. Peor, nos pasamos años y años discutiendo, qué caudal le corresponde a cada Provincia de la cuenca, mientras tanto no la aprovechamos ni dejamos que otros (argentinos también) los aprovechen. El argumento es que “en mi provincia, existen tierras que pueden ser regadas y entonces no puedo ceder el caudal, porque algún día la voy a necesitar”. El día que la necesite porque así lo decidió alguna planificación, habrán pasado tantos años, que el desarrollo de las tecnologías habrá hecho que haga falta menos agua para regar la misma cantidad de hectáreas. Como hoy ocurre en España. En 15 años redujo los requerimientos para riego en un 14%, gracias a la aplicación de nuevas tecnologías.

El retorno de las inversiones en el riego permite a quien se dedica seriamente a esta actividad, recuperar sus inversiones y al mismo tiempo, canalizar una parte en nuevas tecnologías, aumentando sus rendimientos o utilizando menos agua.

Hace ya 120 años que comenzaron a analizarse las distintas alternativas de aprovechamiento del caudaloso Río Negro y transcurrido ese tiempo, aun no nos hemos puesto de acuerdo, entre argentinos, para hacer un uso racional, equilibrado, virtuoso y generoso, de un recurso que seguramente es la sangre que da vida, que podría alimentar (y vaya si lo puede hacer) el hambre de millones de personas, si se desarrollan nuevas áreas de riego. También para generar más empleo, cambiar el paisaje desértico que estas tierras

hoy muestran o contribuir en forma positiva para el cambio climático, porque las áreas bajo riego se convierten en sumidero del CO<sub>2</sub> y reduce la desertización que produce el calentamiento global.

**Desde las Universidades de la región existen diferentes iniciativas de I+D+I atendiendo temas del agua. Por otro lado, estas Universidades tienen relación con los organismos de Ciencia y Tecnología a nivel provincia (CICPBA) y nación (CONICET, MINCYT, INTA). ¿Qué rol cree Ud. que pueden cumplir las Universidades en esta problemática?**

No tengo ninguna duda que las Universidades pueden y deben contribuir con sus conocimientos, experticia, investigaciones y desarrollos para avanzar firmemente en el uso racional y virtuoso del agua. Pueden liderar acciones como las que podían emprender los equipos de profesionales con los que contaban, 50 años atrás, los organismos provinciales. Y que no tiene o son escasos. En aquella época yo comenzaba mis estudios de ingeniería y utilizaba para ampliar conocimientos, publicaciones y manuales realizados por los profesionales de esos organismos y que eran de divulgación en las aulas Universitarias.

Que dudas caben que es necesario comenzar a desarrollar una política de Estado con respecto al manejo del agua, en la que la disponibilidad de estos recursos hídricos conforme el eje principal a lo largo del cual se pueden organizar en forma mancomunada, Gobierno, Universidades, Empresas y la sociedad, para trazar los comienzos de lo que debería ser un fenomenal plan de desarrollo de áreas de riego en el sur de la Provincia de Buenos Aires.

Esto no impide ninguna alternativa de aprovechamiento ya considerado en el resto de la cuenca, porque las nuevas tecnologías y los caudales disponibles permiten que todas se puedan desarrollar. Una acción en tal sentido provoca, desafía e incentiva estudios, investigaciones, desarrollos tecnológicos, nuevos

softwares de aplicación en sistema de riego y en las agroindustrias con ella relacionadas, movilizand o también todos los recursos académicos disponibles en la región, que así incentivados, podrían aportar valor agregado importante y de calidad, que seguramente generarían un salto cualitativo y cuantitativo del PBI de la región y por consiguiente del país. Una consecuencia no menor del desarrollo de zonas de riego es que fomenta la radicación de la población, que encuentra allí un sustento de vida estable y progresista.

dependiente del poder de turno, operado por técnicos seleccionados por procedimientos transparentes y con importantes y comprobables antecedentes en el manejo de estos recursos. Solo así podremos comenzar a transitar un camino que nos haga merecedores de esa alta disponibilidad que nuestra región tiene del oro azul, aprovechando su invaluable uso potencial.

## REFLEXION FINAL

Cabría preguntarse: lo hasta aquí propuesto ¿es factible hacerlo? ¿ Pero, acaso esto no fue lo que hicieron, por ejemplo, en un país como Israel, cuando 70 años atrás, siendo un desierto y deficitario en la disponibilidad de recursos hídricos, por aplicación de políticas en torno al agua, pasó a ser exportador de agua a los países vecinos y además exportador de miles de millones de dólares anuales en tecnologías relacionadas con el agua y exportador de productos agrícolas, que solo podían hacerlo países que tenían alta disponibilidad de agua?

Nuestras condiciones y disponibilidades son aún mucho mejores que las de Israel, que llegó a regar en el desierto, porque con la tecnología que desarrolló y además exporta, les acercó el agua y los nutrientes necesarios a los cultivos. Nosotros tenemos el agua y los suelos aptos para ser regados. Tenemos a pasos nada más, a Universidades que esperan que alguien recuerde que existen y que pueden devolver a un país y a una sociedad que las paga y las sustenta, los mejores conocimientos que posee, para sacarlo de este estado de postración y frustración que duele. Pero solo será posible salir de este estado de frustración cuando se implemente una clara y firme política de Estado de manejo de los recursos hídricos y se mantenga en el tiempo, esté quien esté en el poder, para lo cual también es necesario que exista para su aplicación, un organismo autárquico, in-



# PROGRAMAS DE POSGRADO PROFESIONALES

2024

## ¡No pierdas la oportunidad de capacitarte!

Clases a cargo de destacados profesionales

Destinados a egresados de distintas disciplinas

Cursos con Modalidad Híbrida (presencial / on line)

**POSGRADO DE INGENIERÍA**

Tel: (+54)(221) 425-8911 / Interno 3009

[posgrado.ing.unlp.edu.ar](http://posgrado.ing.unlp.edu.ar)

[epec@ing.unlp.edu.ar](mailto:epec@ing.unlp.edu.ar)

Calle 1 y 47 - La Plata - Buenos Aires - Argentina



**Abierta  
la inscripción**



FACULTAD  
DE INGENIERÍA



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DE LA PLATA



# EL CONFLICTO EN UNA CUENCA TRANSFRONTERIZA Y LA COMPLEJIDAD DE LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS: EL RÍO NILO

RAFAEL S. SEOANE <sup>(1)</sup> Y RAÚL A. LOPARDO <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> CENTRO DE ESTUDIOS TRANSDISCIPLINARIOS DEL AGUA (CETA).  
FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS. UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES

<sup>(2)</sup> DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA,  
FACULTAD DE INGENIERÍA. UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA.  
ACADÉMICO TITULAR ACAINGPBA





## INTRODUCCIÓN

La agenda internacional de las reuniones político-técnicas indica que el agua se ha convertido en un tema de gran importancia a nivel mundial. Sin embargo, no se han logrado aún desarrollar y ejecutar los planes adecuados para resolver los problemas de escasez del agua que afectan a una gran parte de la población del mundo. Desde la primera conferencia de las Naciones Unidas sobre el agua que tuvo lugar en Mar del Plata, Argentina, en 1977, con asistencia de representantes de ciento dieciocho países y territorios que se reunieron durante doce días y emitieron el llamado "Plan de Acción de Mar del Plata". Ese plan recomendaba que los países aseguraran contar con agua limpia y saneamiento para 1990, con el objeto de evitar una posible crisis mundial del agua a finales del siglo XX.

Las nuevas reuniones han seguido los mismos pasos, pero se observa una notable brecha entre las propuestas y sus resultados. Ello se aprecia claramente, si se compara la enorme cantidad de textos e ideas que pueblan las bibliotecas con los pobres éxitos alcanzados en la realidad. En ese sentido, el ex vicepresidente del Banco Mundial manifestó en 1995 que "las guerras del próximo siglo serán por el agua". Tal vez puede ser una predicción algo exagerada, aunque dice haber sido basada "en comportamientos humanos que han llevado a una creciente escasez de agua potable en algunas de las zonas políticas más conflictivas del mundo" (Serageldin, I., 2010).

Si bien hasta el presente, a lo largo de muchos siglos de historia, no se tiene conocimiento de efectivas guerras entre naciones por el uso del agua, parece que los numerosos conflictos internacionales e interprovinciales sobre ese recurso cada vez se tornan más severos y tienden a incrementarse en dificultad y complejidad. Por ello, no es desatinado imaginar una crisis profunda en algunos puntos del planeta, donde la disponibilidad del recurso hídrico se encuentre amenazado y se sumen los efectos del cambio climático,

el aumento de población y el deterioro de la calidad del agua por contaminación. Lo expuesto plantea entonces serios desafíos para la paz, puesto que la falta de acceso al agua aumentará con el tiempo si no se genera una cooperación global urgente.

En particular, el presente texto se refiere al actual conflicto por el uso de las aguas del río Nilo, que ha sido asociado con la política africana durante muchas décadas. El resto de países de la cuenca se ha quejado a lo largo del tiempo de la dominación egipcia sobre el uso del agua del Nilo, y aunque ha habido intentos de promover tanto el uso igualitario de las aguas como la cooperación pacífica entre los estados de la cuenca, siempre han fracasado. Una componente que presentan los caudales medios anuales (por ejemplo, en Asuán) del río Nilo es la persistencia de largo plazo. Esta característica hace que necesaria una regulación interanual de los caudales para satisfacer las necesidades de los habitantes y eso produce conflictos muy graves entre algunas naciones, fundamentalmente Egipto, Etiopía y Sudán. Debe tenerse presente que la serie hidrológica de caudales medios anuales presenta dependencia de largo plazo que influye directamente sobre las dimensiones de los embalses de la cuenca, destinados a su regulación. Es interesante destacar que éste fue el problema que llevó al científico Edwin Harold Hurst a estudiar el problema de la cuenca del río Nilo y a desarrollar un estimador de la dependencia de largo plazo, que permite estudiar la forma que la variabilidad de los caudales puede influir en las dimensiones de los embalses (Hurst, 1951). Nuevos trabajos muestran la importancia de este estimador, su aplicación en otras áreas de la ciencia y la posibilidad de relacionar los valores con nuevas explicaciones que lo relacionan con la variabilidad climática (O'Connell, et al., 2016). Además, Hurst estudió posibles ubicaciones para los embalses que podrían controlar los caudales de los dos afluentes fundamentales del río Nilo: el Nilo Blanco y el Nilo Azul.

Las obras hidráulicas de estos tres países

africanos tratan de resolver los problemas de escasez de agua para riego y consumo humano y de proveer energía hidroeléctrica, pero su operación influye directamente sobre sus relaciones internacionales. Estas obras ponen en evidencia la importante función de los grandes embalses, que pueden regular el agua en forma interanual y reducir algunos de los efectos de las sequías que pueden durar varios años.

Etiopía, en su carácter de “país de aguas arriba”, con la reciente construcción de la Gran Presa del Renacimiento Etíope (GERD), podrá controlar los caudales del Nilo Azul. Ello podría provocar que el promedio de agua per cápita anual de Egipto decayera de 663 m<sup>3</sup> que ostentaba en 2014 a 582 m<sup>3</sup> para 2025. Por otra parte, es probable que la población de Egipto alcance los 115,3 millones de personas para el año 2027, lo que en consecuencia representará una mayor carga para los recursos hídricos de ese país. Además, se considera muy probable que los impactos del cambio climático sobre la agricultura y la provisión de agua produzcan una disminución del 2 % en la cuota de agua del Nilo en Egipto, lo que incrementará aún en mayor medida sus zonas de tierras no cultivables. En el presente artículo se analiza la importancia que tiene la relación entre el clima y la hidrología para explicar la alta variabilidad de los caudales en una cuenca transfronteriza como la cuenca del río Nilo y sus efectos sobre el tema de discusión. Este análisis tiene como propósito describir la importancia de estudiar la complejidad hidrológica y las hipótesis subyacentes, en particular dependencia y no estacionariedad, para evaluar las soluciones que la ingeniería tiene para evitar y contribuir a resolver futuros conflictos en distintas zonas del mundo que, como en este caso, presentan la combinación de escasez del recurso agua e incremento de la población ante nuevas condiciones del clima.

## LA CUENCA DEL RIO NILO

La cuenca hidrográfica del Río Nilo comprende 3.254.555 Km<sup>2</sup> (aproximadamente

el 10% de la superficie de África) siendo el curso fluvial más grande de ese continente. La cuenca tiene dos fuentes principales: el Nilo Blanco que nace en el centro de África, y el Nilo Azul que surge de las tierras altas de Etiopía. La cuenca completa contribuye, en gran parte, a la supervivencia de la población de once estados ribereños: Uganda, Sudán del Sur, Ruanda, Tanzania, Kenia, Burundi, República Democrática del Congo, Eritrea, Etiopía, Sudán y Egipto. El río Nilo posee una longitud de 6.000 Km (sería el segundo más largo del mundo), teniendo fuentes de alimentación en dos grandes lagos (Victoria y Tana) y una geografía muy compleja, que aporta escaso caudal en relación al área de la cuenca y su población. En resumen, se podría mencionar que se trata de una gran cuenca con un río de mucha longitud y limitado caudal. Una simple comparación describe cuantitativamente esta característica. Entre las principales cuencas del mundo se destacan en área y caudal: Amazonas (7.050.000 Km<sup>2</sup> y 22.500 m<sup>3</sup>/s), Congo (3.700.000 Km<sup>2</sup> y 41.800 m<sup>3</sup>/s) y el Nilo (3.254.555 Km<sup>2</sup> y 2.830 m<sup>3</sup>/s).

Como aproximadamente el 85 % del caudal medio anual proviene del afluente llamado Nilo Azul (con área de cuenca de 172.000 Km<sup>2</sup>), que tiene sus nacientes en Etiopía y surca sucesivamente Sudán y Egipto, el conflicto mayor se centra entre esos tres países, afectando cualquier acción en su trayecto y básicamente a Egipto, que es el “país de aguas abajo” (Wheller et al., 2020). Las tierras altas de Etiopía son la cadena montañosa continua más grande de África. Ese país cuenta con abundantes recursos hídricos, los mayores de todo ese continente. Entre los numerosos cuerpos de agua de la región etíope, se destaca el lago Tana, con 2.156 km<sup>2</sup> de superficie, que fuera descubierto como una “fuente del Nilo” en el año 1618 por el jesuita español Pedro Páez.

Además, se puede considerar que Etiopía posee el segundo potencial hidroeléctrico más grande de África, pero sólo un 10 % se ha desarrollado hasta la fecha. Actualmente, la capacidad instalada es de unos 4.330

MW hidroeléctricos, pero se están incrementando en más de 6.600 MW. Es menester mencionar que los mayores productores de energía hidroeléctrica de África son Etiopía, Angola, Sudáfrica, Egipto, la República Democrática del Congo, Zambia, Mozambique, Nigeria, Sudán, Marruecos y Ghana.

La tabla N° 1 muestra un resumen de algunas características socio-económicas de los tres países de la cuenca relacionados con el tema de este trabajo. Los valores presentados describen las diferencias socio-económicas entre los principales países relacionados con el problema y muestran la importancia que tendrá la nueva presa de GERD sobre la economía de Etiopía.

La información presentada permite observar las diferencias entre los distintos indicadores económicos y la importancia que tiene para Etiopía desarrollar la componente de hidroelectricidad para mejorar su economía. Existe otra visión, relacionada con la idea de que el "stress del agua" se asocia al crecimiento de la población y que en un sistema complejo se incorporan cambios en la infraestructura del control y manejo del recurso.

### Algunos antecedentes del tema

El río Nilo Azul nace en el lago de Tana, ubicado en las tierras altas al noroeste de Etiopía, a 1.788 m sobre el nivel del mar, tiene aproximadamente 84 Km de largo por 66 Km

de ancho y un volumen de 74 Km<sup>3</sup> de agua. La profundidad máxima es de 15 m y cuenta con una superficie que varía de 3.500 Km<sup>2</sup> en épocas de las precipitaciones a 3.000 Km<sup>2</sup> en las bajantes. El desagüe del lago se produce en las proximidades de las cataratas de Tis Abay, que en los meses lluviosos entre junio y octubre presenta una imponente cascada que se precipita por más de cuarenta metros de altura, dando así nacimiento al principal afluente del Nilo.

Durante el siglo XX el uso de los recursos hídricos de la cuenca del Nilo estuvo regulado por los acuerdos coloniales de los años 1902, 1929 y 1959, establecidos por la corona británica, que condicionaron cualquier construcción de infraestructura vinculada al cauce del Nilo, en función de las necesidades de Egipto. En estos acuerdos se dispuso que la región de Benishangul Gumuz sería parte de Etiopía, a cambio de que no se construyeran represas en el Nilo Azul. Sin embargo, en esta región, que se encuentra al oeste del país, limitando con Sudán, es donde comenzó la construcción de la presa GERD en el año 2011. Inicialmente, Sudán y Egipto se opusieron a la construcción de esa gran obra, pero una vez que fue un hecho, la disputa giró en torno a los ritmos de llenado del embalse.

La Tabla N° 2 permite apreciar los datos comparativos correspondientes a las obras hidráulicas existentes en Etiopía, Sudán y

País	<u>Etiopia</u>	Sudán	Egipto
Área (km <sup>2</sup> )	1.136.240	1.878.000	1.001.450
Cantidad de habitantes	123.379.924	46.874.204	110.990.103
PBI per cápita (dólares)	1027,6	1102,1	4295,4

Tabla N° 1. Algunas características de las economías de los países involucrados.  
Fuente: Banco Mundial, 2022.

Egipto (Figura N° 1). El conflicto básico se relaciona con la posibilidad de contar con la cantidad de agua disponible en los casos de sequías severas que pueden alcanzar varios años de duración, por lo que el manejo con almacenamiento multianual de la nueva gran presa etíope GERD, ubicada en la zona de aguas arriba de la cuenca del Nilo Azul, pone en situación crítica a las posibilidades de control del río Nilo, que se hacía con la gran presa de Asuán y hasta el presente según las decisiones de las autoridades egipcias. También, se relaciona con la

recuperación de los volúmenes después de una sequía severa y de varios años. Es decir, resulta muy importante la política del llenado para ambos embalses. Esta situación posible aún no ha ocurrido, dado que, en la época del llenado del embalse de Asuán, no existía GERD y el control de las aguas del Nilo estaba en Egipto.

En definitiva, la cuenca del río Nilo presenta una complejidad derivada por su extensión, las características de sus precipitaciones y su escaso volumen de agua en relación a su tamaño. El promedio del escurrimiento

Embalse	País	Río	de construcción	Almacenamiento km <sup>3</sup>	Tipo de almacenamiento	Capacidad de generación MW
<u>GERD</u>	Etiopía	Azul	2020	<b>74,01</b>	<b>multianual</b>	6460
Roseires	Sudán	Azul	1996	7,4	estacional	280
Sennar	Sudán	Azul	1920	6,40	estacional	15
<u>Khshim el Girba</u>	Sudán	<u>Atbara</u>	1964	1,3	estacional	10
<u>Nalabaale</u>	Uganda	Blanco	1954	80	estacional	180
Jebel Aulia	Sudán	Blanco	1937	4,32	estacional	30
Tekezé	Etiopía	Tekezé	2009	9,29	estacional	300
Rumela y <u>Burdana (UASDC)</u>	Sudán	<u>Atbara</u>	2017	2,7	estacional	135
		Tekezé				
Merowe	Sudán	Nilo	2009	12,5	estacional	1250
<u>ASUÁN</u>	Egipto	Nilo	1970	<b>169</b>	<b>multianual</b>	2100

Tabla N° 2. Características de las presas de embalse, y tipo de almacenamiento, en la cuenca del río Nilo.



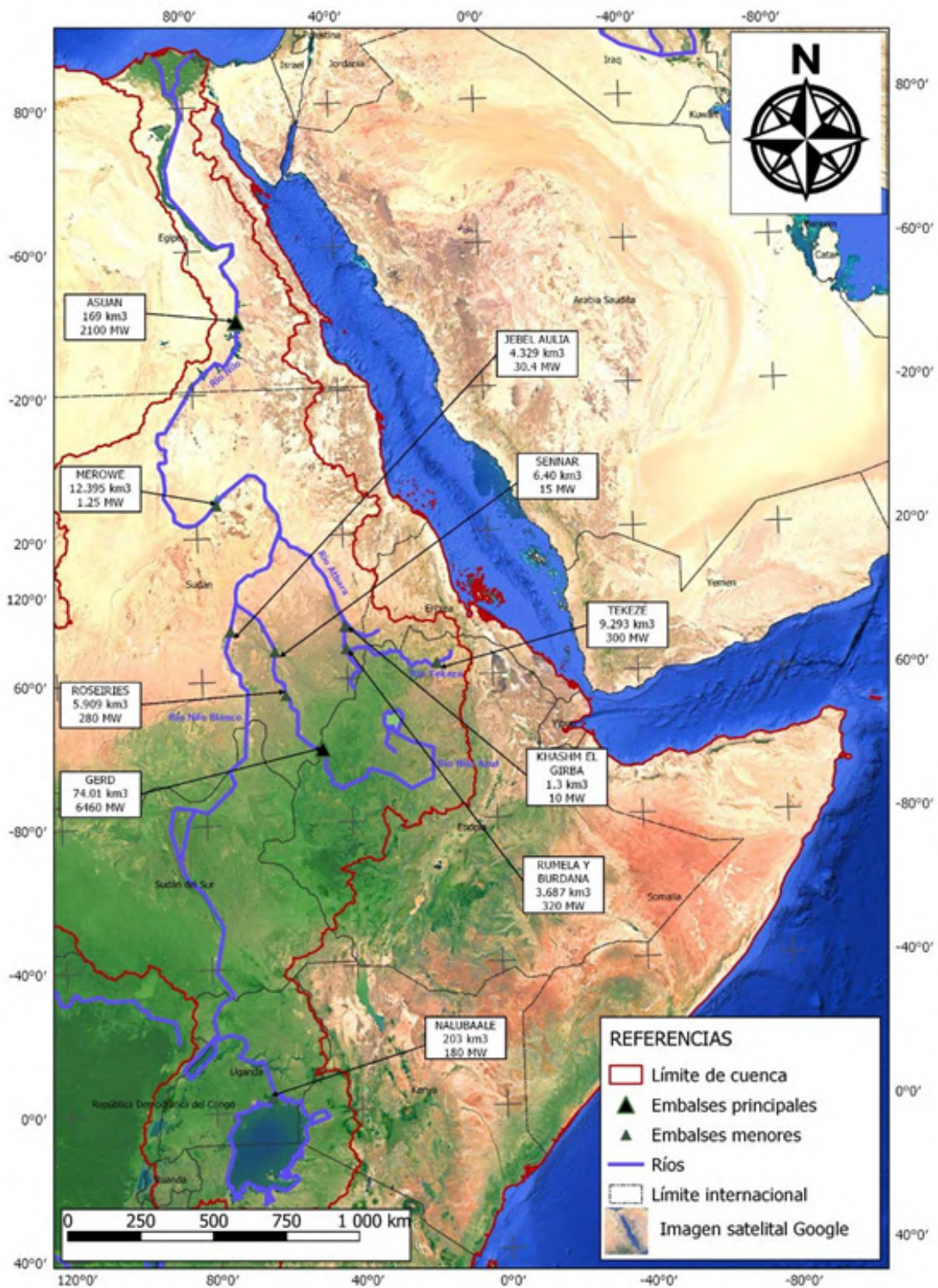


Figura N° 1. Cuenca del río Nilo y la ubicación de los principales embalses.

anual sobre el área total es de 30 mm (Sutcliffe y Park, 1999). Esta es una cuenca en escala continental, con importantes sub-cuencas que definen aportes provenientes de regiones con climas y regímenes hidrológicos muy diferentes. Las áreas de aporte significativas se encuentran en la región de los lagos de África Oriental con precipitaciones altas y en las nacientes del río Nilo Azul. En esta cuenca se observan fuertes pendientes que generan las condiciones necesarias en caudal y desnivel, para la construcción de otras obras hidroeléctricas, además de GERD. La cuenca superior del Nilo Azul, en las tierras altas de Etiopía y Sudán, tiene un clima tropical ecuatorial húmedo con una única estación de ocurrencia de las precipitaciones, donde se obtiene la mayor parte del agua de este afluente del Nilo (Sutcliffe y Park, 1999). La cuenca inferior, al norte y lejos del Ecuador, es en gran parte árida o semiárida, con precipitaciones efectivas muy bajas.

## LA GRAN PRESA DE ASUÁN

Es importante tener presente que entre 1898 y 1902, a efectos de mejorar la navegación en el curso del Nilo, con el apoyo de Gran Bretaña se inició la secuencia de estructuras hidráulicas sobre ese río, construyéndose la primera obra en Egipto, denominada "presa baja de Asuán", que ya modificó en ciertos aspectos la variación del caudal de ese curso fluvial. Con esa primera regulación modesta ha sido posible estudiar la persistencia de la serie de caudales medios anuales y, con una nueva técnica, mostrar la importancia del cambio en los valores medios anuales en la conformación hidrológica de la serie de caudales. Esa obra, con su pequeño embalse, no permitía regular las grandes crecidas del Nilo y poder así administrar el recurso con periodicidades multianuales. En la década del cincuenta, bajo el gobierno egipcio de Gamal Abdel Nasser, se tomó la decisión que llevó al diseño y posterior construcción de la "gran presa de Asuán", que tiene una altura de 111 m y un largo de 3.830 m. Su embalse, el lago Nasser, es uno

de los más grandes del mundo, con una superficie de 5.250 Km<sup>2</sup> y una capacidad de almacenamiento de 169 Km<sup>3</sup> de agua.

El proyecto y construcción de esa gran presa, finalizada en 1964 en su primera fase, fue condenado por los medios de comunicación de la época, alegando razones tales como la pérdida de pesca en el Mediterráneo, la expansión de la esquistosomiasis (que pasó a llamarse "la enfermedad de las represas" a nivel mundial), la salinización de las tierras que serían irrigadas, la erosión de las orillas y lecho del Nilo aguas abajo de la presa, la reducción de la fertilidad en todo el valle del Nilo debida a la ausencia de los depósitos de limo y la erosión costera del delta, en su salida al mar. Debe sin embargo destacarse que hubo una excelente planificación de rescate histórico y cultural, con el aporte de la comunidad internacional, especialmente de UNESCO, pues al inundarse el valle de Abu Simbel fue necesario trasladar piedra por piedra los dos inmensos templos de Ramsés II, distribuidos en la selva y víctimas de vandalismo. Hoy es un increíble museo a cielo abierto que se hubiese perdido. Sin embargo, quedaron flotando las críticas ambientales y económicas antes señaladas. A fines del siglo pasado, tras aproximadamente treinta años de funcionamiento de la obra, resultó posible hacer una evaluación de los efectos ambientales y sociales que ella ha presentado en ese lapso (Abu-Zeid, 1993) observándose que la presa permite almacenar el doble del caudal medio anual del Nilo, es decir que el hombre controla casi totalmente su régimen, por lo que salvó a Egipto de los estragos de las crecidas de 1964, 1975 y 1988 (que hubieran producido muertes y calamidades sin su presencia) y de los efectos posiblemente catastróficos de nueve años de sequía, a partir de 1979. El citado experto no alcanzaba a imaginar cómo hubiera podido sobrevivir su país sin la presa. Lo cierto es que sólo el 2% del territorio de Egipto no es desértico y el estrés hídrico de ese país aumenta de forma paulatina, sumándose el ya instalado problema del cambio climático. Egipto es especialmente dependiente de las

aguas del Nilo Azul, que contribuyen en un 80% al embalse de la presa de Asuán, que es a su vez la fuente de vida para sus habitantes. Ello hace pensar que Egipto podría estar dispuesto a llevar al extremo un conflicto para impedir que el caudal del Nilo sea disminuido por acción de otro país.

## **LA GRAN PRESA DEL RENACIMIENTO ETÍOPE (GERD)**

Etiopía comenzó a construir su “mega presa” en el río Nilo Azul en mayo de 2011, sin acuerdo de los países ubicados río abajo (Egipto y Sudán), lo que ha generado desde entonces en Egipto una gran preocupación, pues la nueva presa puede reducir las cuotas anuales de agua en su país. Desde 2014, los tres países han iniciado negociaciones para llegar a un acuerdo sobre las características de manejo hidráulico de la presa y en 2015 firmaron una “Declaración de Principios”, según la cual los países de aguas abajo no deberían verse afectados negativamente por la construcción de GERD. Las negociaciones han continuado con la esperanza de encontrar un acuerdo. Sin embargo, esas conversaciones llegaron a varios puntos muertos a lo largo de 2019, que se mantienen hasta el presente, principalmente con respecto a la operación de la presa y el cronograma de llenado de su embalse. A mediados de julio de 2020, las autoridades etíopes realizaron unilateralmente la primera fase del proceso de llenado con 4.900 millones de metros cúbicos y se espera que la segunda fase del llenado alcance los 13.000 millones de metros cúbicos. Etiopía busca completar el embalse entre cinco y siete años.

La Presa del Renacimiento Etíope (GERD) es la quinta obra de cierre sobre el Nilo Azul y la más grande de África. Su objetivo es proporcionar agua y electricidad a la población, ya que el 70% de los 115 millones de etíopes no tienen acceso a estos servicios. Su construcción comenzó en abril de 2011 y el costo final ronda los \$ 4.900 millones de dólares financiados por el estado central etíope, con ayuda de bancos chinos para financiar

equipos hidroeléctricos y turbinas. Además, logró convertir la represa en un proyecto nacionalista (principalmente de los “amhara”, su etnia mayoritaria) aglutinando a la población. Tendrá la capacidad de generar 6.450 MW de electricidad lo que supondrá 15.000 GWH por año, es decir, cuadruplicará la actual capacidad de generación de Etiopía. Ello repercutirá en el desarrollo socioeconómico del país, con el potencial de producir suficiente electricidad para abastecer a seis millones de hogares, industrias y utilizar agua para los cultivos. Estos proyectos por supuesto sufren la presión ejercida por Egipto y Sudán con sus aliados internacionales sumado a los conflictos internos en Etiopía, para evitar que este país se convierta en la llave del agua del Nilo.

La figura N° 2 muestra una secuencia de etapas del llenado de GERD utilizando información del USGS, (Grand Ethiopian Renaissance Dam, Ethiopia, accessed September 5, 2023, at <https://eros.usgs.gov/media-gallery/earthshot/grand-ethiopian-renaissance-dam-ethiopia>). Se observa la evolución a partir de la primera imagen de la izquierda (enero 2016) hasta la última inferior derecha y más actual (enero 2023), mostrando las distintas etapas de ese llenado. En base a lo expuesto, se presentará un análisis de los efectos que se producen a través de los distintos tiempos de llenado, según la cantidad de agua que se conserve en el embalse.

## **COMPONENTE HIDROLÓGICA DE LA CUENCA DEL NILO**

Las características de la respuesta hidrológica de la cuenca del río Nilo ha atraído el interés de numerosos investigadores durante siglos. Para describir su complejidad se han analizado los siguientes temas: la estacionalidad, la estacionariedad y la presencia de persistencia (de corto y largo plazo) en los caudales del río. Se observan las diferencias entre las respuestas que provienen, principalmente, de los lagos Victoria y Alberto a través del río Nilo Blanco y las que provienen del Nilo Azul, que se originan en el Lago Tana.



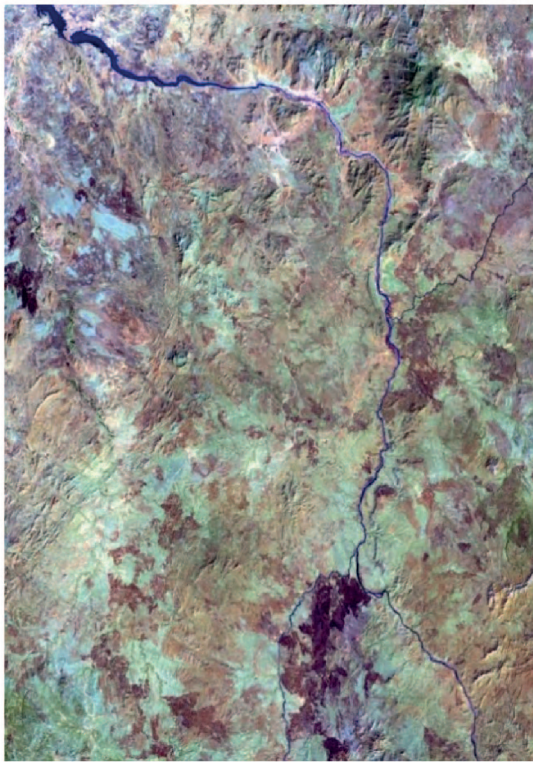


FIGURA 2a – 13 de enero de 2016



FIGURA 2b – 10 de enero de 2021

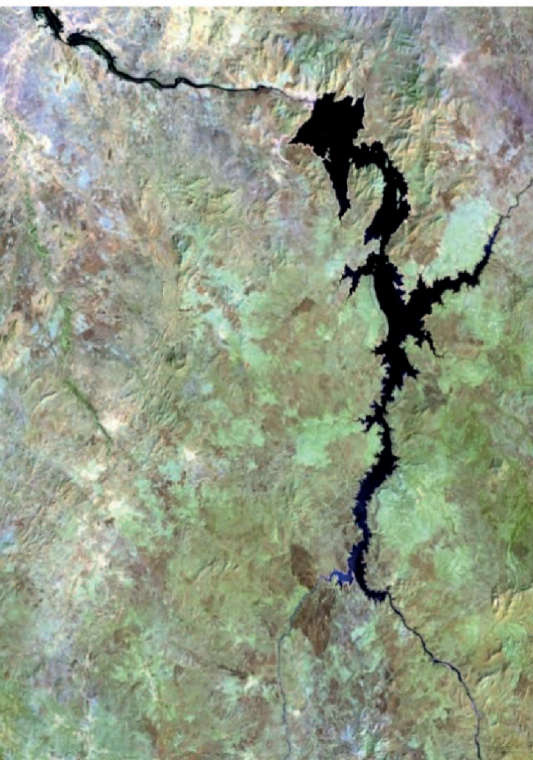


FIGURA 2c – 21 de enero de 2022

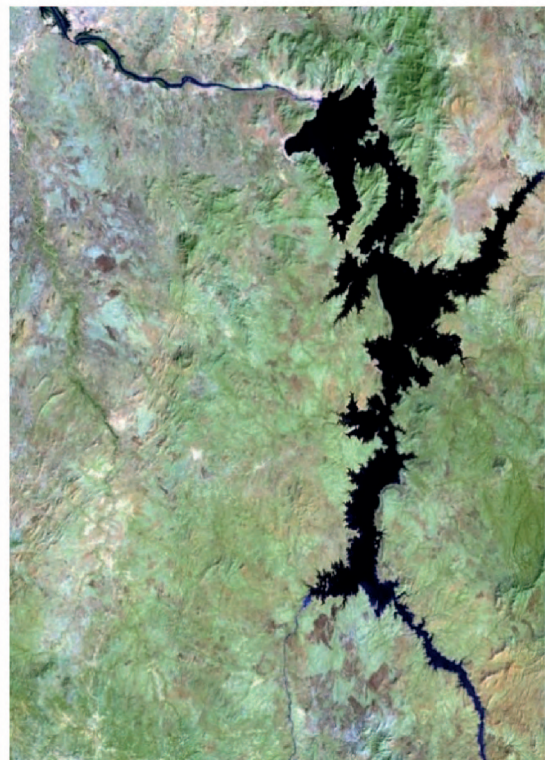


FIGURA 2d – 8 de enero de 2023

*Figura N° 2. Secuencia de imágenes del llenado del embalse GERD.*



La variabilidad de los caudales se relaciona, entre otros factores, con las ocurrencias de los extremos del ENSO, eventos El Niño y La Niña. Finalmente, se analizan los tiempos de llenado del embalse según la ocurrencia de distintas secuencias de caudales utilizados para el análisis de las normas de operación durante el llenado del embalse de GERD.

### Estacionalidad en las series de los caudales en la cuenca del río Nilo

Las series de los caudales en la cuenca del río Nilo muestran una marcada estacionalidad relacionada con el ciclo de las precipitaciones en las zonas de alimentación de las dos sub cuencas principales (Nilo Blanco y Azul). Los caudales se caracterizan por una variabilidad estacional (estacionalidad) que está determinada por la variabilidad cíclica de la precipitación y la evapotranspiración durante el año.

La figura N° 3 describe la estacionalidad de los caudales medios mensuales en las series de los caudales en los ríos Nilo Blanco, Nilo Azul y en el curso principal. En las se-

ries observadas se observa el comienzo de la curva de ascenso del hidrograma a partir de los meses de junio o julio.

La baja importancia de la componente del caudal que proviene del río Nilo Blanco muestra la relevancia de los aportes del Nilo Azul. La figura N° 3 permite apreciar que el mayor aporte al caudal en Asuán es proveniente del río Nilo Azul, por lo que, aunque hay otros afluentes menores, de esta forma se comprende mejor la importancia que el nuevo embalse de GERD, que regulará el Nilo Azul, tendrá para los países ubicados aguas abajo, especialmente Egipto.

La figura N° 4, ilustra la importancia de la estacionalidad de los volúmenes que provienen del Nilo Azul, mientras que los caudales del Nilo Blanco definen una componente menor del escurrimiento que llega a Asuán. La estacionalidad se describe con los coeficientes de Pardee (relación entre la media de los caudales mensuales y el caudal medio anual) que se han estimado utilizando la información de Sutcliffe y Park (1999).

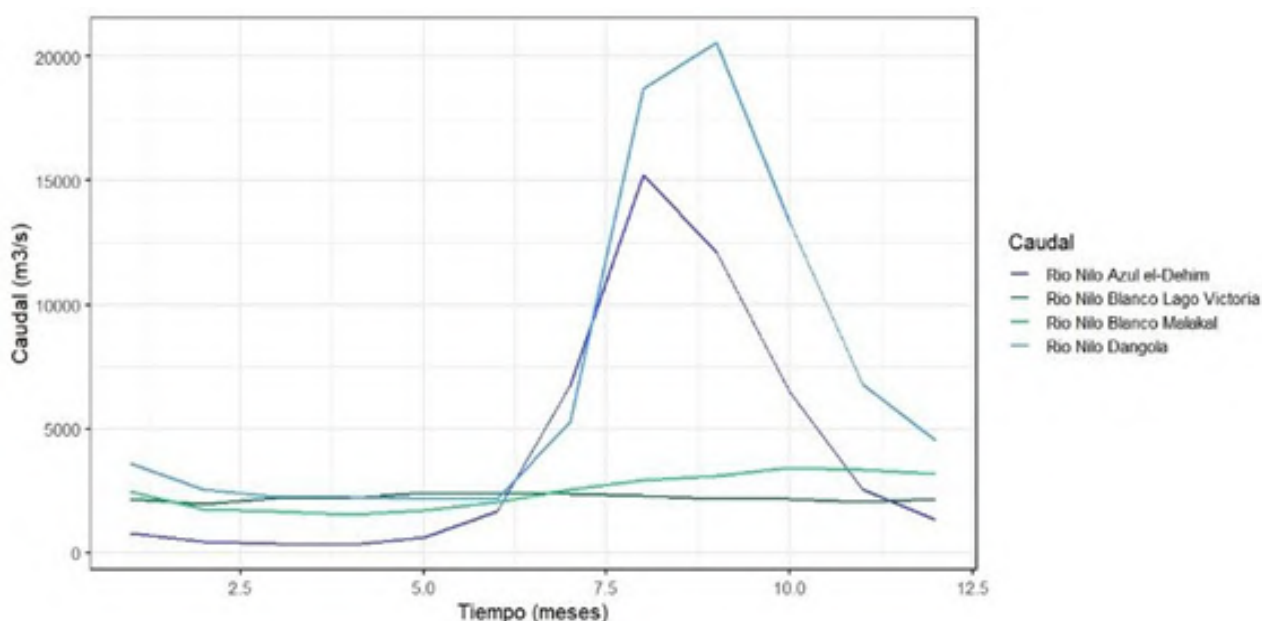


Figura N° 3. Comparación de los caudales medios mensuales en el río Nilo Blanco (Lago Victoria y Malakal), río Nilo Azul (el-Dehim) y en el Nilo (Dangola).

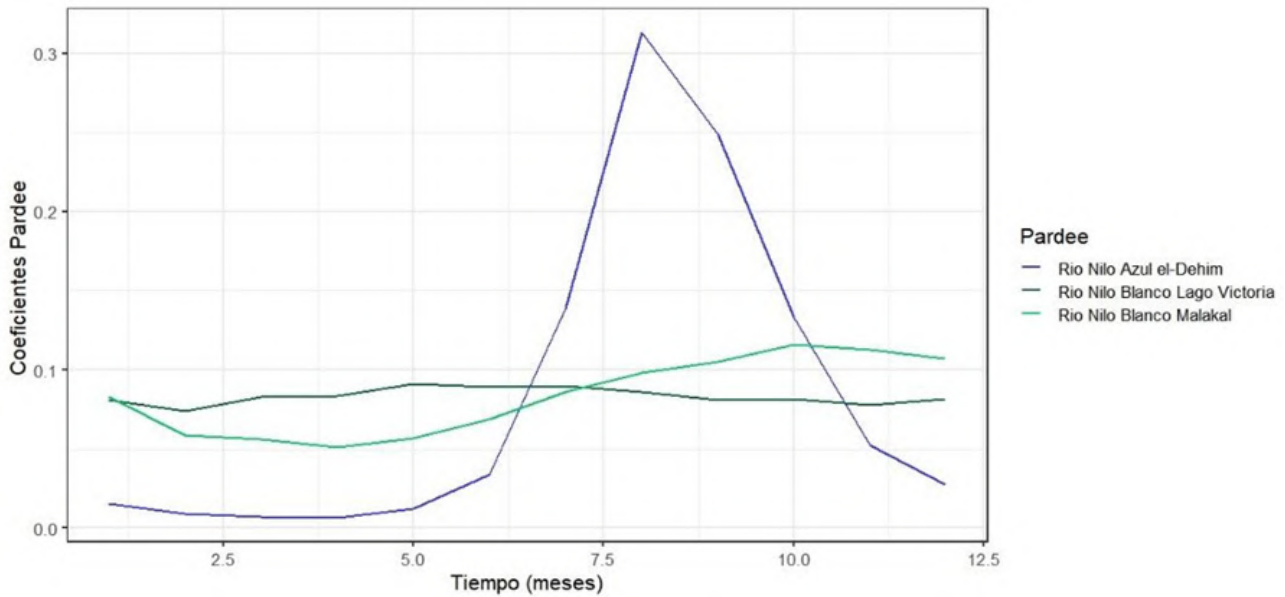


Figura N° 4. Comparación de los coeficientes de Pardee en el río Nilo Blanco (Lago Victoria y Malakal) y en el río Nilo Azul (el-Dehim).

La información utilizada corresponde a los caudales medios mensuales. Por ejemplo, para el Lago Victoria (período 1901-1995) se observa la presencia de dos máximos. Se ha estimado la diferencia entre los coeficientes (máximo y mínimo) de Pardee para las diferentes series medias mensuales para el Lago Victoria (0,017), en Malakal (0,064) y en el Nilo Azul (0,306). Estas estimaciones muestran que la respuesta hidrológica de las precipitaciones en el río Nilo Azul presenta un único máximo, como se observa en la figura, y una mayor estacionalidad que las estimadas para las series en el Nilo Blanco (Lago Victoria y Malakal).

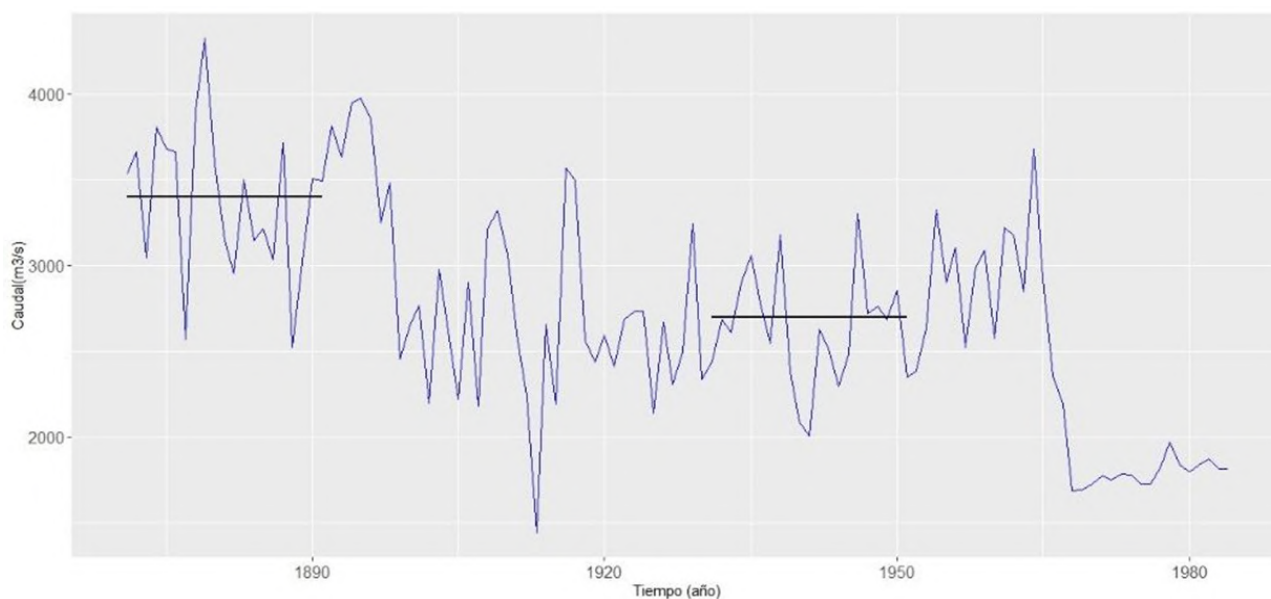
Estacionariedad en las series de los caudales en la cuenca del río Nilo

Los caudales medios anuales en el río Nilo muestran una gran variabilidad que ha sido analizada en numerosos trabajos. Sutcliffe et al. (2016) usan los datos caudales en el Nilo en Asuán observados en el periodo 1870-1959 para mostrar la importancia de las diferencias en las medias y desvíos estándar para tres períodos (1870-1899, con media de  $v = 110,0 \text{ km}^3$  y desvío estándar  $\sigma = 17,1 \text{ km}^3$ ), (1900-1959,  $v = 84,5 \text{ km}^3$ ,  $\sigma = 13,5$ ) y (1870-1959,  $v = 92,6 \text{ km}^3$   $\sigma = 19,8$ ).

La figura N° 5 muestra gráficamente la importancia de la variabilidad de los caudales de la serie observada en Asuán. Esta serie temporal presenta una longitud que permite un análisis de la presencia de "estacionariedad". Reggiani et al. (2022), discuten la presencia de no estacionariedad (de corto plazo) y la estacionariedad de la serie completa.

En esta figura y siguiendo la idea del trabajo citado, se han señalado dos períodos de treinta años que muestran los cambios en la media de las sub series consideradas (1870-1890 y 1930-1950). Hay una coincidencia en los resultados presentados en distintas investigaciones.

Se ha demostrado que el cambio en la estructura de una serie temporal climática puede incluir formas combinadas (media y tendencia) y la posibilidad de su detección (Beaulieu et al., 2012). Los forzantes climáticos afectan directamente a las diferentes componentes de un hidrograma, y por lo tanto se justifica el interés de aplicar modelos para detectar la presencia de estructuras de cambio complejas. Los puntos de cambio en las características de una serie, incluyen las medias, tendencias, varianzas y auto co-



*Figura N° 5. Variabilidad de los caudales medios anuales en el río Nilo (Asuán).*

relaciones. Entre las causas de estos cambios se encuentran la variabilidad climática natural y la inducida por modificaciones en los procedimientos de medición (Shi et al., 2022). Por lo tanto, es necesario contar con métodos que permitan identificar estos casos, que se pueden presentar en series hidrológicas asociadas a variables climáticas (como los caudales) y con nuevos modelos que fueron desarrollados para la selección automática y diagnóstico para datos climáticos y ambientales (Killick et al., 2014).

En la figura N° 6 se pueden observar los distintos puntos identificados con un modelo para los dos afluentes principales del Nilo. En la parte izquierda se presenta la detección en el río Nilo Blanco y a la derecha el resultado para el río Nilo en Asuán. Esta última muestra las posibilidades de la detección utilizando un modelo de detección de cambios y se observa un resultado diferente al mostrado en la figura anterior. La nueva figura muestra un caso de detección asociado con la variabilidad climática y que es descrito por Todini y O'Connell (1979).

Existen diferentes métodos que pueden ser aplicados a obtener distintas identificaciones y eso implica la necesidad de estudiar

los resultados incorporando, por ejemplo, información adicional o un modelo de análisis diferente. Esta solución fue aplicada en el análisis de la serie de caudales medios anuales del Nilo en Asuán para discutir la posibilidad de un cambio en los caudales asociados, inicialmente, con la construcción de la primera presa de Asuán (O'Connell y Todini, 1979).

Se presenta un análisis de una serie de caudales medios anuales en el río Nilo y otra observada en la cuenca del río Nilo Blanco. Estos casos, son útiles para analizar nuevas ideas sobre las posibles causas del cambio en los caudales. Este tipo de estudio contribuye a entender la importancia de la variabilidad de los caudales en una cuenca que presenta numerosas obras, construidas en diferentes tiempos (Tabla N 4).

Para la serie de caudales medios anuales del Nilo en Asuán y en el Nilo Blanco (Malakal) se aplica la prueba de cambio de media 'Cpt' del software 'Changepoint'. En la figura N° 6 se puede observar que para la serie en Asuán se ha detectado un cambio en la media en el punto 28 (1.898) y en la serie de caudales del Malakal se identificó el punto 50 (1.962).

Por otra parte (Kite, 1981) ha demostrado que los cambios más recientes en el caudal del río Nilo Blanco están relacionados con variaciones en los niveles de los lagos que originan su caudal. Esta investigación indica que este cambio en el caudal produjo en 1964 inundaciones la cuenca baja, como resultado del aumento del nivel del lago Victoria en unos 2.5 m, entre los años 1960 y 1964. Otro aumento algo menor en el nivel del lago Victoria en enero de 1977 produjo el aumento de caudales correspondiente en río Nilo. Otras investigaciones relacionan los cambios en los lagos con indicadores de la variabilidad climática, ENSO (El Niño Southern Oscillation) y el Dipolo del Océano Índico (Becker et al., 2010).

La Figura N° 5, previamente mencionada, muestra tres períodos con diferentes propiedades estadísticas. También la figura N° 6, indica la presencia de cambios en la media asociados a razones climáticas. Existe bibliografía para una descripción precisa de las causas de los cambios y su relación con el clima en el río Nilo en Asuán (Todini y O'Connel, 1979).

Los resultados muestran dos casos de cambios asociados a condiciones no estacionarias relacionadas con la climatología de las cuencas y que pueden ser detectadas. Estos resultados muestran la posible presencia de cambios que alteren las condiciones de diseño y operación. Además, describen uno de los problemas que se deberán resolver en el futuro: la importancia de los cambios en las propiedades estadísticas, de origen natural, de las series de caudales.

En la bibliografía (Mulat y Tegegne, 2023) se presenta una completa revisión de la información de la cuenca del Nilo Azul. Estos autores han estudiado el sistema futuro de recursos hídricos de la Gran presa del Renacimiento de Etiopía y analizado proyecciones de las componentes hidrológicas de la cuenca, estudiando los extremos hidrológicos, la presencia de tendencias en las series hidrológicas y las proyecciones hidrológicas con modelos.

Se presenta un análisis de la serie de los caudales medios anuales del Nilo en Asuán. Se han utilizado los resultados de la etapa

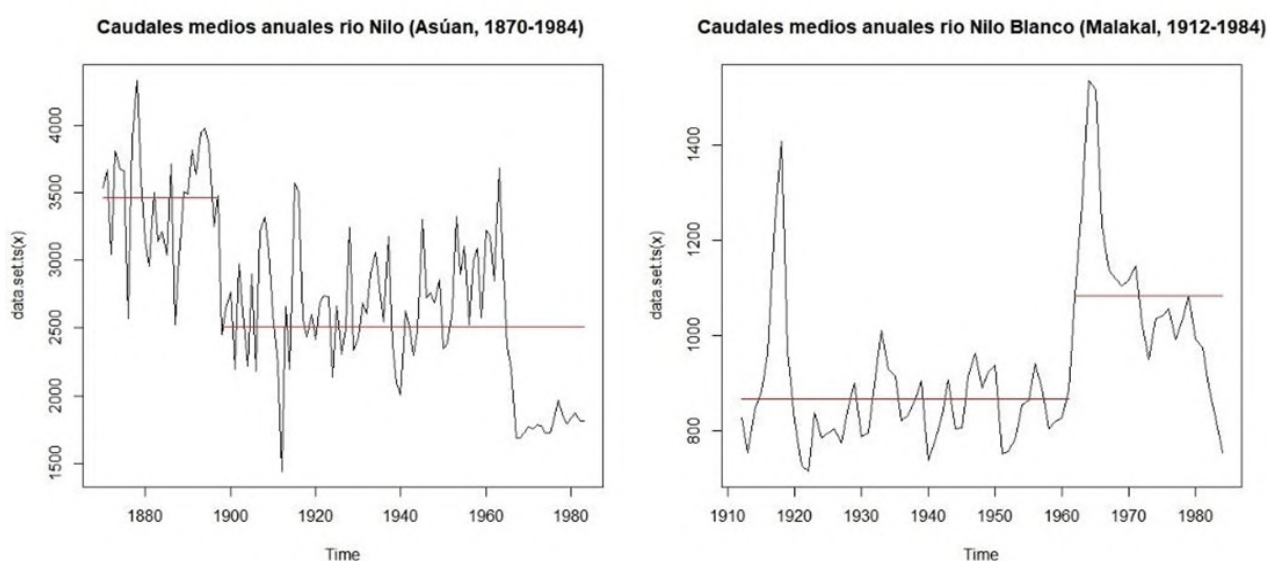


Figura N° 6. Análisis de puntos de cambio en la media de la serie de los caudales medios anuales. Río Nilo (Asuán) y Río Nilo Blanco (Malakal). 'ChangePoint'.



anterior, identificación de un punto de cambio, para estimar los valores de las medias y desvíos estándar de la serie completa y de las sub-series identificadas. Se han estimado los coeficientes de la función de autocorrelación, el exponente de Hurst y otras métricas adicionales (Tabla N° 3).

En este trabajo se ha estimado con Tsfeatures (software R), una medida de la memoria de largo plazo de una serie de tiempo (Hurst). Para contar con información adicional sobre la importancia del cambio se puede estimar la dimensión fractal de la serie temporal, con la siguiente expresión:  $D = 2 - H$ .

Para el exponente de Hurst entre  $0 < H < 1$  se obtiene  $1 < D < 2$ . La estimación del exponente de Hurst vincula la información de la serie con la teoría fractal, dado que bajo ciertas condiciones de auto semejanza resulta  $D = 2 - H$ . Turcotte (1994) estimó la dimensión fractal de series de máximos en diez series de extremos con una cantidad de observaciones semejantes de datos utilizados. Por esa razón, se ha incorporado la ecuación que relaciona el parámetro de Hurst con la dimensión fractal de la serie temporal para mostrar los cambios entre las series.

Los valores estimados muestran tanto una variación en los estadísticos descriptivos

como en la estructura de la autocorrelación. Se observan cambios en la dependencia, de corto y largo plazo, entre las dos sub-series. Estos resultados muestran cambios en la estructura de dependencia y permiten relacionar las estimaciones con los métodos de análisis de sistemas hidrológicos complejos que permiten la comparación entre cuencas y evaluar las posibilidades de pronósticos. La capacidad de diseño de un embalse depende del mecanismo generador de los caudales. Wallis y Matalas (1972) han utilizado un algoritmo de estimación de la capacidad de un embalse para mostrar que el volumen mínimo para satisfacer un nivel específico de demanda depende de los valores del coeficiente de autocorrelación (retardo 1) y del coeficiente de Hurst, que son estimados a partir de los caudales observados.

Este resultado es muy importante porque utiliza el exponente de Hurst en el plan de experimentos y obtiene interesantes conclusiones en cuanto a su efecto sobre la capacidad. La información presentada en las tablas anteriores también se ha utilizado en investigaciones posteriores que estudian los métodos para definir las características de los embalses. Por ejemplo, se puede citar la aplicación de una base global de datos de caudales para la comparación de métodos

Serie	Cantidad de datos	Media (m <sup>3</sup> /s)	Desvío Estándar (m <sup>3</sup> /s)	Coefficiente de variación	Fac (1)	Hurst	D
Completa	100	2742,4	642,3	0,23	0,68	0,97	1,03
Parte 1	28	3463,8	424,8	0,12	0,14	0,54	1,46
Parte 2	72	2643,7	446,8	0,17	0,32	0,75	1,25

Tabla N° 3. Efectos de la separación y métricas de las series de caudales medios anuales. Río Nilo en Asuán (1870-1970).

de estimación de las características de un embalse (McMahon et al. 2007). Otros trabajos que han estudiado la relación entre las series temporales y los parámetros de diseño de embalses se encuentran en Vogel y Stedinger (1987) y Vogel et al. (1999).

Las figuras demuestran la importancia del análisis de la "estacionariedad" (propiedad de un fenómeno permanente o estacionario) de una serie de caudales que se relaciona con la variación de los que caracterizan a las series con el tiempo. La hipótesis de estacionariedad, en forma simple, significa que el futuro tendrá propiedades semejantes al pasado. Entonces, los parámetros de diseño de las obras futuras dependen directamente de la verificación de esta hipótesis. Ello demuestra la importancia de observar la información de estas figuras para evaluar los riesgos de los cambios en las estimaciones de las obras de infraestructura hidráulica, como el caso de GERD.

En consecuencia, se puede señalar un aspecto crítico del problema actual, que es la política de llenado del embalse de la nueva presa GERD. Es decir, el tiempo que Etiopía tardará en llenar ese embalse. Este tema ha conducido al desarrollo de numerosos estudios que proponen distintos tiempos de llenado. Los períodos analizados oscilan entre los tres años y los veinte años. Como es evidente, Etiopía propone utilizar periodos cortos y Egipto los extensos. Ésta es evidentemente una de las causas del conflicto y la falta de acuerdos.

### **Persistencia de largo plazo**

La cuenca del río Nilo presenta una singular característica que se relaciona con la estimación del volumen de un embalse necesario para regular los caudales que es la persistencia de largo plazo. Esta característica fue descrita por Hurst (Hurst, 1951) cuando propuso el primer estimador para su evaluación y ese trabajo se convertiría en uno de los artículos más influyentes y citados en el campo de la hidrología científica (O'Connell et al. , 2023).

Hurst cuantificó la persistencia a largo plazo (LTP) en series geofísicas temporales de tiempo, o sea la tendencia de las series de años por encima o por debajo del promedio a ser inusualmente prolongadas. Se utilizó un coeficiente "H" para caracterizar la persistencia para un rango  $H > 0,5$ , siendo  $H = 0,5$  correspondiente al caso independiente (ruido blanco, es decir, sin persistencia.). Hurst analizó un amplio conjunto de series temporales geofísicas del Nilo y encontró un valor promedio de  $H = 0,73$ , con una desviación estándar de  $\sigma = 0,09$ . En particular, informó un valor de  $H = 0,9$  para los caudales anuales del río Nilo en Asuán, lo que refleja una fuerte "LTP". La idea de persistencia de largo plazo y su utilidad para la estimación de las capacidades de los embalses condujo a desarrollar un estimador, que denominó "K", para describir una particularidad de las series temporales.

En el marco de este trabajo interesa señalar dos características. La primera, es la aplicación de este indicador en la estimación de los volúmenes de los embalses. La segunda, es la relacionada con el problema de la operación de esos embalses. Ella es la relación de los caudales del río Nilo con la variabilidad climática, por ejemplo "El Niño/Oscilación del sur" (ENSO, por sus siglas en inglés), que presenta una posibilidad de predicción de largo plazo para los caudales y contribuiría a reducir los efectos de la variabilidad de los mismos. Esta afirmación es especialmente cierta en África, donde la variabilidad de los valores puede persistir durante largos períodos y en grandes áreas. La escorrentía de diferentes regiones de África puede cambiar dramáticamente y causar sequías prolongadas o períodos de altos flujos que invalidan las estimaciones anteriores (Sutcliffe y Knott 1987).

La estimación de una LTP para escala regional del promedio de la precipitación pluvial tiene implicaciones importantes para caracterizar la gravedad de las sequías regionales, así como la LTP en los caudales anuales de los grandes ríos y la recarga de los principales acuíferos. Las teleconexiones con

modos conocidos de variabilidad de baja frecuencia en el sistema climático global se demuestran mediante análisis de correlación y regresión (O'Connell et al., 2023).

En el caso del Nilo, existe un vínculo bien conocido entre las fluctuaciones de la temperatura media de la superficie (TSM) en el Océano Pacífico (y El Niño) con las lluvias monzónicas sobre la meseta etíope y, en consecuencia, las fluctuaciones anuales de la escorrentía en la cuenca del Nilo Azul. Como se ha mencionado, la escorrentía del Nilo Azul puede representar hasta el 80 % de la inundación en Asuán, por lo que se puede deducir que la variabilidad a largo plazo de las precipitaciones en la meseta etíope es un factor importante de la variabilidad a largo plazo en la escorrentía anual del Nilo en la zona egipcia. Se encontró una relación lineal entre un índice "SST" de El Niño para los meses de septiembre, octubre y noviembre y la escorrentía anual del Nilo en Asuán, que explica el 25% de la varianza (Eltahir, 1996).

Otros autores (Zaroug et al., 2014) simulon la relación estadística observada entre ENSO y la hidrología del Nilo Azul usando una versión del modelo climático regional RegCM4 para el período de veintiocho años (1982–2009). El modelo pudo reproducir la correlación negativa observada entre la TSM del Pacífico y diez anomalías de lluvia sobre la cuenca del Nilo Azul. En particular, se observó la asociación de sequías sobre el Nilo Azul coincidentes con eventos de El Niño que comienzan durante el período de abril a junio. Por lo tanto, esta metodología se podría utilizar en el pronóstico estacional del caudal del río Nilo Azul.

Existen estudios acerca de la dependencia de la ocurrencia de sequías e inundaciones en la cuenca superior del Nilo Azul en relación con la ocurrencia de eventos de El Niño y La Niña. (Zaroug et al., 2014). Diferentes eventos comienzan en distintas épocas del año y se suceden, exhibiendo diferentes patrones y secuencias. A su vez, estos investigadores encontraron que el 83% de los eventos de El Niño que comenzaron entre

abril y junio coincidieron con la ocurrencia de sequías en la cuenca alta del Nilo Azul. Esos autores, con una muestra reducida, proponen la idea que las observaciones y los pronósticos del modelo global de TSM durante esa temporada, se podrían utilizar para desarrollar un pronóstico estacional del caudal del Nilo Azul. Un pronóstico de estas características sería muy adecuado para contribuir a la operación conjunta del sistema de presas entre GERD y Asuán.

Los resultados presentados muestran la importancia que para las nuevas condiciones en la cuenca del Nilo con la presencia de GERD tendrá contar con pronósticos adecuados para la operación de los embalses. Milly et al. (2008) describieron la importancia que la hipótesis de la estacionariedad tiene en las técnicas usadas en el diseño y la operación de sistemas hidráulicos complejos. Luego, mostraron la importancia de esta discusión al relacionarla con la influencia del cambio climático global sobre el ciclo hidrológico. Además, si se recuerda el efecto de no estacionariedad (Milly et al, 2015) que se encuadra en la idea de "un futuro distinto del pasado", cobra sentido la importancia de conocer los mecanismos climáticos hidrológicos que producen los extremos. Este planteo también se justifica por el enorme avance que ha tenido la incorporación de modelos de circulación general de la atmósfera para simular las teleconexiones (Siam et al. 2015). Estas posibilidades que se abren para controlar los conflictos actuales tienen un punto común: los desarrollos de Edwin Harold Hurst, que con muy diferentes posibilidades de cálculo logró analizar numerosas series temporales para encontrar un indicador que caracterizara ciertas particularidades que se aplican actualmente.

La hipótesis de estacionariedad, continua subyacente en numerosos trabajos analizados y se debería considerar que la operación futura del nuevo sistema GERD-Asuán podría desarrollarse en un sistema climático e hidrológico diferente. Los pronósticos se clasifican en: corto plazo (días y sema-

nas), mediano plazo (hasta seis meses) y de largo plazo (mayores períodos). Las características de la cuenca y la influencia del fenómeno del ENSO y otras variabilidades climáticas muestran la posibilidad de desarrollar predicciones de mediano plazo para la operación del sistema. La utilización de modelos de pronóstico sería conveniente para la operación y se podría definir el horizonte de las predicciones.

### Series temporales de caudales y el análisis en la etapa de llenado del embalse

El problema de la duración del proceso de llenado ha producido el desarrollo de numerosas investigaciones (Wheeler et al, 2016, Wheeler et al, 2020). Además, otros autores (Heggy et al., 2021) presentan una comparación entre investigaciones con períodos e hipótesis de distintos escenarios de la duración del llenado. Finalmente se discuten los conceptos anteriores y se presentan resultados alternativos (Wheller et al., 2022).

El aspecto hidrológico del llenado del embalse de GERD está relacionado con la ocurrencia de distintas secuencias de caudales y distintos efectos sobre los caudales

entrantes a la obra de Asuán. Para mostrar la importancia que tienen las secuencias de caudales se presentan los resultados de un experimento numérico que consiste en utilizar la información básica disponible para los proponer gráficos que muestren los diferentes efectos asociados a las distintas secuencias de caudales. Los resultados mostraron algunos cambios que fueron descritos en las figuras N°1 y N°2, pero con esta idea se podrán observar los efectos sobre la forma del hidrograma medio mensual y una idea más precisa de las magnitudes de las diferencias que generan el problema. Esos autores (Wheller et al., 2020) señalan que aún no hay acuerdos concretos sobre la forma de la operación del nuevo embalse GERD para la gestión de las situaciones que podrían ocurrir con caudales bajos o en sequías prolongadas. Ellos estudiaron los posibles riesgos de Asuán para distintos escenarios con series temporales de caudales en caso de situaciones extremas (sequias y excesos). Las características de estas series temporales presentan diferencias. Dado que el Nilo tiene un largo historial de caudales, se seleccionaron secuencias históricas de caudales que son representativas

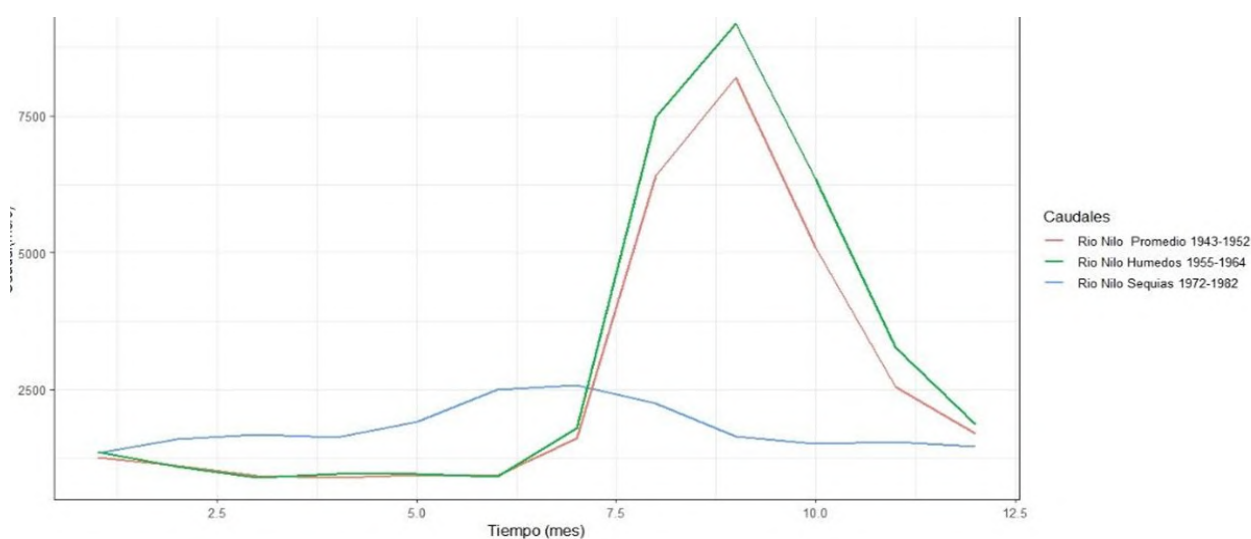


Figura N° 7. Caudales medios mensuales en la cuenca del rio Nilo en Asuán. Efectos de la estacionalidad de las trazas propuestas.



para caudales bajos, medios y altos para estudiar cómo funcionaría el sistema bajo estas condiciones hidrológicas. Estas series corresponden a secuencias de caudales que muestran características de medios y extremos y fueron definidas para distintos períodos. En este análisis se han seleccionado las trazas de 20 años de duración. Los siguientes gráficos muestran las diferencias entre los distintos caudales que han utilizado para simular los efectos sobre Asuán.

La tabla N°4 muestra las diferencias en las características de las series temporales para los distintos períodos de 20 años.

Este análisis de los caudales medios mensuales muestra los cambios en algunos estadísticos descriptivos (media y desvío estándar) y en las estructuras de las series temporales. La función de autocorrelación de corto plazo y la acumulada de las diez primeras indican que las trazas asociadas con las sequías están más autocorrelacionadas que las otras dos series de caudales. Es esperable que la ocurrencia de secuencias diferentes a las observadas pueda incorporar más incertidumbre a la política de llenado y por lo tanto al complejo problema de lograr una operación conjunta favorable a ambos países.

### Efectos de las trazas en el tiempo de llenado del embalse

Los efectos del llenado del embalse han sido analizados por distintos autores. La siguiente figura muestra el efecto de las distintas series presentadas para mostrar los tiempos de llenado. La ecuación considera una estimación del caudal que ingresa al embalse es el 80% del observado en el río Nilo (Asuán) y es un experimento numérico simplificado (por ejemplo, no consideran las pérdidas por evaporación). La idea del experimento consiste en mostrar la influencia que las distintas trazas de caudales propuestas, Wheler et al. (2020), tienen sobre los tiempos de llenado y la razón de la importancia de esta discusión. La versión de llenado 'rápido' y la de llenado 'lento'. El ejemplo simplificado muestra el núcleo del problema: la cantidad de agua que Etiopía utilizará para la etapa de llenado de GERD y los distintos efectos (económicos y sociales) que tendrán sobre la operación de Asuán. Los resultados muestran la importancia que tiene la ocurrencia de distintas secuencias de caudales en los tiempos de llenado, aún si se utiliza un 20% para esa tarea.

Series	Periodo	Media (m <sup>3</sup> /s)	Desvío Estándar (m <sup>3</sup> /s)	Fac Fac(10)	Hurst	<u>Dimension</u> D=2-H
<u>Sequias</u>	1972-1 982	1803	414,4	0,717 1,722	0,986	1,014
Promedio	1943-1 952	2634	248,3	0,670 1,317	0,980	1,020
Crecidas	1955-1 964	3010	2928,0	0,684 1,386	0,983	1,017

Tabla N° 4 Características de las series de caudales medios mensuales en la cuenca del río Nilo en Asuán. Nota: Fac: función de auto-correlación y exponente de Hurst (Hurst, 1951).

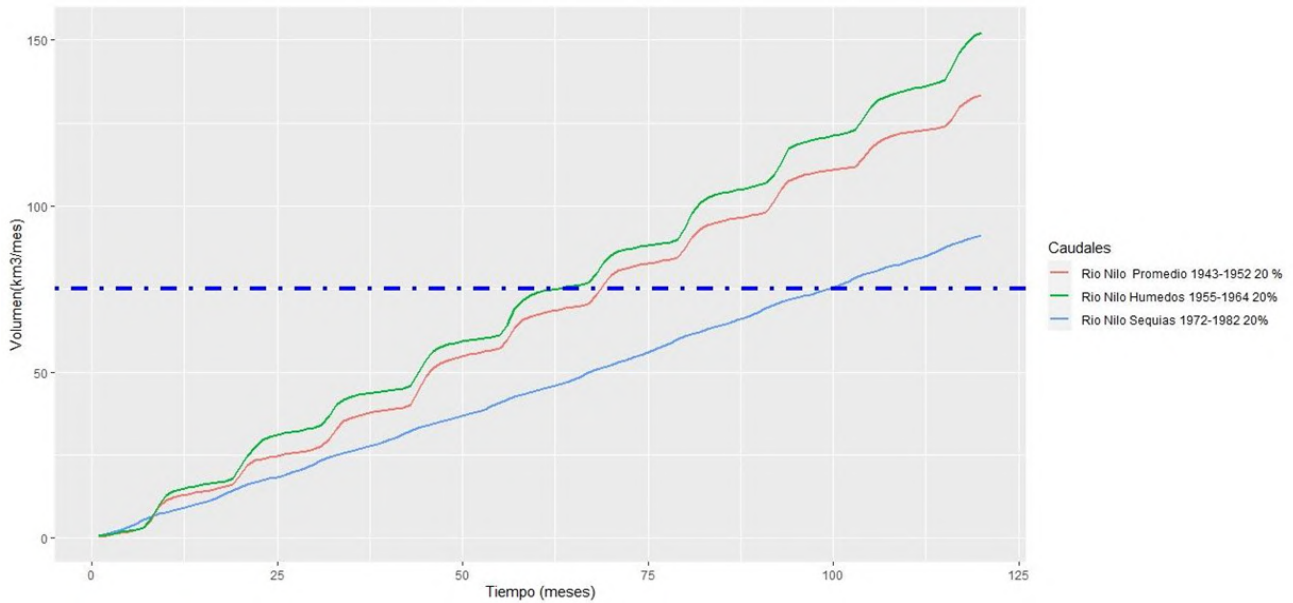


Figura N° 8. Caudales medios anuales en el río Nilo en Asuán. Efectos de la separación de las trazas naturales sobre los aportes al embalse de Asuán.

La figura N° 8 muestra la importancia que tiene la ocurrencia de distintas secuencias de caudales en los tiempos de llenado si se utiliza un 20% del caudal medio mensual para su llenado. Se observa que para la traza 'secuencia húmeda', el tiempo de llenado tarda 5,25 años y para la traza, que describe las condiciones promedio, la duración es de 5,60 años. La traza de los casos secos es aproximadamente de 7,7 años de la duración del experimento.

La siguiente figura complementa la idea con los resultados de incrementar la cantidad de agua que se destina al llenado de GERD (30%). Se observa la reducción de los tiempos de llenado, aunque los posibles efectos sobre la operación de Asuán (generación de energía y otros efectos) y los ecosistemas que luego serán afectados nuevamente con el retorno a la variabilidad natural de los caudales generados por el sistema hidrológico. Los valores estimados disminuyen y se observa que para todas las secuencias se reducen los tiempos de llenado (por ejemplo, el tiempo de llenado, para los años promedio, se reduce a 3.8 años).

El experimento desarrollado y los resulta-

dos muestran el núcleo de la discusión: un llenado rápido (de muy pocos años) sólo se podría llevar a cabo bajo condiciones hidrológicas muy favorables, secuencia de años con excesos o con una alta afectación del caudal que llega a Asuán.

Además, muestran que la utilización del agua de la reserva de GERD en una sequía extrema conduciría, lógicamente a la necesidad de su nuevo llenado con distintas consecuencias. La cuenca del río Nilo ha incrementado sensiblemente la capacidad de reserva de sus grandes embalses para la operación en escala multianual. Al principio, en década de 1960 y considerando solamente a los grandes embalses (multianuales), sólo se había construido Asuán (169 Km<sup>3</sup>) y ahora las reservas aumentaron en un 30,4% para el sistema completo, con la incorporación de GERD (74 Km<sup>3</sup>).

## CONCLUSIONES

Aproximadamente sólo la mitad de los ciudadanos de Etiopía tienen acceso a la electricidad, un porcentaje más bajo que la mayoría de los demás países de África y un porcen-

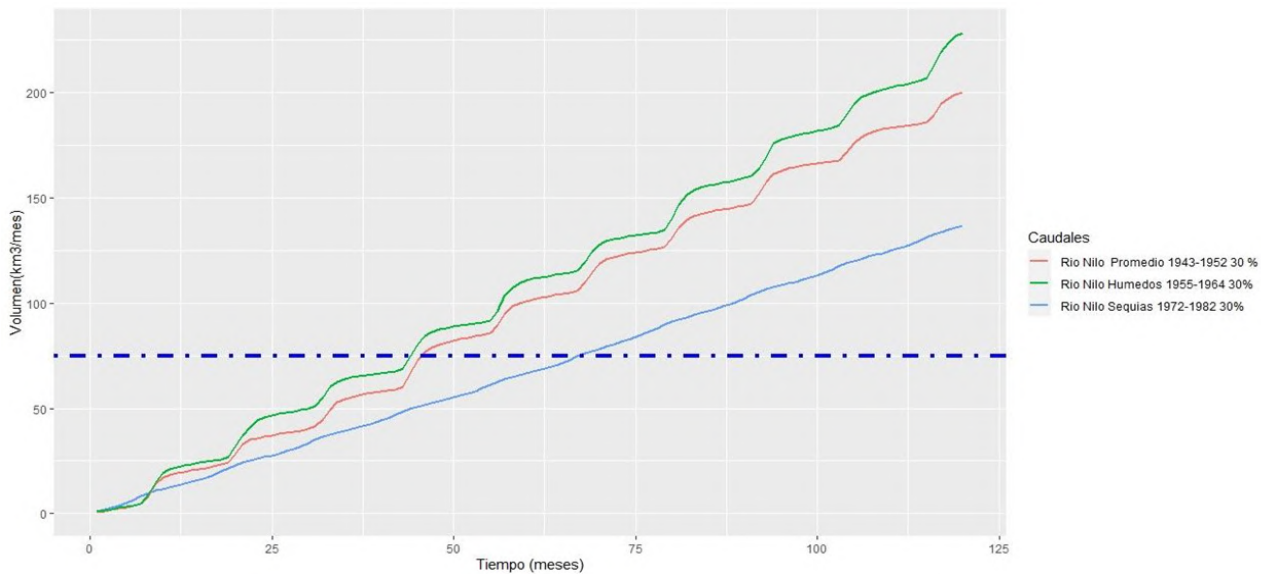


Figura N° 9. Caudales medios anuales en el río Nilo en Asuán. Efectos de la separación de las trazas naturales sobre los aportes al embalse de Asuán.

taje mucho más bajo que la mayoría de los demás países del mundo. Para cambiar esta situación, el gobierno etíope comenzó a construir una represa en el Nilo Azul en 2011 (GERD) y está actualmente finalizando la etapa de llenado de su gran embalse. Esta obra de ingeniería influirá sensiblemente en las operaciones de presas ubicadas aguas abajo y especialmente en Asuán que tiene, como la GERD, capacidad de regulación plurianual. Además de generar electricidad, GERD podría atenuar las destructivas inundaciones estacionales en Sudán, aumentar el suministro de alimentos en Etiopía al proporcionar agua de riego confiable y extender la vida útil de otras represas río abajo en el Nilo atrapando sedimentos. Sin embargo, al cambiar la hidrología del río, la nueva gran presa puede tener un impacto muy negativo en millones de personas que viven y cultivan río abajo en Egipto y utilizan el agua del Nilo, dado que el 95% de las tierras de cultivo de ese país se encuentra dentro de una zona estrecha cercana a las orillas del río. Debe tenerse presente que los grandes embalses pueden producir distintos problemas aguas abajo de su emplazamiento y en par-

ticular los conflictos se agravan cuando estos embalses son trasfronterizos, como es el caso que actualmente preocupa a los países que comparten la cuenca del Nilo. Por ejemplo, esta situación de conflictividad ya se ha vivido en América del Sur entre Argentina y Brasil con la construcción y llenado del embalse de Itaipú (río Paraná) y fue resuelta hace más de cuarenta años. Sin embargo, es de destacar que los temas de pronóstico y operación tienen una vigencia permanente en un sistema tan complejo y vital para la Argentina. La generación de la energía hidroeléctrica es particularmente susceptible a los impactos adversos del cambio climático porque se ve afectada directamente por los cambios y las variaciones en los patrones de precipitaciones y temperaturas. Por ejemplo, la producción de generación de energía hidroeléctrica puede fluctuar debido a las variaciones en el caudal medio anual, los cambios en los caudales estacionales y el aumento de la evaporación de los embalses (IPCC, 2014a). Por lo tanto, una mayor dependencia de la energía hidroeléctrica podría significar también una mayor probabilidad de exposición a los peligros climáticos.

Existen nuevos desafíos que plantean las obras hidroeléctricas cuyos efectos de regulación de los caudales superan los límites de las fronteras y generan problemas que potencialmente pueden ser resueltos incorporando modelos y técnicas de la ingeniería y la hidrología. Este es un proceso que está directamente relacionado con un crecimiento de obras de energía hidroeléctrica en países en vías de desarrollo (tanto en América del Sur como en África) donde se están diseñando y construyendo la mayor cantidad de estas obras en el siglo XXI.

En este trabajo se pone en evidencia que, del análisis comparativo de las magnitudes de los embalses en el Nilo, sólo dos obras tienen la capacidad de regulación interanual (GERD y Asuán). El núcleo del problema es que el control de los caudales del río Nilo lo definirá la operación del nuevo embalse pues las otras obras, ubicadas en la zona de traslado de los caudales hasta Asuán, desde el punto de vista hidrológico no alcanzan a regular los caudales.

En definitiva, esta nueva obra "rompe" con el modelo político anterior de los recursos hídricos compartidos en la cuenca del río Nilo y su equilibrio definido desde principios del siglo XX cuando se acordó, sin la presencia de Etiopía, la repartición del agua del Nilo entre Egipto y Sudán. En este punto se debe mencionar que la secuencia de etapas de la construcción de GERD, en las cuales Egipto no ha podido influir, muestra una posibilidad de escalamiento del conflicto. En los últimos años numerosos estudios han tratado de demostrar la escasa influencia económica de la construcción y operación de GERD sobre Asuán, aunque algunas otras investigaciones estiman efectos mayores.

Existe otra línea de pensamiento que ha incorporado al debate la idea que solo los aportes científicos y técnicos permitirán una convivencia pacífica entre las naciones. En esa línea, que parece la más lógica, será necesario no negar el problema y ocuparse en resolverlo, por ejemplo, con nuevos modelos de pronóstico de mediano y largo plazo que podrían contribuir al manejo racional de las

aguas en disputa.

Otro tema importante es la variabilidad climática natural en la cuenca y la ocurrencia de cambios en los caudales medios anuales que se ha relacionado con las modificaciones en el comportamiento del sistema climático que influye en las estructuras de dependencia de las series en los principales afluentes del río Nilo.

Se destaca también la influencia de la variabilidad climática natural (por ejemplo, el ENSO) que implica la necesidad de contar con pronósticos hidrológicos de mediano plazo (algunos meses de anticipación). La propuesta podría ser mejorada con las nuevas tecnologías de pronóstico de mediano plazo que incorpore la variabilidad climática natural.

Los conflictos de control de los cursos de agua en condiciones transfronterizas (de países o provincias) pueden exceder las posibilidades de consenso o acuerdo entre las partes cuando existen condiciones previas inaceptables para una o ambas partes. Entre las características que se han mostrado sobre la cuenca del río Nilo se encuentran las incertidumbres asociadas a la etapa del llenado del embalse y su importante dependencia de la variabilidad del clima. Esta característica se complementa con el fenómeno de persistencia de largo plazo en los caudales. Estos resultados muestran algunas de las causas subyacentes en las dificultades de llegar a acuerdos. Además, existe evidencia científica que sustenta la idea de la ocurrencia de nuevos escenarios hidrológicos futuros que serán diferentes a los pasados y con un esquema de control del agua distinto y asimétrico.

Este trabajo intenta mostrar la importancia de las hipótesis subyacentes de los distintos cálculos realizados para los análisis de los efectos de las formas de llenado sobre la economía de Egipto.

El énfasis se ha centrado en describir las particulares propiedades hidrológicas de la cuenca (persistencia y no estacionariedad) y mostrar la relación entre la complejidad del sistema hidrológico y los desafíos a resolver



en la operación de obras hidroeléctricas en escala multianual que afecta seriamente la economía de los países situados aguas abajo de la obra.

El caso analizado no pretende dilucidar la responsabilidad de Egipto, Sudán y Etiopía, sino de marcar la importancia de contar con la información y la tecnología capaz de dotar al litigante de aguas abajo de una propuesta de manejo de caudales en los embalses que pueda minimizar los riesgos de escasez en tiempos dramáticos y considerar la hipótesis de no estacionariedad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abu-Zeid, M. (1993): "Una evaluación de la presa de Asuán", Todos, Cuadernos de Educación Ambiental, UNESCO, N° 4, pág. 6.
- Basheer, M., Nechifor, V., Calzadilla, A. et al. (2023) "Cooperative adaptive management of the Nile River with climate and socio-economic uncertainties". *Nat. Clim. Chang.* 13, 48–57. <https://doi.org/10.1038/s41558-022-01556-6>.
- Beaulieu, C., Chen, J. & J. Sarmiento. (2012): "Change-point analysis as a tool to detect abrupt climate variations". *Phil. Trans. R. Soc. A.* 370, 1228-1249.
- Becker, M, W. L Lovel, A. Cazenave, .A.G. Guntner, J-F.Cretaux. (2010). "Recent hydrological behavior of the East African great lakes region inferred from GRACE, satellite altimetry and rainfall observations". *C. R. Geoscience* 342, 223–233.
- Heggy E, Z. Sharkawy Z and A.Z. Abotalib. (2021): "Egypt's water budget deficit and suggested mitigation policies for the Grand Ethiopian Renaissance Dam filling scenarios" *Environ. Res. Lett.* 16 074022.
- Hurst, H. (1951): "Long term storage capacities of reservoirs". *Trans. Am. Soc. Civil Engrs.*, 116, 776-808.
- Killick, R., & I. A. Eckley. (2014). "Change point: An R Package for change point analysis". *Journal of Statistical Software.* Volume 58, Issue 3.1-19.
- Kite, G. W. (1981). "Recent changes in level of Lake Victoria", *Hydrological Sciences Journal*, 26:3, 233-243, DOI: 10.1080/02626668109490883.
- McMillan, H. (2020). "Linking hydrologic signatures to hydrologic processes: A review". *Hydrol. Process*, 34, 1393–1409.
- McMahon, T.A., G. G.S. Pegram, R. M. Vogel & M. C. Peel. (2007). "Revisiting reservoir storage–yield relationships using a global streamflow database". *Advances in Water Resources* 30 1858–1872.
- Milly, P.C.D., J. Betancourt, M. Falkenmark, R.M. Hirsch, Z.W. Kundzewicz, D.P. Lettenmaier, & R.J. Stouffer. (2008). "Stationarity is dead: Whither water management". *Science* 319. (5863), 573-574.
- Milly, P. C. D., Betancourt, J., Falkenmark, M., Hirsch, R. M., Kundzewicz, Z. W., Lettenmaier, D. P., Stouffer, R. J., Dettinger, M. D. & V. Krysanova, (2015). "On Critiques of Stationarity is Dead: Whither Water Management?" *Water Resour. Res.*, 51, 7785–7789.
- Mulat, K. S. & A. H. Tegegne (2023). "Future hydrology of the Upper Blue Nile River basin and its impact on the Grand Renaissance Dam water resource system: a review", *Hydrological Sciences Journal*, 68:5, 734-744, DOI: 10.1080/02626667.2023.2179878.
- O'Connell, P.E., Koutsoyiannis, D.H., Lins, H.F., Markonis, Y., Montanari, A. & A.T.Cohn, (2016). "The scientific legacy of Harold Edwin Hurst (1880 – 1978)" *Hydrological Sciences Journal*, 61 (9), 1571–1590.
- O'Connell, E., O'Donnell, G., & D.H Koutsoyiannis (2023). "On the spatial scale dependence of long-term persistence in global annual precipitation data and the Hurst phenomenon". *Water Resources Research*, 59, e2022WR033133.
- Reggiani P., A. Talbi y E. Todini (2022). "Towards Informed Water Resources Planning and Management". *Hydrology*, 9(8):136. <https://doi.org/10.3390/hydrology9080136>
- Serageldin, I 2009/2010): "Water Wars? A Talk with Ismail Serageldin", *World Policy Journal*, Duke University Press, Vol. 26, No. 4, 2, pág. 25-31
- Shi, X., C. Beaulieu, R. Killick, y R. Lund.

- (2022). "Change point detection: an analysis of the central England temperature series". *J. Climate*, 35, 6329–6342, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-21-0489.1>.
- Sutcliffe, J. V. and Y. P. Park, (1999). "The Hydrology of the Nile", IAHS Special Publication N° 5, IAHS Press, pp 1-160.
- Sutcliffe, J., S. Hurst, A. G. Awadallah, E. Brown & K. Hamed. (2016). "Harold Edwin Hurst: the Nile and Egypt, past and future". *Hydrological Sciences Journal*, 61:9, 1557-1570, doi: 10.1080/02626667.2015.1019508.
- Todini, E. & O'Connell, P. E.: (1979), "Hydrological simulation of Lake Nasser". Volume I. Analysis and Results, IBM Italia Scientific Centers, Italy and NERC Institute of Hydrology, U.K.
- Turcotte, D.L. (1994). "Fractal theory and the estimation of extreme floods". *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology* 99, 377–389.
- Vogel R.M. & J.R. Stedinger (1987). "Generalized storage-reliability-yield relationships". *J Hydrol.* 89. 303–27.
- Vogel R.M., M. Lane, R.S. Ravindiran & P. Kirshen (1999). "Storage reservoir behavior in the United States". *J Water Resour Planning Manage.* 125(5):245–54.
- Vogel, R. M., Lall, U., Cai, X., Rajagopalan, B., Weiskel, P. K., Hooper, R. P., & N. C. Matalas (2015). "Hydrology: the interdisciplinary science of water". *Water Resour. Res.* 51, 4409-4430, doi:10.1002/2015WR017049.
- Wallis, J. R., & N. C. Matalas (1972). "Sensitivity of reservoir design to the generating mechanism of inflows", *Water Resources Research.*, 8(3), 634–641, doi:10.1029/WR008i003p00634.
- Wheeler K. G., Basheer M., Mekonnen Z. T., Eltoum S. O., Mersha A., Abdo G. M., Zagona E. A., Hall J. W. & Dadson S. J. (2016). "Cooperative filling approaches for the Grand Ethiopian Renaissance dam" *Water Int.* 41 611–34.
- Wheeler KG, Jeuland M, Hall JW, Zagona E. & Whittington D. (2020) "Understanding and managing new risks on the Nile with the Grand Ethiopian Renaissance Dam". *Nat Commun.* Oct. 16;11(1):5222. doi: 10.1038/s41467-020-19089-x. PMID: 33067462; PMCID: PMC7567800.
- Wheeler, K.G., M. Jeuland, K. Strzepek, J. Hall, E., Zagona, G. Aamal Abdo, T. Basson, D. Blackmore, P. Block & D. Whittington (2022). "Comment on 'Egypt's water budget deficit and suggested mitigation policies for the Grand Ethiopian Renaissance Dam filling scenarios'"
- Zaroug, M. A. H., Giorgi, F., Coppale, E & E.A.B. Eltahir (2014). "Simulating the connections of ENSO and the hydrology of the Blue Nile using a climate model of the tropics", *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 11, 2233–2262.

#### NOTA DE LOS AUTORES:

*Muchos podrán preguntarse acerca del motivo por el que, habiendo tantos temas importantes vinculados con el agua de interés local en la Argentina, en particular en la provincia de Buenos Aires, dos ingenieros locales hayan dedicado su tiempo en analizar un lejano y aún no desatado conflicto armado entre países del noreste africano. Es de destacar que esos autores llegaron a coincidir en este artículo como consecuencia de enfoques diferentes entre sí e incluso tampoco coincidentes en el tiempo. En efecto, uno de ellos estudiando los fenómenos hidrológicos de persistencia de largo plazo en el análisis de crecidas del río Paraná, donde la longitud temporal de sus datos podría limitar sus conclusiones (y justamente el río Nilo ofrece un más que interesante caso de estudio sobre el particular) y el otro debatiendo la importancia de la generación hidroeléctrica y la necesidad de contar en el país con embalses para un futuro poco alentador debido al cambio climático, mencionando los éxitos y problemas de la presa del Nilo en Asuán (una coincidencia geográfica indudable con el objetivo del primer autor). La realidad del actual conflicto entre Egipto y Etiopía pone en evidencia los claros y oscuros de las alabanzas y críticas, que hacen recordar que ambos autores también participaron en los tiempos de debates transfronterizos sobre Corpus-Itaipú y los Hielos Continentales.*

## CARRERAS PRESENCIALES

### DOCTORADO

DOCTORADO EN CIENCIAS INFORMÁTICAS

### MAESTRÍAS

- INGENIERÍA DE SOFTWARE
- REDES DE DATOS
- TECNOLOGÍA INFORMÁTICA APLICADA EN EDUCACIÓN
- CÓMPUTO DE ALTAS PRESTACIONES
- INTELIGENCIA DE DATOS ORIENTADA A BIG DATA

### ESPECIALIZACIONES

- TECNOLOGÍA INFORMÁTICA APLICADA EN EDUCACIÓN
- REDES Y SEGURIDAD
- CÓMPUTO DE ALTAS PRESTACIONES Y TECNOLOGÍA GRID
- INGENIERÍA DE SOFTWARE
- COMPUTACIÓN GRÁFICA, IMÁGENES Y VISIÓN POR COMPUTADORA
- INTELIGENCIA DE DATOS ORIENTADA A BIG DATA
- TECNOLOGÍA, DISEÑO Y EVALUACIÓN DE INTERACCIONES HUMANO-COMPUTADORA
- BIOINFORMÁTICA

## CARRERAS A DISTANCIA

### MAESTRÍAS

- INGENIERÍA DE SOFTWARE
- TECNOLOGÍA INFORMÁTICA APLICADA EN EDUCACIÓN
- GESTIÓN Y TECNOLOGÍA DE CIUDADES INTELIGENTES

### ESPECIALIZACIONES

- TECNOLOGÍA INFORMÁTICA APLICADA EN EDUCACIÓN
- CÓMPUTO DE ALTAS PRESTACIONES
- INGENIERÍA DE SOFTWARE
- COMPUTACIÓN GRÁFICA, IMÁGENES Y VISIÓN POR COMPUTADORA

+ info

[www.postgrado.info.unlp.edu.ar](http://www.postgrado.info.unlp.edu.ar)



**POSTGRADO**

FACULTAD DE INFORMÁTICA

 [postinfoUNLP](#)

 [postinfoUNLP](#)

 [Postgrado Informática UNLP](#)

 [postgradoinformaticaUNLP](#)





# RELACIONES INSTITUCIONALES DE LA ACADEMIA



# CONVENIO ANI-ACAINGPBA

El lunes 8 de mayo de 2023, en las oficinas de la Academia Nacional de Ingeniería (ANI), en la ciudad Autónoma de Buenos Aires, se firmó el convenio de colaboración mutua entre dicha institución y la Academia de la Ingeniería de la Provincia de Buenos Aires (AcaIngPBA). Este convenio formaliza ya la estrecha relación que existe entre ambas Academias. El convenio fue firmado por el Ing. Manuel Solanet, Académico Presidente de la ANI y la Ing. Patricia Arnera, Académica Presidente de la AcaIngPBA. Ambas instituciones comparten similares objetivos entre ellos difundir la investigación técnica y científica en relación con la ingeniería, con el propósito de promover el desarrollo y progreso del país. El Sr. Presidente de la ANI, Ing. Manuel Solanet, manifestó que este convenio convalida formalmente y le dará impulso a una relación que ya se producía en la realidad. Varios académicos ocupan sus sitios en ambas lo que ya significaba en los hechos una relación fácil, amigable y fructífera.

El Convenio establece dos campos de interacción: a) el intercambio de información; y b) los trabajos conjuntos. En el primer campo solo se requerirá solicitar la información por parte de cualquiera de las academias y la otra se compromete a entregarla, salvo que sea confidencial por acuerdo con un tercero. Así hemos puesto sobre el papel un compromiso mutuo que refleja confianza, desechando actitudes egoístas o competitivas.

El objetivo de los trabajos conjuntos es el de mayor interés. Hay áreas de complementación dentro de las múltiples especialidades de la Ingeniería. El limitado número de asientos de nuestras dos academias dificulta cubrir en cada una de ellas todas las áreas de nuestra profesión. Nuestros estatutos fijan un máximo de 40 académicos titulares. En el caso de la ANI pusimos en marcha la creación de cinco institutos integrados por profesionales prestigiosos en las especialidades de Energía, Transporte, Construcciones y Es-

tructuras, Ambiente y Educación. Pudimos así contar con el aporte de más de 150 profesionales que nos permitieron aumentar notablemente la producción de investigaciones y documentos. Estas capacidades están a disposición del convenio entre la ANI y la AcaIngPBA. También ponemos a disposición de este Convenio la muy rica producción de los grupos de trabajo del Council of Academies of Engineering and Technological Sciences (CAETS), entidad internacional que agrupa las academias nacionales de ingeniería de 33 países de los cinco continentes.

Con la Ingeniera Patricia Arnera nos proponemos hacer crecer la semilla que este Convenio ha sembrado.

# CONVENIO UTN-FRA-ACAINGPBA

El día 28 de septiembre de 2023, en la Facultad Regional Avellaneda de la Universidad Tecnológica Nacional, se firmó el convenio de colaboración mutua entre dicha institución y la Academia de la Ingeniería de la Provincia de Buenos Aires. Rubricaron el documento el Sr. Decano Lic. Luis Alberto Garaventa y la Académica Presidente Ing. Patricia Arnera, también participó de este evento el Ing. Víctor Luis Barbuto, vicedecano de la institución.

Los representantes de ambas instituciones conversaron sobre posibles líneas de acción referidas a actividades de común interés como así también la difusión de las carreras de ingeniería con el objetivo de atraer a mayor cantidad de jóvenes a que opten por esta profesión en las diversas ramas que posee. El Sr. Decano, Lic. Luis Garaventa ha manifestado: "La UTN Avellaneda tiene como una

de sus misiones primordiales la formación y graduación de ingenieros que aportan sustancialmente al crecimiento y desarrollo regional y nacional. Esta misión implica necesariamente la vinculación con industrias, organismos del Estado, colegios y demás instituciones en pos de la comprensión del medio, del conocimiento nuevo y de las competencias necesarias para el ejercicio profesional en nuestros días.

El convenio firmado con la Academia de Ingeniería de la Provincia de Buenos Aires, nos permite potenciar nuestras vinculaciones, acceder al conocimiento avanzado de las disciplinas, integrar espacios que permiten el crecimiento intelectual de nuestros estudiantes, docentes y graduados, integrarnos más profundamente en colectivo de profesionales de la Ingeniería."



*Lic. Luis Garaventa e Ing. Patricia Arnera firmando el convenio*

# INVISOS

El día 3 de octubre de 2023, la Ing. Patricia Arnera, en representación de la Academia de la Ingeniería de la Provincia de Buenos Aires asistió a las 1ª JORNADAS DE INFRAESTRUCTURA VIAL SOSTENIBLE PARA EL DESARROLLO: INVISOS, que se desarrollaron en el Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica (LEMIT).

En el acto inaugural estuvieron presentes diversas autoridades, el Dr. Alejandro Villar, Presidente de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires; el Ing. Luis Ricci, Decano de la Facultad Regional La Plata de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN-FRLP), el Dr. Julián Rivera, Director del LEMAC-Centro de Investigaciones Viales de UTN-FRLP y el Dr. Fabián Iloro Director del LEMIT.

Cabe destacar que la fecha del evento fue elegida oportunamente por celebrarse el "Día del Camino y la Seguridad Vial", que se celebra el 5 de octubre.

El objetivo de las jornadas fue abordar "la sostenibilidad de la infraestructura vial de la provincia de Buenos Aires, buscando acercar miradas y posiciones en cuanto a políticas públicas, desarrollos tecnológicos propiciados desde los centros de investigación, el sector de la construcción y los proveedores de materia prima, así como también observando la mirada que existe en cuanto sostenibilidad de la infraestructura en otras regiones del mundo".

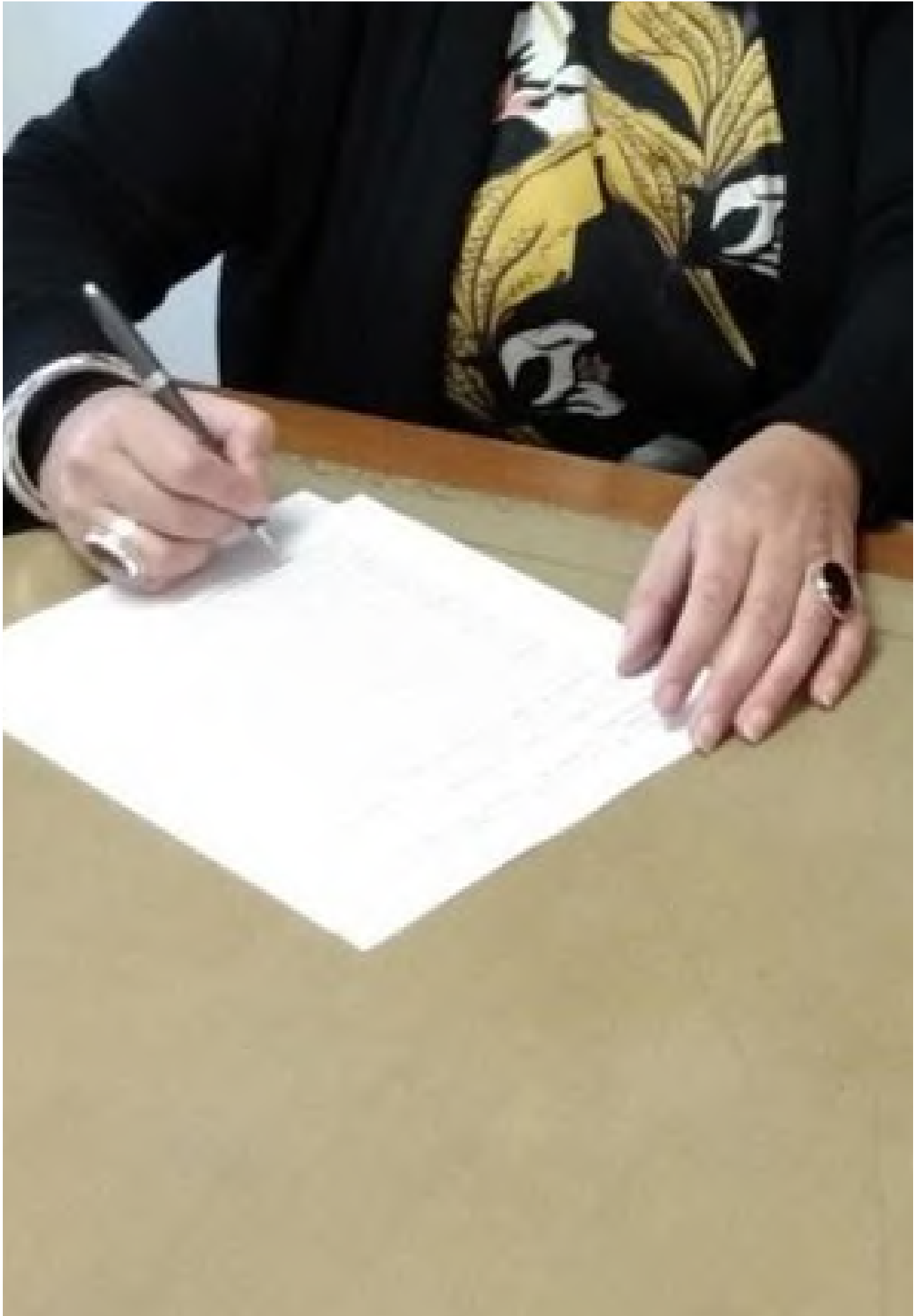


*De derecha a izquierda, Dr. Alejandro Villar (Presidente CIC-PBA), Dr. Fabián Iloro (Director LEMIT), Mag. Ing. Luis Ricci (Decano UTN-FRLP) y Dr. Ing. Julián Rivera (Director LEMAC)*

# INSTITUCIONES CON LAS CUALES SE HAN FIRMADO CONVENIOS

- **Universidad Tecnológica Nacional**  
Regional Avellaneda  
UTN-FRA  
28.09.2023. <https://fra.utn.edu.ar/>
- **Academia Nacional de Ingeniería**  
ANI  
08.05.2023. <https://acading.org.ar/>
- **Universidad Nacional de San Antonio de Areco**  
UNSAaA  
15.03.2023. <https://www.unsada.edu.ar/>
- **Laboratorio de Entrenamiento**  
**Multidisciplinario para la**  
**Investigación Tecnológica**  
LEMIT-CIC  
15.02.2023. <https://www.lemit.gov.ar/>
- **Universidad Nacional de Mar del Plata**  
UNMdP  
09.09.2022. <https://www.mdp.edu.ar/>
- **Facultad de Ingeniería de la Universidad**  
**Nacional de Mar del Plata**  
FI-UNMdP  
03.05.2022. <http://www.fi.mdp.edu.ar/>
- **Universidad Tecnológica Nacional**  
Regional La Plata  
UTN-FRLP  
26.09.2022. <https://www.frlp.utn.edu.ar/>
- **Universidad Tecnológica Nacional**  
Regional Delta  
UTN-FRD  
08.07.2022. <https://www.frd.utn.edu.ar/>
- **Universidad Tecnológica Nacional**  
Regional Buenos Aires  
UTN-FRBA  
17.03.2022. <https://www.frba.utn.edu.ar/>
- **Universidad Nacional del Centro**  
UNICEN  
01.02.2022. <https://www.unicen.edu.ar/>
- **Universidad Nacional de Lomas de Zamora**  
UNLZ  
29.09.2021. <https://www.unlz.edu.ar/>
- **Universidad Nacional de La Matanza**  
UNLAM  
16.09.2021. <https://www.unlam.edu.ar/>
- **Universidad Nacional del Sur**  
UNS  
29.12.2020. <https://www.uns.edu.ar/>
- **Universidad Nacional del Noroeste de la**  
**Provincia de Buenos Aires**  
UNNOBA  
03.12.2020. <https://sitio.unnoba.edu.ar/>
- **Universidad Nacional de La Plata**  
UNLP  
23.10.2020. <https://unlp.edu.ar/>
- **Comisión de Investigaciones Científicas**  
**de la Provincia de Buenos Aires**  
CIC  
28.06.2016. <https://www.cic.gba.gob.ar/>





# EL AGUA EN UN SITIO DEL PATRIMONIO NATURAL MUNDIAL: EL RECURSO, LOS RIESGOS Y LAS SOLUCIONES DESDE LA INGENIERIA



**ING. JAVIER FAZIO**

**MIEMBRO TITULAR, ACADEMIA NACIONAL DE INGENIERÍA  
PROFESOR TITULAR UBA, UCA Y UTN**



*Se describe un proyecto de intervención de características particulares, en el que el agua es al mismo tiempo un recurso patrimonial a preservar y el generador de riesgos que puede impedir el goce de ese recurso por parte del hombre. Se presentan las soluciones creativas y novedosas aportadas desde la ingeniería frente a los desafíos especiales que se presentaban en el momento del proyecto, y se analiza la eficiencia del comportamiento de lo construido frente a eventos extremos acaecidos desde la puesta en servicio de las obras. El autor fue el responsable por parte de la Administración de Parques Nacionales del proyecto estructural de la intervención.*

## **INGENIERÍA Y PATRIMONIO**

Patrimonio común natural o cultural, es el conjunto de los bienes que hemos recibido como herencia del pasado, con los que convivimos en el presente y que debemos legar a las generaciones futuras. A su vez, el patrimonio mundial es el conjunto de bienes de valor universal excepcional desde el punto de vista histórico, artístico, científico, estético, etnológico, antropológico, de la conservación de las especies, o de la belleza natural, y que por ello merecen la tutela internacional. La intervención sobre un sitio del patrimonio es una compleja serie de acciones decididas en forma multidisciplinaria, con el fin de lograr simultáneamente la preservación y el “uso” de los valores naturales o culturales que le son propios. La licitud de dichas intervenciones se justifica a partir de la responsabilidad generacional respecto del cuidado que merece lo heredado, en la medida que las acciones contribuyan adecuadamente a la calidad del legado a nuestros sucesores. Las características particularísimas de los bienes protegidos presentan una serie de desafíos únicos a las distintas ramas de la ingeniería cuando esta es convocada para aportar sus conocimientos a la evaluación y la puesta en valor del patrimonio natural o cultural. Una respuesta adecuada frente a esos requerimientos debe enmarcarse en la adopción de criterios de intervención relati-

vamente apartados de los que habitualmente aplicamos los ingenieros en las obras en general. A partir de esas pautas, debe arribarse a soluciones optimizadas desde una perspectiva multidisciplinaria, con preponderancia relativa de los valores relacionados con la preservación.

En las actuaciones sobre distintos tipos de bienes del patrimonio, el ingeniero de cualquier especialidad deberá ajustar su perspectiva habitual a la filosofía única que seguramente guiará la actuación del equipo que deberá integrar junto con arquitectos, ambientalistas, restauradores, historiadores, arqueólogos, geógrafos, antropólogos y urbanistas.

El objetivo básico del aporte de la ingeniería en las intervenciones sobre el patrimonio será el de “ofrecer seguridad a la posteridad”. Lo antedicho se expresa en un sentido amplio, pretendiendo transmitir que los ingenieros intentarán asegurar el uso público del bien en los máximos niveles de seguridad y eficiencia que resulten compatibles con la mínima pérdida de valores patrimoniales tangibles e intangibles.

Este artículo trata sobre proyectos y obras de intervención realizadas hace 2 décadas en un sitio considerado por la UNESCO Patrimonio de la Humanidad (1984) y Valor Universal Excepcional (2013). El proyecto y su materialización fueron encarados de manera multidisciplinaria y con extrema atención a los valores de protección ambiental, accesibilidad máxima y sostenibilidad social, en niveles de avanzada para nuestro medio por aquellos años, y en cumplimiento de los requerimientos de las instituciones internacionales que tutelan el patrimonio natural común.

## **EL PARQUE NACIONAL IGUAZÚ**

El Parque Nacional Iguazú, contiene un recurso natural excepcional, las cataratas que aparecen en el derrotero de las aguas del Río Iguazú hacia el río Paraná. Los saltos se formaron a lo largo de millones de años debido a procesos geológicos y fluviales, prin-



principalmente la erosión y la acción del agua sobre las capas de roca sedimentaria.

Antes de la llegada de los colonizadores europeos, la región de las Cataratas del Iguazú estaba habitada por varias comunidades indígenas. Los guaraníes eran habitantes originales de la zona y llamaron a las cataratas "Yguazú," que significa "agua grande" en su idioma. La aparición de los europeos en esta región data del año 1542, cuando Alvar Núñez Cabeza de Vaca, en ruta hacia Asunción desde el Atlántico siguiendo el Paraná, se encontró con los saltos.

Durante la época de la colonización europea, la región fue objeto de disputas territoriales entre España y Portugal. Fue en 1828 que se estableció la frontera entre Argentina y Brasil, dividiendo las Cataratas del Iguazú entre ambos países.

En 1934 el gobierno argentino creó el Parque Nacional Iguazú para proteger la flora y fauna de la región, así como las espectaculares cataratas. A lo largo de los años, en el Parque Nacional se ha trabajado en la conservación de su biodiversidad, en la preservación del entorno natural y en la protección de especies en peligro de extinción. Argentina y Brasil han trabajado en conjunto para preservar la región de las cataratas y han establecido acuerdos de conservación transfronteriza para proteger el ecosistema compartido.

En 1984, las Cataratas del Iguazú y el Parque Nacional Iguazú fueron declarados Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO debido a su belleza natural y su importancia ecológica.

A medida que las Cataratas del Iguazú se hi-



*Fotografía histórica tomada en los primeros años del Parque Nacional Iguazú*



cieron famosas mundialmente, el turismo en la región creció significativamente. A principios de este siglo se desarrolló una importante intervención que brindó al Parque la infraestructura necesaria para permitir una óptima apreciación del recurso natural por parte de los visitantes. El proyecto incluía senderos, pasarelas, miradores y un traslado interno a la zona de Garganta del Diablo mediante un tren a gas; las obras, de difícil ejecución, se materializaron sin contratiempos y se habilitaron en forma completa en el año 2003.

En 2011 las Cataratas del Iguazú fueron seleccionadas como una Nueva Maravilla Natural del Mundo, en una votación internacional vía Internet organizada por la Fundación suiza New Seven Wonders, calificación que comparte con otros seis destinos en el mundo: el Amazonas, la Bahía de Ha Long, la Isla de Jeju, el Río Subterráneo de Puerto Princesa, el Parque Nacional de Komodo y la Montaña de la Mesa.

En 2013, nuevamente la UNESCO galardonó al Parque Nacional Iguazú como Valor Universal Excepcional, "al tratarse de un territorio de importancia cultural y natural tan extraordinaria que trasciende las fronteras nacionales y cobra importancia para las generaciones presentes y venideras de toda la humanidad"

## **EL PROYECTO DE NUEVA INFRAESTRUCTURA PARA VISITANTES DE LOS AÑOS 90**

El principal objetivo del partido elegido fue el de concentrar en un área ya degradada la mayor parte de la infraestructura necesaria. El proyecto se puede sintetizar como un sector de recepción (Centro de Visitantes) y tres circuitos (Circuito Superior, Circuito Inferior y Garganta del Diablo), unidos entre sí por el recorrido de un sistema ferroviario de transferencia complementado por senderos peatonales.

El sitio elegido para la construcción de los edificios del sector de recepción fue el sector de la pista del viejo aeropuerto, que constituía la alternativa de menor costo ambien-

tal. por tratarse una zona irreversiblemente degradada y que tenía además la superficie necesaria para poder construir el Centro de Visitantes sin necesidad de invadir sectores de la selva.

Las pasarelas y senderos cumplen con la doble función de conducir a los visitantes a los lugares claves y al mismo tiempo impedir que se desborden, degradando de esa manera el ambiente. Su adaptación al terreno, al paisaje y a los contenidos del programa para la interpretación de la naturaleza determinó situaciones diferentes que requirieron soluciones diversas.

En el caso de los senderos y pasarelas en tierra, fueron elevadas como mínimo 50 cm del terreno natural para evitar la erosión y demás impactos provocados por el tránsito. Se construyeron en acero, con pasamanos de madera, y piso metálico "transparente" (grating). Los tableros se apoyan cada 5 m en pilares de mampostería de piedra o de hormigón débilmente armado. Estos pilares logran la sobreelevación sobre el terreno natural, que permite el libre tránsito de especies animales, el paso de la luz solar y del agua de lluvia.

Todas las pasarelas y senderos cuentan en todo su recorrido con un diseño de cierre lateral que impide la dispersión de los visitantes. Existen tres circuitos o paseos que constituyen el núcleo de la visita: el Circuito Inferior, el Circuito Superior, y el Circuito a Garganta del Diablo. Desde el Centro de Visitantes hasta los circuitos se puede llegar caminando por senderos o utilizar el medio de transporte (tren a gas) hasta las estaciones: "Circuitos" y "Garganta". Cada una de esas estaciones es un pequeño conjunto que nuclea andén, sanitarios y locales de venta de bebidas junto a una plazoleta de acceso hacia los recorridos de los circuitos, contando con sectores equipados como zonas de descanso.

### *PASARELAS Y SENDEROS CIRCUITO INFERIOR:*

El circuito Inferior comienza y termina en la plazoleta "Paseo Inferior". Se respetó el recorrido del circuito pre-existente, agregando

algunos metros de trayecto. Fue reacondicionado en su totalidad, varios sectores en su recorrido se equiparon adecuadamente como áreas de descanso y paradas interpretativas, y se ampliaron los miradores.

En las pasarelas se mantuvo el ancho de 120 cm de los senderos, se colocaron barandas en todo el trayecto, y se diseñó un circuito cerrado, de una sola dirección, que brinda fluidez al recorrido.

**PASARELAS Y SENDEROS CIRCUITO SUPERIOR:**

Este circuito comienza en la plazoleta "Paseo Superior". Se amplió el recorrido previo llegando hasta el Balcón del Salto San Martín y retornando por una nueva pasarela, convirtiendo al circuito en "circular" (evitando el ida y vuelta), y planteando al visitante otras variantes del paisaje. Se mantuvo el ancho de 120 cm que tenían los senderos y pasarelas pre-existentes

Se incluyeron sectores dedicados al descanso y un trazado especial para visitantes con movilidad reducida, que les permite alcanzar la mayoría de los puntos con mejores visuales.

**PASARELA GARGANTA DEL DIABLO:**

Se construyó una pasarela para acceder a las cercanías del borde superior de los saltos Garganta del Diablo, con una trayectoria diferente a las pre-existentes, sacadas de servicio por las crecidas de 1983 y 1992. La nueva pasarela tiene una cota de rasante de 182 metros sobre el cero IGM.

Se trata de una sola estructura de ida y vuelta con un ancho de 180 cm. Solamente en los primeros cincuenta metros la pasarela se bifurca en dos ramas de 120 cm de ancho para facilitar el ingreso y el egreso de visitantes. Para interrumpir la rectitud de las pasarelas se previeron quiebres con ensanches donde los visitantes puedan descansar y obtener diferentes visuales del entorno.

Se construyó sobre el borde del salto un nuevo balcón mirador con dimensiones que garantizan una capacidad compatible con el mecanismo de regulación de flujo de visitantes implementado en el área.



*Disposición esquemática de los circuitos de visita*



*Fotografía "360 grados" del balcón mirador en Garganta del Diablo*

### **SITUACIÓN HIDROLÓGICA EN EL ÁREA CATARATAS EN LAS ÚLTIMAS DÉCADAS.**

La situación hidrológica en el sector norte de la Mesopotamia en general y en el Río Iguazú en particular, ha sufrido cambios significativos que se originan en tres causas principales:

- 1) El Niño, un fenómeno climático relacionado con el calentamiento del Pacífico oriental ecuatorial, el cual se manifiesta erráticamente. Este fenómeno, en sus manifestaciones más intensas, provoca estragos en la zona intertropical y ecuatorial debido a las intensas lluvias
- 2) A partir de 1975, se construyeron 6 grandes represas hidroeléctricas. La totalidad de las represas están encadenadas, donde se localiza una presa está la cota máxima del embalse de la siguiente y así sucesivamente. De esta manera, el Río Iguazú ha desa-

parecido como tal en más de la mitad de su recorrido (casi todo su curso medio), convirtiéndose en una sucesión de lagos encadenados de aproximadamente 600 kilómetros de largo. Actualmente el régimen del río (y, por ende, el caudal de las Cataratas) depende de la apertura o cierre de las represas, más que de los factores naturales.

- 3) La eliminación casi completa de la selva paranaense. En un siglo, prácticamente toda la cobertura vegetal de esta ecorregión ha sido eliminada, quedando únicamente remanentes en áreas naturales protegidas (el sector más grande del territorio de la selva paranaense corresponde a Brasil)  
La eliminación lisa y llana de esta abundante cobertura no es inocua: la foresta antiguamente retenía las abundantes precipitaciones que normalmente se registran en la zona (entre 2.000 y 3.000 milímetros anuales), haciendo las veces de esponja que retenía y dosificaba el escurrimiento del agua.



En las décadas previas al proyecto de intervención para brindar infraestructura de visita moderna y acorde al valor del recurso patrimonial natural al Parque Nacional Iguazú, esta situación produjo dos crecidas extraordinarias con consecuencias nefastas para la ya defectuosa infraestructura existente:

- En 1983, el caudal de agua motivó la destrucción parcial de las antiguas pasarelas, en especial en la zona de la Garganta del Diablo.

- En 1992 se alcanzó un caudal de 36.000 m<sup>3</sup>/seg, récord hasta esa fecha para el río Iguazú, que produjo cuantiosos daños adicionales a la infraestructura remanente.

Las pasarelas pre-existentes se habían resuelto como un sistema monolítico de tableros mixtos de acero y hormigón, apoyados

en pilas de hormigón fundadas en el basalto del lecho. Ante las crecidas extraordinarias, la presión del agua sobre los laterales de la pasarela, con sus espacios huecos taponados por la retención de material flotante, se trasladó a las pilas de hormigón provocando su colapso.

La dificultad de demolición de los elementos remanentes, la falta de decisión política para definir un nuevo proyecto, la no disponibilidad de los recursos necesarios en los presupuestos oficiales y las demoras burocráticas para lanzar un proceso de licitación pública para las obras, demoraban sine die la rehabilitación de la visita al recurso natural monumental.



*Tramo de acceso a pasarela histórica en Garganta del Diablo*



## EL DESAFÍO PARA LA INGENIERÍA EN EL PROYECTO DE INTERVENCIÓN

Las particularidades del emprendimiento y los resultados obtenidos históricamente presentaban una serie de desafíos al nuevo proyecto:

- La ejecución de pilas y sus fundaciones en la roca diaclasada y bajo la acción de las corrientes era la tarea de mayor dificultad.
- La gran variabilidad de caudales del Río Iguazú en las últimas décadas auguraba la repetición de situaciones extremas con cierta frecuencia.
- El cierre de circuitos a los visitantes ante eventos hidrológicos extremos era una posibilidad admitida, en la medida que la reapertura sucediera en el menor tiempo posible.

- Los requerimientos de seguridad y accesibilidad implicaban un diseño de las barandas poco transparente, muy proclive a retener material arrastrado, e incrementando la probabilidad de colapso de las pilas frente a una situación de endicamiento.
- La demolición de elementos de hormigón armado y la ejecución de nuevas fundaciones y pilas se consideran tareas de gran impacto ambiental, además de implicar tiempos de rehabilitación de circuitos inadmisibles, por lo que la probabilidad de colapso de las mismas debía minimizarse.



*Tramos laterales con pasamanos a altura standard, para niños, y para sillas de ruedas, más guarda-pie y malla artística de protección*

## SOLUCIONES CREATIVAS Y DETALLES DE DISEÑO QUE HICIERON LA DIFERENCIA

Desde el proyecto estructural y el diseño de la gestión del Parque a concesionar se aportaron una serie de soluciones para los desafíos detallados en lo anterior:

- Estandarización de los cientos de tramos de pasarelas para los tres circuitos y mantenimiento por parte del concesionario de un stock de tramos tipo de reemplazo.
- Sistema de alerta temprana de crecidas.
- Barandas rebatibles con un sistema de accionamiento simple y de bajo mantenimiento que permitiese reducir la superficie expuesta al flujo de agua y la retención de troncos y otros elementos arrastrados por la corriente.

- Vinculación fusible entre tramos de pasarela y pilas que permitiese la caída de los tramos de tableros para una velocidad del agua predeterminada (se adoptó un valor de 4 m/seg), liberando a las pilas y fundaciones de las fuerzas horizontales de empuje transmitidas por los tableros.



*Operación de rebatimiento de barandas ante alerta de crecida, se requiere solamente quitar un bulón en cada extremo del tramo.*





*Tramos con barandas completamente rebatidas*



*Tramos de pasarela caídos junto a su posición original y pila de apoyo sin daños*

## **EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE LOS TABLEROS DE LAS PASARELAS SOBRE AGUA**

Se optó por una solución de vigas de alma llena simplemente apoyadas, materializadas por perfiles IPN laminados, apoyadas sobre pilas de hormigón armado.

En cumplimiento de las pautas de diseño, las pasarelas recorren el terreno natural sin modificarlo, por lo que las luces a cubrir entre pilas de apoyo son variables. Dejando de lado casos atípicos especiales, se definieron tres casos luces de pasarelas de 6.00, 9.00 y 12.00 metros de luz, y dos anchos de pasarela básicos: 1.20 y 1.80 metros.

La estructura de rigidez horizontal de las pasarelas está formada por un reticulado de diagonales traccionadas, montantes comprimidos y cordones constituidos por los mismos perfiles laterales de piso.

Las cargas gravitatorias actuantes sobre las pasarelas son tomadas en primer lugar con un piso estructural de acero tipo grating que apoya en los perfiles laterales longitudinales, los que a su vez descargan en las pilas de hormigón armado. En el diseño original se han considerado las cargas verticales permanentes producidas por el peso propio de las estructuras y las terminaciones, más una carga variable (sobrecarga de uso en servicio) de 400 kilogramos por metro cuadrado.

Las cargas horizontales actuantes provienen de dos acciones ambientales. Por un lado, se tiene la carga de viento que fue evaluada según las prescripciones del reglamento de la Dirección Nacional de Vialidad para el diseño de puentes y pasarelas. Por otro lado, se tiene el empuje ejercido por el agua, se consideró una velocidad máxima del agua de 4.00 metros por segundo, producido por una crecida extraordinaria actuando sobre las pasarelas con sus barandas rebatidas.

La verificación de tensiones y deformaciones se efectuó combinando por un lado las cargas verticales máximas con las cargas de viento, y por otro las cargas verticales mínimas o permanentes con las del empuje de agua.

Las cargas horizontales se transmiten a las

pilas mediante pernos de anclaje, los que fueron dimensionados sin margen de seguridad, de manera tal que se corten ante empujes de agua correspondientes a aquella velocidad máxima de diseño de 4 m/seg. De esta forma, estos elementos trabajan como fusibles del sistema, permitiendo salvar la integridad de las pilas de hormigón armado y sus fundaciones en casos de crecidas extraordinarias.

En lo que respecta a las barandas laterales, se trata de una estructura de tubos estructurales de acero con pasamanos de madera dura y cerramiento de alambre artístico. Las barandas colocadas en los sectores del paseo sobre agua o donde se contaba con registros históricos de crecidas e inundaciones son rebatibles para que las pasarelas ofrezcan una mínima resistencia al paso del torrente de agua, y se reduzca el efecto de endicamiento.

Todas las estructuras de acero han sido galvanizadas para protegerlas de la corrosión por ataque del medio ambiente. Las uniones fueron proyectadas como soldadas y otras abulonadas. Todas las soldaduras se ejecutaron en taller, en forma previa al galvanizado. Luego se realizaron en obra las uniones abulonadas. Los bulones, sus tuercas y arandelas fueron también protegidos mediante galvanizado.

## **EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE LAS PILAS Y SUS FUNDACIONES EN ROCA**

Las pilas sobre agua se resolvieron con columnas de sección circular cuyo diámetro varía en función de la altura total de la pila. La pila remata superiormente en una viga dintel para el apoyo de los tableros de las pasarelas; sobre los dinteles se tienen dados de apoyo superiores hormigonados en segunda etapa y pernos de anclaje colocados en hoyos de primera etapa del lado de aguas arriba de la pila. Estos pernos funcionan como el fusible estructural que permite que el agua se lleve los tableros metálicos en los casos de crecidas extraordinarias,





*Vista lateral de tableros y una pila con su viga dintel y su cabezal de pilotes*

con lo que instantáneamente se descargan las pilas de hormigón armado, de la presión de agua sobre los tramos.

Las pilas sobre agua se fundaron por medio de micropilotes inyectados de mortero cementíceo con camisa perdida, un tubo de acero sin costura de 5 pulgadas de diámetro exterior y 7 milímetros de espesor.

El diámetro adoptado para la excavación fue de 0.15 metros aproximadamente (6") y su profundidad se determinó en cada caso según las características de la roca del lugar de emplazamiento de la pila y la magnitud de las cargas a fundar.

La cantidad de pilotes por pila de las sollicitaciones que llegan al empotramiento de la misma, que dependen en gran medida de su

altura. Se tipificaron tres tipos de pilas: de hasta 2.00 metros de altura de columna, de 2.00 a 2.50 metros de altura y de 2.50 hasta 4.00 metros de altura. (En emplazamientos con alturas mayores o situaciones particulares se construyeron estructuras especiales). Luego de la perforación de la roca se inyectó una lechada cementícea a presión, cuyas características técnicas y forma de ejecución se determinaron por medio de ensayos de Lugeon para estimar la permeabilidad del suelo, realizados a lo largo de la traza de los circuitos.

Los esfuerzos axiales son tomados en los pilotes con el hormigón armado y transferidos a la roca por fricción lateral. Los esfuerzos horizontales transversales a los pilotes se

transmiten a la roca de fundación por presión del tubo de acero de sección circular.

La carga admisible al arrancamiento de los pilotes fue establecida en 25 toneladas, y fue verificada a lo largo de la traza mediante ensayos.

El diseño los de pilotes supuso que no existía peligro de socavación del manto superior de roca. En la obra se controló la existencia de zonas de socavación eventual, y en esos casos se adoptaron soluciones ad-hoc, capaces de tomar flexión.

### **LA PERFORMANCE DE LO DISEÑADO FRENTE A EVENTOS EXTREMOS ACECIDOS EN IGUAZÚ**

Transcurrido un tiempo suficiente desde la puesta en servicio de las obras, período en el que se produjeron algunos eventos extremos en cuanto al caudal del río Iguazú, cabe preguntarse por los resultados concretos obtenidos, en términos de respuesta de las estructuras proyectadas y del cumplimiento de objetivos en cuanto a los tiempos nece-

sarios para la reapertura de los circuitos a los visitantes del Parque.

Tanto la Administración de Parques Nacionales como el concesionario del Parque, Iguazú Argentina S.A. llevan registros de las crecientes relevantes producidas desde la inauguración de las primeras obras en 2001. Para cada uno de esos eventos se tienen datos de los caudales alcanzados en el río Iguazú, la afectación de las pasarelas en términos de tramos volcados, y los tiempos transcurridos entre el cierre preventivo de los circuitos y la rehabilitación de la visita luego del montaje de los tramos faltantes.

Pocos años después de la culminación de todas las obras de nueva infraestructura para los visitantes se produjo la primera creciente importante en octubre de 2005, con un caudal de 19.000 m<sup>3</sup>/seg, unas 13 veces mayor a los valores más habituales (1000 a 2000 m<sup>3</sup>/seg)

Por primera vez se puso a prueba el sistema de pasarelas con barandas rebatibles y conexiones fusibles a las pilas, demostrando su eficacia. El empuje de la corriente derribó



*Comparación visual del Area Cataratas con los caudales habituales y con el caudal récord de junio 2014*



33 tramos de pasarelas y el paseo se reabrió en 45 días, luego de las obras de recolocación de los tramos caídos.

En 2007, 2009, 2010, 2011 y 2013 ocurrieron crecientes con caudales entre 11.700 y 17.600 m<sup>3</sup>/seg, que en cada caso derribaron unos pocos tramos de pasarela que fueron reubicados rápidamente.

La creciente récord en términos de caudales fue la registrada en junio de 2014, el Río Iguazú alcanzó los 46.700 m<sup>3</sup>/seg, más de 30 veces el valor promedio. El incremento de caudal de 1.500 m<sup>3</sup>/seg a 40.000 m<sup>3</sup>/seg se produjo en solo 3 días. Este evento extremo derribó 90 tramos de pasarela y se logró la reapertura del circuito al público en 180 días.

Luego de transcurrido un período de calma relativamente prolongado, en junio de 2022 el caudal creció hasta los 10.500 m<sup>3</sup>/seg, pero las pasarelas pudieron ser reparadas con celeridad, de manera tal que el paseo estuvo cerrado solamente 7 días.

Muy pocos meses después, en octubre de 2022 se alcanzaron 16.500 m<sup>3</sup>/seg.

El fenómeno produjo consecuencias mucho mayores que el acaecido unos meses antes, registrándose la caída de 51 de los 99 tramos de la pasarela que conduce a los miradores de la Garganta del Diablo. La rehabilitación de este circuito se produjo 4 meses después del cierre preventivo.

### **MEJORAS A LAS SOLUCIONES PROYECTADAS EN 1999/2000.**

En 2017, a pedido del concesionario, se analizó la factibilidad estructural de vincular los tramos de pasarelas a los cabezales de pilotes, mediante un mecanismo que permitiese su caída cuando se cortasen los bulones que las vinculan a las pilas, pero que retuviese a las estructuras metálicas en una posición cercana a la traza de la pasarela. De esta manera, se intentaría disminuir el daño de los tramos caídos y facilitar su recuperación para la recolocación, minimizando los tiempos de interrupción de la visita.

Se diseñó un mecanismo compuesto por un cable que vincule la estructura de acero de



*Tramos sin tablero en el final de la pasarela a la Garganta del Diablo*

la pasarela a una barra vertical rígida que se anclará en la cara superior del cabezal de pilotes, interponiendo una articulación para permitir su rotación. El tramo flexible (cable) salva el problema de rodear el perímetro del dintel de la pila, y la barra rígida, por razones estéticas y funcionales, se mantendrá habitualmente en posición vertical, adosada al fuste de la pila, mediante una vinculación de baja resistencia que colapse cuando se requiera el funcionamiento del mecanismo, ante el desprendimiento del tramo.

Para el mecanismo así definido se procedió a:

- la verificación de la introducción de fuerzas concentradas en la estructura metálica de piso de los tramos de pasarela
- el dimensionamiento de la sección necesaria de las barras rígidas de vinculación a los cabezales de pilotes
- la verificación de la introducción de fuerzas concentradas en el cabezal de pilotes y dimensionamiento del anclaje necesario con brocas químicas.

Una vez que se produce el corte de los bulones (teóricamente en el instante en el cual se alcanza la velocidad del agua de 4 m/seg), los tramos caen y quedan sumergidos en contacto con el lecho. Aunque la velocidad

y el tirante sigan aumentando, puede suponerse que los tramos quedarán sometidos a fuerzas de arrastre mucho menores, correspondientes a las pequeñas velocidades que se tendrán a la máxima profundidad. De esta manera, las solicitaciones sobre los tramos metálicos, el mecanismo de amarre y las pilas serán aún menores que las soportadas instantes previos a la caída, con velocidades cercanas a los 4 m/seg.

Esta mejora para reducir los tiempos de recuperación y re-montaje de los tramos caídos fue materializada a manera de prueba en 6 tramos del brazo de mayor velocidad que vierte en la Garganta del Diablo, y quedó a la espera de la siguiente crecida importante, para testear su eficacia.

El primer evento se produjo en octubre de 2022, y de los 6 tramos amarrados a los cabezales de las pilas, 4 quedaron vinculados y disponibles para su rescate una vez que el caudal del río lo permitió (en los otros dos hubo un fallo por mala ejecución de una soldadura, no atribuible al diseño del dispositivo). La prueba fue considerada un éxito y se prevé la colocación progresiva del dispositivo de amarre en todos los tramos de las pasarelas



*Tramos de pasarela que permanecieron amarrados a las pilas luego de su caída*



## COMENTARIOS FINALES

Las soluciones brindadas por la ingeniería a los desafíos particulares que presentaba el proyecto han resultado eficaces para alcanzar un grado muy satisfactorio en el cumplimiento de los objetivos buscados:

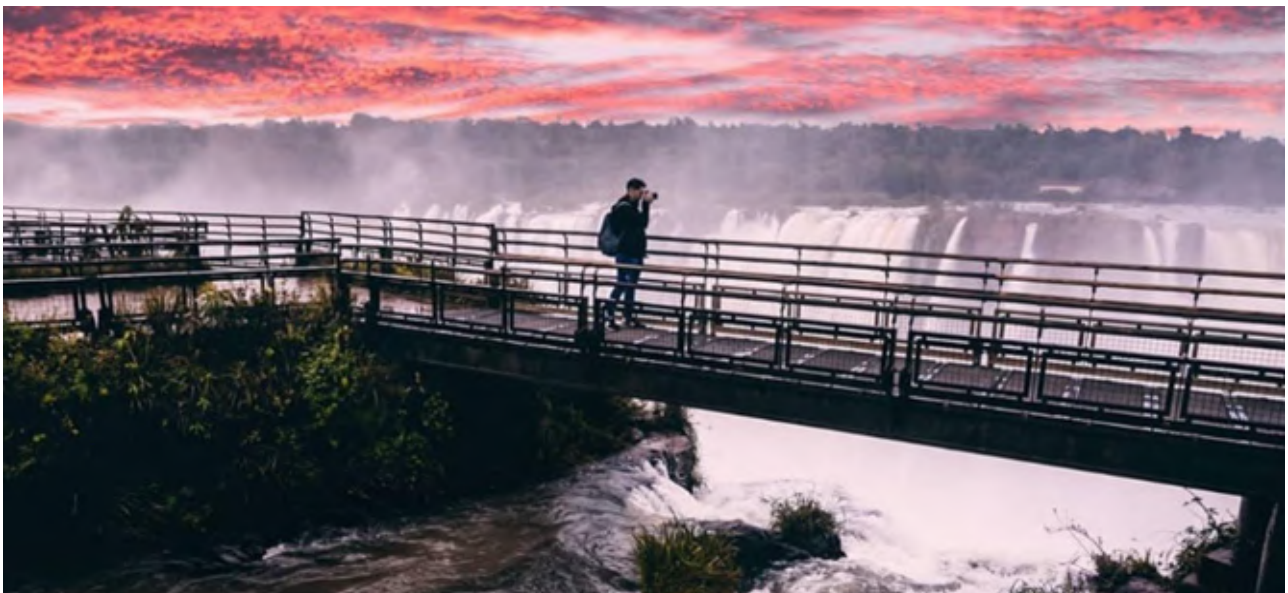
- Los sistemas de alerta temprana han permitido que el cuerpo de guardaparques y el personal del concesionario lograran el rebañamiento de las barandas de las pasarelas en tiempo y forma, antes de la llegada de la creciente al Área Cataratas y permitiendo el escape del personal de las pasarelas sin accidente personal alguno hasta la fecha.
- El vínculo fusible entre tramos de pasarela y pilas de hormigón armado ha colapsado para las velocidades de agua previstas, permitiendo que en ninguno de los eventos descritos se produjeran daños sobre ninguna de las decenas de pilas ni sus fundaciones, no habiéndose requerido nunca su refuerzo o reemplazo.
- Muchos de los tramos de pasarela caídos desde su apoyo sobre las pilas se han podido rescatar una vez que el nivel de agua lo permitió, y la mayoría se ha podido reutilizar. Para el caso de los tramos perdidos al ser arrastrados por el río fuera de la zona, y aquellos que siendo rescatados se descartaron por presentar deformaciones irreversibles, la previsión de disponer de un número

de tramos ya fabricados como elementos de reemplazo fue muy efectiva para disminuir los plazos de rehabilitación de los circuitos.

- Resultaron exitosas las pruebas de un mecanismo adicional (no previsto originalmente) de amarre de los tableros metálicos a los cabezales de las pilas. Al aumentar las probabilidades de rescate luego de la caída, puede augurarse una apreciable nueva reducción en los costos y en los tiempos de reconstrucción, una vez instalada esta mejora.

En resumen, una serie de ideas plasmadas en el proyecto de ingeniería para enfrentar los desafíos particulares de esta intervención, han permitido el acceso al recurso natural por parte de los visitantes provenientes de todo el mundo. El recorrido completo de la visita sufrió escasas interrupciones, si se compara contra lo sucedido con la infraestructura histórica entre 1934 y 2003. Este logro se ha alcanzado además minimizando los recursos económicos invertidos por la sociedad, y minimizando también el impacto ambiental de tareas de demolición y re-construcción ante cada embate del río.

El goce de un valor patrimonial excepcional que nos regala el agua resultó posible “enfrentando” con ingeniería creativa la fiereza de la propia agua, que cada tanto se transforma de recurso a riesgo y pareciera querer interrumpir nuestra posibilidad de disfrutar del espectáculo que brinda.



# ¿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-

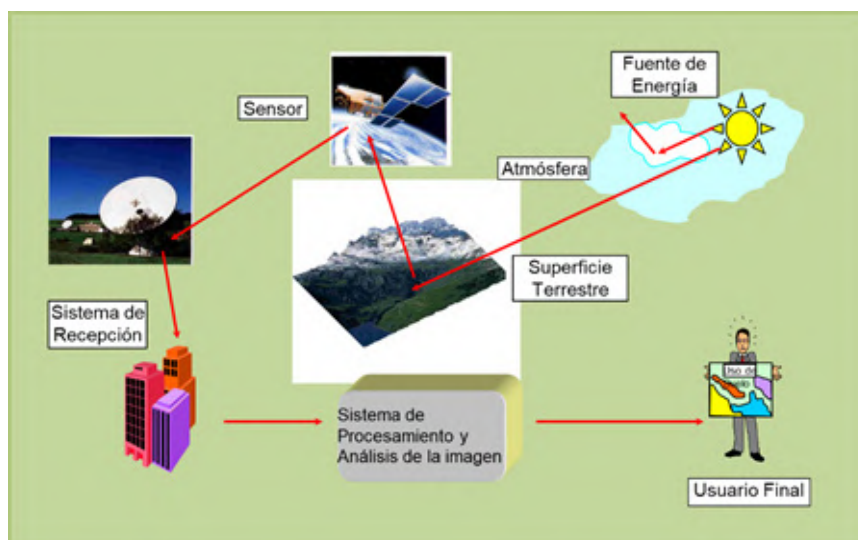


Fig. 1. Componentes de un Sistema de teledetección espacial



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

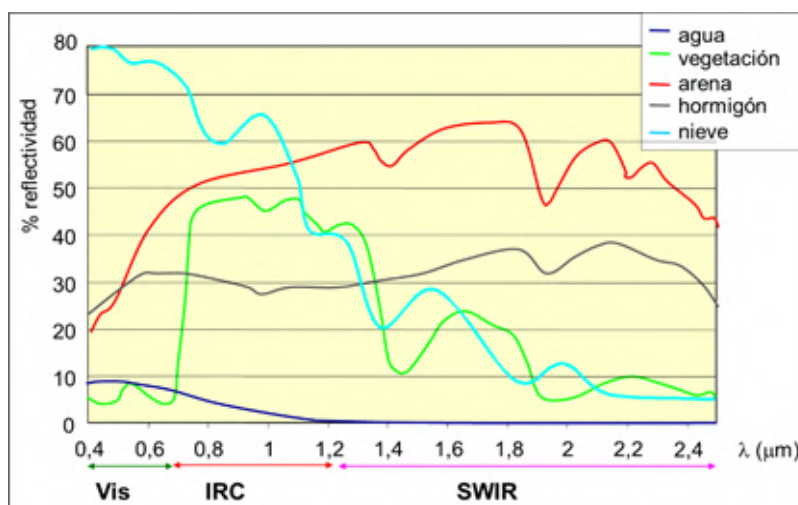


Fig. 2: Firmas espectrales de las coberturas terrestres más típicas



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

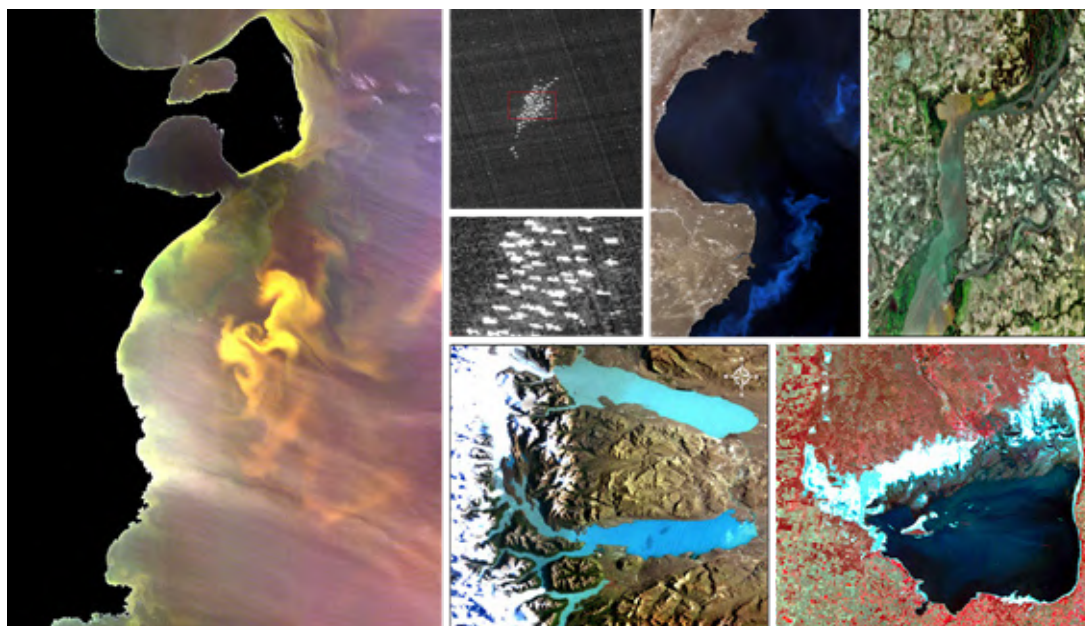


Fig. 3. Ejemplos de imágenes multispectrales (sensor MMRS) y de alta sensibilidad (sensor HSTC) de la Misión SAC-C entre los años 2005 y 2009: Floraciones algales en el Mar Argentino (izquierda y arriba centro), Vigilancia de buques poteros en el límite de la zona económica exclusiva (en blanco y negro, 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-

periférico 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)

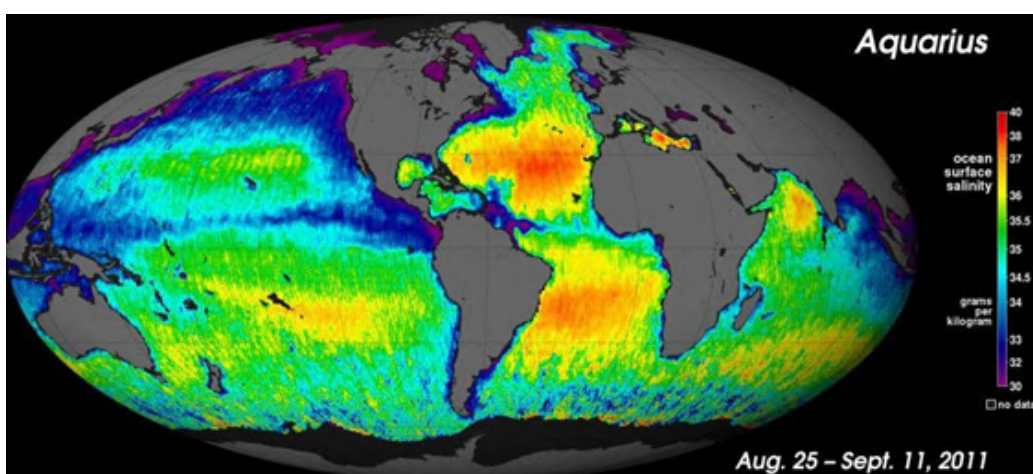


Fig. 5. Primer mapa global de la salinidad superficial del mar (SSS) a partir de datos del sensor AQUARIUS a bordo del SAC-D (medido en g/kg). (Fuente NASA)



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. Permitió 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/as 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



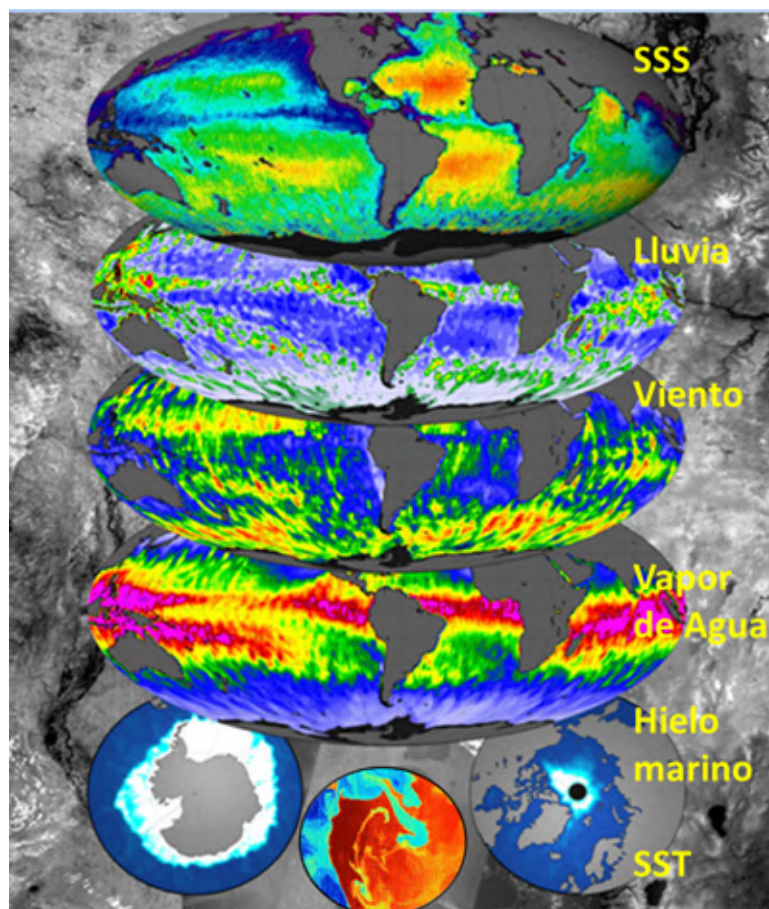


Fig.6. Ejemplos de productos derivados de los datos obtenidos por los diferentes instrumentos a bordo del SAC-D AQUARIUS (Fuente: Misión SAC-D AQUARIUS)

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

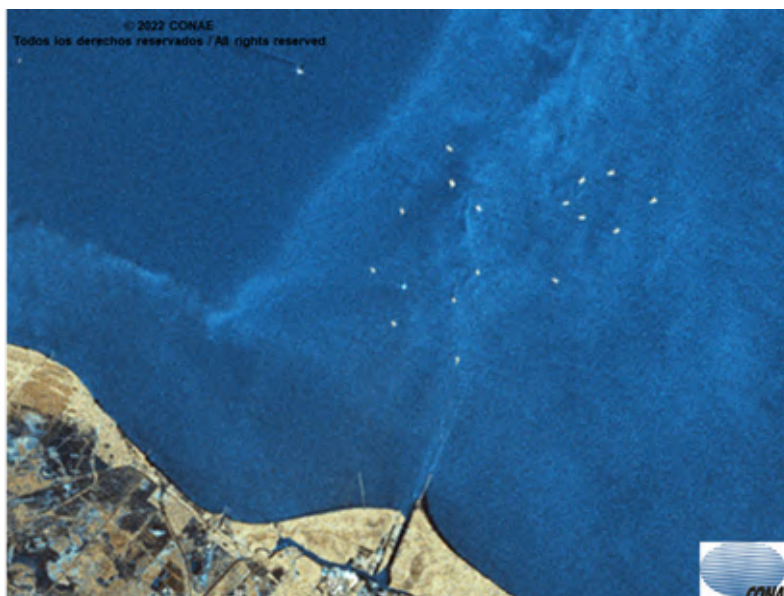


Fig. 7. Imagen SAOCOM-1A del 29/01/2019 (Río de La Plata, costa de Berisso y Ensenada). Producto StripMap Dual Pol – Haz 2. Polarización VV-VH. Combinación de Falso Color. Pasada Descendente. Se destacan los barcos (puntos blancos) esperando la entrada al puerto (Fuente CONAE).

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-

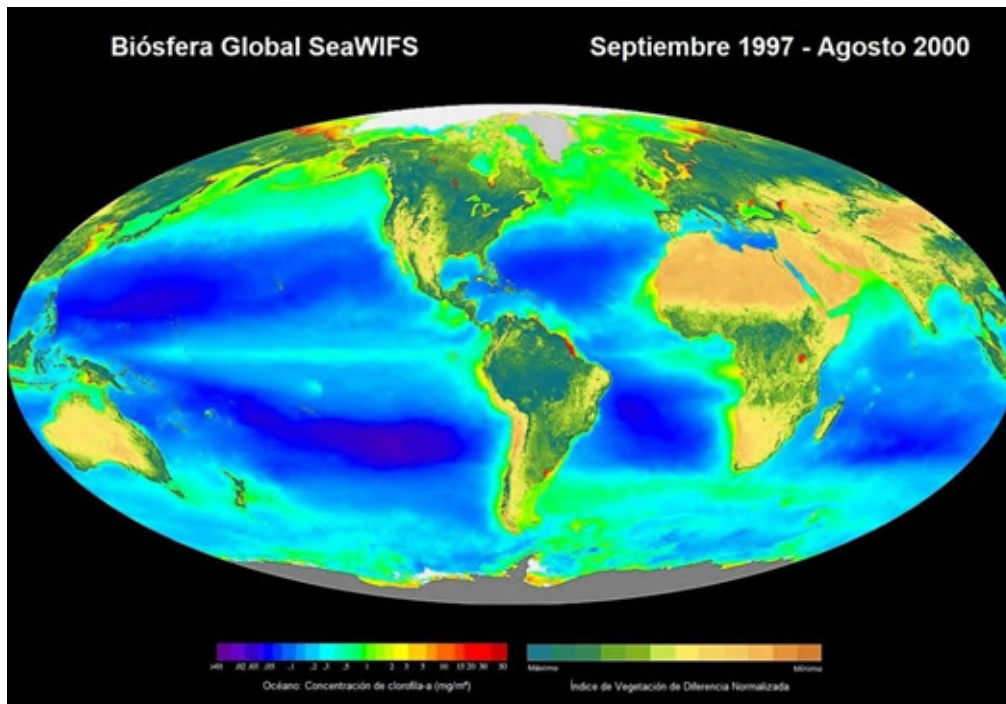


Fig. 8. Producto SeaWiFS: muestra la concentración promedio de clorofila (mg/m<sup>3</sup>) en el mar y el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) sobre la tierra (a partir de datos adquiridos entre septiembre de 1997 y agosto de 2000). Fuente: NASA

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 Coper-

nicus). 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).

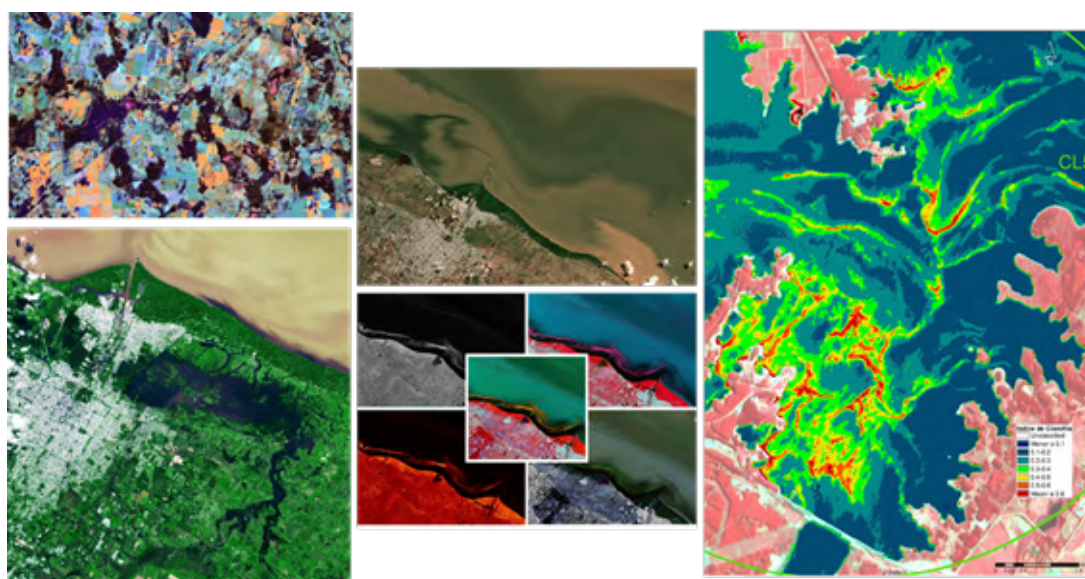


Fig. 9. Aplicaciones de imágenes satelitales ópticas sobre cuerpos de agua continentales y tierra. Ver detalles en el texto



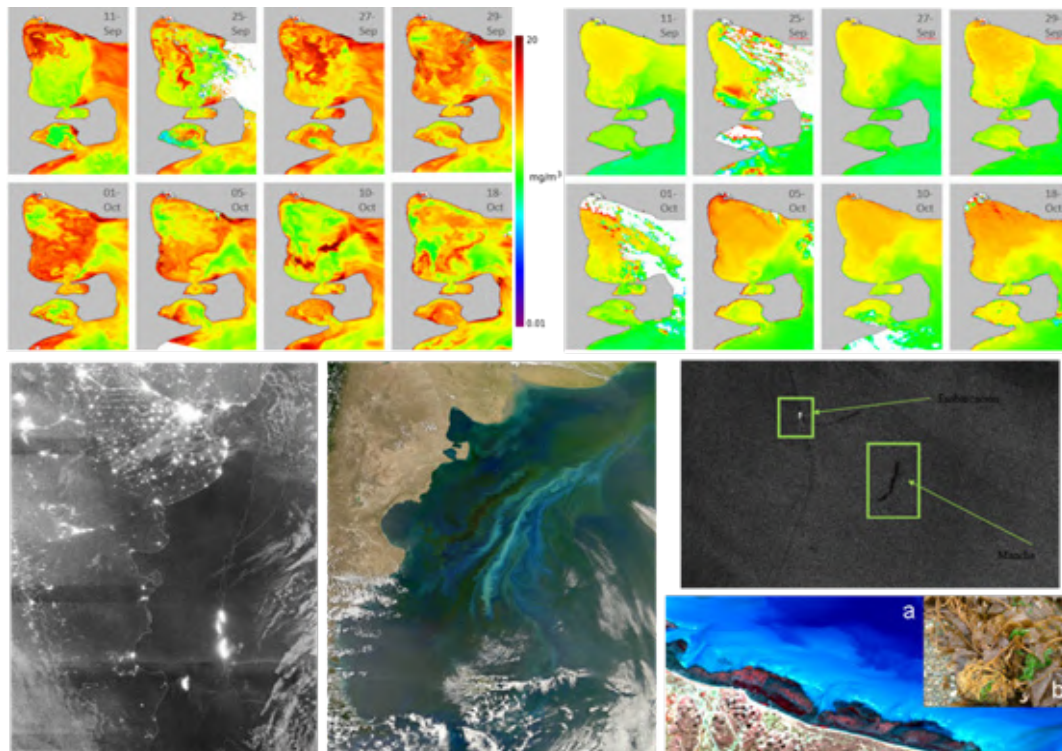


Fig. 10. Aplicaciones de imágenes satelitales en el mar y costa. Ver detalles en el texto.

## 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)

20  
\_24

# INSCRIPCIÓN FEBRERO

## CARRERAS DE POSTGRADO



IINFI

**POSTGRADO**

FACULTAD DE INFORMÁTICA



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DE LA PLATA

# CONFERENCIAS Y PANELES

## CONFERENCIA DEL MAG. ING. RAÚL KULICHEVSKY .

Desde hace varios años, la Academia de la Ingeniería de la Provincia de Buenos Aires, se encuentra desarrollando el Programa "Ing. Miguel de Santiago: Estudio y análisis de problemas trascendentes de la Argentina con soluciones técnicas", en el marco de dicho programa se han realizado sesiones públicas con destacados disertantes que desarrollaron temas como energía, transporte, cambio climático. Entre estos temas que son de alto impacto para el desarrollo de nuestro país, posee singular importancia el tema aeroespacial, en el cual se vinculan innumerables temáticas de elevado despliegue tecnológico. Con dichos antecedentes, el miércoles 6 de septiembre de 2023, se contó con la presencia del Mag. Ing. Raúl Kulichevsky, Director Ejecutivo y Técnico de la Comisión Nacional de Actividades Aeroespaciales (CONAE), quien brindó la conferencia "CONAE: desarrollo del sector espacial en la Argentina y planes futuros". La sesión pública, se desarrolló en el anfiteatro del Departamento de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata. Luego de la apertura, realizada por la Ing. Patricia Arnera, el Académico Pablo Ringegni presentó los antecedentes del disertante.

El Mag. Ing. Raúl Kulichevsky se graduó de Ingeniero Aeronáutico en la Universidad Nacional de La Plata (1992). Obtuvo los títulos de Magister en Ciencia y Tecnología de Materiales de la Universidad Nacional de San Martín (1995); Diploma en Gestión Integral de la Calidad del Instituto Tecnológico de Buenos Aires (ITBA) (2001); Certified Quality Engineer (CQE) American Society for Quality (ASQ), USA (2001); Especialista en Análisis de Vibraciones. Nivel I y Nivel II (Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción, Chile). En



*Mag. Ing. RAÚL KULICHEVSKY*

la Comisión Nacional de Energía Atómica ha sido: Responsable de Instrumentación y Operaciones del Grupo Estudio y Ensayo de Componentes Estructurales, Unidad de Actividad ENDE y Jefe Alternativo de Subproyecto Antena Radar de Apertura Sintética (ARAS) en el convenio CNEA-CONAE para el desarrollo y fabricación de la estructura y mecanismos de la antena SAR del Proyecto SAOCOM. Se desempeñó como Líder de Grupo de Análisis de Vibraciones en componentes de plantas Industriales en servicios realizados para las diversas empresas de primera línea en la Empresa I.D. Ingeniería S.A. En la CONAE ha sido responsable del Segmento de Vuelo del Proyecto SAOCOM hasta junio de 2015, desde entonces es Jefe de Proyecto SARE 2A y responsable de desarrollo de Carga Útil para el Vehículo Lanzador Tronador II Tecnológico. Desde el año 2018 es Director Ejecutivo y Técnico de la Comisión Nacional de Actividades Aeroespaciales (CONAE).



## Resumen:

El Ing. Kulichevsky expuso un resumen de las actividades realizadas por la Comisión Nacional de Actividades Aeroespaciales (CONAE) hasta la actualidad, tanto en el desarrollo de misiones satelitales como de infraestructura terrestre (estaciones terrenas, capacidades de integración y ensayos, etc.), como así también las actividades de formación de capital humano.

Expuso de qué manera, el conjunto de estas actividades ha colaborado para promover el crecimiento del sector espacial en la Argentina, y la relación de la CONAE con distintos organismos del Sistema Científico-Tecnológico de nuestro país. Finalizó la exposición mencionando los actuales y futuros proyectos de CONAE.

Al finalizar la conferencia, el Sr. Decano de la Facultad de Ingeniería de la UNLP, Dr. Ing. Marcos Actis y el Académico Pablo L. Ringegni, entregaron una placa al Mag. Ing. Raúl Kulichevsky "en agradecimiento a la CONAE, por los años de trabajo en conjunto, y a su actual director".

## Link a la conferencia:

<https://youtube.com/live/DnccoDnQmB8?feature=share>



# CONFERENCIA DEL DR. ING. GUSTAVO BASSO.

---

El miércoles 5 de julio de 2023, en el anfiteatro del Departamento de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata, se realizó el acto de incorporación formal del Dr. Ing. Gustavo Basso, como Miembro Titular de la Academia de la Ingeniería de la Provincia de Buenos Aires.

Luego de la apertura de la sesión pública realizada por la Ing. Patricia Arnera, la Académica Secretaria Dra. María Inés Valla realizó la presentación del Dr. Ing. Gustavo Basso, quien previo a brindar la conferencia "Acústica y calidad de vida", realizó una semblanza del Ing. Juan M. Barcala, sitial que ha elegido ocupar.

El Ing. Gustavo Basso es Ingeniero en Telecomunicaciones (1984) y Doctor en Artes (2017) de la UNLP. Es un experto en Acústica Arquitectónica habiendo realizado numerosos diseños de Salas de música. Actualmente es Profesor Titular de la UNLP, Asesor en acústica de numerosas obras en el país y en el exterior; Asesor del Honorable Congreso de la Nación y del Honorable Senado de la Provincia de Buenos Aires para la redacción de Proyectos de ley sobre Contaminación Acústica

## Resumen:

Asistimos, desde hace ya varias décadas, a un cambio en las pautas culturales que definen nuestra relación con los sonidos. El hacinamiento en las grandes ciudades, el aumento del tráfico urbano y el uso generalizado de sistemas electroacústicos han trastocado significativamente nuestro entorno sonoro al punto que ya se habla de una "cultura del ruido".

El ruido, que puede definirse como sonido no deseado, se ha convertido en un factor central del estrés urbano, causando trastornos audiológicos, fisiológicos, psicológicos y la alteración en el comportamiento.

En nuestro país la situación es preocupante y, aunque los reclamos de la comunidad son permanentes, poco se ha hecho para mejorar su calidad de vida.

El Dr. Basso expuso las acciones necesarias para mejorar la situación actual que deben incluir, ade-

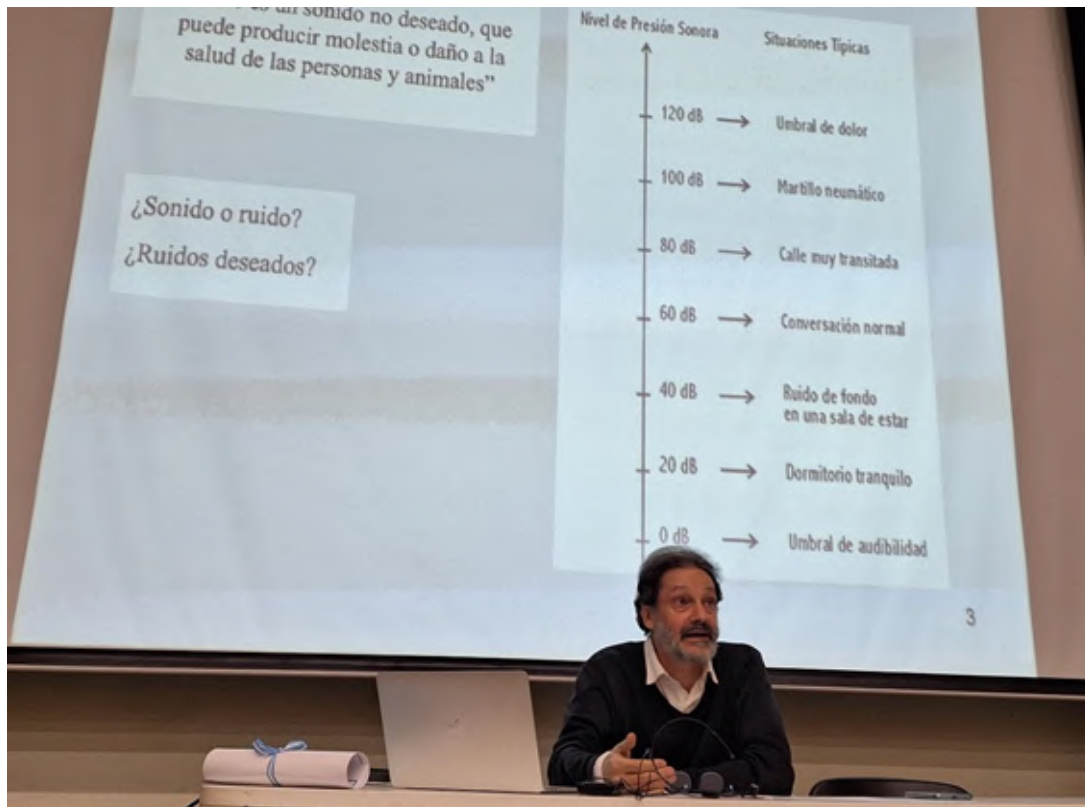


*Dr. Ing. Gustavo Basso*

más de las leyes, normas y controles ineludibles, el aporte de la ciencia y de la ingeniería acústica. Sin embargo, es fundamental crear conciencia en la comunidad para que cualquier acción en esta dirección tenga éxito: la llave de la solución a mediano y largo plazo la tiene, sin duda, la educación de la ciudadanía.

## Link a la conferencia:

[https://www.youtube.com/watch?v=qN\\_dklwWsAA&ab\\_channel=MH2020](https://www.youtube.com/watch?v=qN_dklwWsAA&ab_channel=MH2020)





# CONFERENCIA DEL DR. ING. ALEJO OSCAR SFRISO

El miércoles 9 de noviembre de 2022, se realizó en el anfiteatro del Departamento de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata, el acto de incorporación formal del Dr. Ing. Alejo Sfriso, como Miembro Correspondiente de la Academia de la Ingeniería de la Provincia de Buenos Aires. Luego de la apertura de la sesión pública realizada por la Ing. Patricia Arnera, El Académico Pro Secretario Ing. Alberto Venero realizó la presentación del Dr. Ing. Alejo Sfriso, quien acto seguido brindó la conferencia "Aplicaciones de los Métodos Numéricos a la Geotecnia".

El Dr. Alejo Oscar Sfriso es Ingeniero Civil, especialista en Geotecnia. Cuenta con más de 30 años de experiencia profesional y es experto en la aplicación de métodos numéricos para el diseño, análisis y evaluación de riesgo de distintos tipos de construcciones geotécnicas entre los que cabe mencionar a los túneles, presas y cimentaciones en general.

Se ha desempeñado en el área de la Consultoría Especializada, principalmente desde la filial Argentina de la empresa SRK Consulting. En dicha firma ha sido Líder de Práctica, Consultor Corporativo y Director. Su contribución en proyectos de gran envergadura, realizados en más de 25 países, abarca diversos temas tales como Obras Subterráneas, Hidráulicas, Industriales, de Transporte, Minería y Energía.

Además, Sfriso es Profesor de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires, ex Profesor Adjunto de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata, ex Vicepresidente para Sudamérica de la International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering y ex Presidente de la Sociedad Argentina de Ingeniería Geotécnica.

Es autor de varios libros y más de 100 trabajos publicados en congresos, seminarios y revistas especializadas. Ha impartido numerosas conferencias, disertaciones y seminarios.

## Resumen:

A lo largo de los últimos treinta años, los métodos numéricos han ido progresivamente reemplazando a los métodos analíticos para la solución



*Dr. Ing. Alejo Oscar Sfriso*

práctica de muchos problemas de la ingeniería geotécnica. Estos problemas, en orden de complejidad creciente, son: taludes, muros de contención, fundaciones, excavaciones, presas de materiales sueltos y de relaves mineros, túneles convencionales, túneles mecanizados, y problemas de ingeniería geotécnica sísmica.

En los problemas más simples, como taludes y fundaciones, las herramientas analíticas y numéricas conviven y seguirán conviviendo por muchos años. En los problemas más complejos, como los túneles y las presas de relaves, los métodos numéricos han reemplazado por completo a los métodos analíticos, y ya son exigidos como única herramienta de análisis en las guías de diseño de aplicación internacional.

En esta disertación se presentaron algunos ejemplos típicos que el autor ha resuelto a lo largo de su carrera, y se evidenció el valor que los métodos numéricos han aportado en cada caso.

La disertación se completó con una breve reflexión acerca de la importancia de la enseñanza de los métodos numéricos en las carreras de ingeniería, y de las herramientas matemáticas que los estudiantes necesitan para comprender el contenido de un curso en esta especialidad.

dirección tenga éxito: la llave de la solución a mediano y largo plazo la tiene, sin duda, la educación de la ciudadanía.

## Link a la conferencia:

[https://www.youtube.com/watch?v=T4LkMXiftMM&ab\\_channel=MH2020](https://www.youtube.com/watch?v=T4LkMXiftMM&ab_channel=MH2020)



# CONFERENCIA DEL DR. ING. FABIÁN BOMBARDELLI

El 7 de julio de 2022, se realizó de manera virtual, el acto de incorporación formal del Dr. Ing. Fabián Bombardelli, como Miembro Correspondiente de la Academia de la Ingeniería de la PBA. Luego de la apertura de la sesión pública realizada por la Ing. Patricia Arnera, el Académico Dr. Ing. Raúl Lopardo realizó la presentación del Dr. Ing. Fabián Bombardelli, quien brindó la conferencia "10 enseñanzas de la Mecánica de Fluidos Moderna"

El Dr. Bombardelli obtuvo el grado de Ingeniero Hidráulico en la UNLP; completó una Maestría en "Simulación Numérica y Control" de la UBA; y un doctorado de la Universidad de Illinois, Urbana-Champaign, Estados Unidos, bajo la supervisión del Prof. Marcelo García. Fue Investigador en Modelos Numéricos en el Instituto Nacional del Agua durante siete años. Desde 2004, es profesor (ahora titular permanente) en UC Davis, ocupa la cátedra Gerald T. and Lillian P. Orlob en Recursos Hídricos, en el Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad de California, Davis (UC Davis). Él es líder en el desarrollo de nuevos modelos teóricos y numéricos para flujos multifásicos, así como también en su observación en el laboratorio y en el campo.

El Dr. Bombardelli es conocido por su investigación sobre plumas de burbujas, transporte de sedimentos en canales abiertos, la fuerza de Basset, el flujo en aliviaderos escalonados y la aplicación de la teoría fenomenológica de la turbulencia a la hidráulica. Tiene más de 70 publicaciones en estas revistas y más de 150 artículos en total.

Es miembro del Consejo Editorial de la Revista Mecánica de Fluidos Ambientales desde 2011; del Comité de Revisión de la Revista Internacional de investigación de sedimentos, Editor Asociado de la Revista de Hidro-Ambiente e Investigación, desde 2018. Desde marzo de 2020, es el Editor en Jefe de la Revista de Ingeniería Hidráulica, ASCE. Es Editor en Jefe fundador de la Revista Iberoamericana del Agua (RIBAGUA). Ha recibido numerosos reconocimientos como el Premio al Mejor Revisor de la IAHR (2011), Revisor Destacado de la ASCE (2011); Asesor Destacado en Ingeniería Civil (ASCE, 2015), Consejero Destacado en Ingeniería Civil del Estado de California (2015); Premio Joven Ex Alumno de la Universidad de



*Dr. Ing. Fabián Bombardelli*

Illinois en 2015; artículo destacado en Física de Fluidos (2018); EWRI Fellow en 2021. 11 alumnos se han graduado con doctorado y 27 como Maestros bajo la supervisión del Prof. Bombardelli. También ha trabajado como consultor del gobierno de Argentina y de Naciones Unidas en Perú, en 2011 y 2013, proponiendo sistemas de cascadas para el Matanza-Riachuelo. Ha impartido seminarios y conferencias magistrales en numerosas universidades y congresos en todo el mundo.

## Resumen:

Respecto a la conferencia, presentó cuestiones del movimiento de fluidos a escala universal y, en especial, planetaria, con un marco ameno y sin ecuaciones. Se enfocaron estas ideas en términos de 10 enseñanzas que van desde los principios básicos que rigen el movimiento de fluidos, hasta el fenómeno turbulento, la estratificación y la erosión, pasando por las propiedades extraordinarias del agua, que permiten la vida en nuestro planeta. También mostró los avances de las soluciones por computadora, que permiten analizar en detalle los movimientos de fluidos para ingeniería y la ciencia. La charla fue cerrada, mencionando la relación agua-ambiente, mostrando el delicado balance que el cambio climático está alterando, con severas consecuencias para las generaciones presentes y futuras. Se ilustraron dichas cuestiones con ejemplos de trabajos de investigación desarrollados por el disertante y su grupo.

## Link a la conferencia:

[https://www.youtube.com/watch?v=Ts5BkxHzpzU&ab\\_channel=MH2020](https://www.youtube.com/watch?v=Ts5BkxHzpzU&ab_channel=MH2020)

# REPORTAJE AL DR. CLAUDIO LEXOW

INVESTIGADOR Y ES PROFESOR  
ADJUNTO DEL DEPARTAMENTO  
DE GEOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SUR (UNS)



**El Dr. Claudio Lexow, comparte su experiencia vinculada a las líneas de investigación que abordan el impacto de diferentes elementos en el suelo.**

**La región en la que Usted desempeña su actividad científica y académica es básicamente industrial (fundamentalmente petroquímica y agrícola). En este sentido sería interesante conocer ¿Cómo se realizan los estudios para determinar problemáticas como la contaminación de las aguas subterráneas?.**

Muchos de estos estudios se desarrollan a lo largo de varios años a través de proyectos institucionales financiados por el CONICET y por la CIC, entre otros. Los mismos surgen producto de problemáticas locales y por las

necesidades de dar respuestas a las mismas y a fin de alcanzar una valoración real de determinados procesos y no estimada a partir de publicaciones periodísticas. Los estudios comienzan con la implementación de una etapa de campo (censo, muestreos, etc.) y en una segunda etapa con ensayos de laboratorio y de campo en los que se obtienen resultados. Muchos de estos estudios demandan muchos años de ejecución.

Desde el Departamento de Geología de la Universidad Nacional del Sur, trabajamos mucho con los recursos hídricos subterráneos, y en un principio abordamos los aspectos relacionados a la contaminación agrícola ganadera, que es una contaminación de origen difuso de impacto areal muy grande.

Con respecto al tema de los hidrocarburos, las investigaciones surgieron en parte por

una motivación personal que en principio propició la implementación de un censo, es decir un reconocimiento de la situación, que demostró que en la mayoría de las estaciones de servicios del área de Bahía Blanca habían ocurrido pérdidas de combustible, incluso en algunos los casos se trató de una gran cantidad. Eso generó otros proyectos de investigación sobre los cuales actualmente estamos trabajando con más precisión, es primordial conocer los procesos de transporte y degradación de los combustibles en el subsuelo para así poder aplicar medidas correctivas o de remediación. Por ejemplo en sistemas de remediación, uno de ellos es la denominada atenuación natural monitoreada, que consiste en el aprovechamiento de las propiedades del medio una vez extraído gran parte del combustible que se derramó en profundidad. Se trata de un método bastante económico porque no requiere de energía externa, pero al mismo tiempo es importante tener un buen conocimiento del mismo para poder aplicarlo. Todas son líneas de investigación que estamos desarrollando se implementan con investigaciones de posgrado que permiten alcanzar el título de Doctor y de investigaciones específicas.

### **¿Cuáles serían las consecuencias que podrían ocasionar en la salud humana este tipo de contaminación?**

Con respecto a la contaminación agrícola todavía no se vislumbra en nuestra área problemas de ese tipo por no tratarse de una zona de regadío intenso. Esto se traduce a que el vector de tránsito y transporte de solutos que establece la recarga a partir del agua de lluvia es muy bajo.

De esta manera los tiempos de tránsito desde la aplicación del plaguicida en la superficie hasta alcanzar el nivel freático son muy altos y eso favorece a la degradación de los productos orgánicos. Salvo puntualmente, como en casos donde las perforaciones para explotación de agua están mal construidas o en proximidades a sitios de lavado de re-

cipientes con residuos de pesticidas, que no debían haber sido tratados de esa manera. En esos casos sí puede haberse detectado contaminación pero se trata de casos puntuales.

Con respecto al tema de riesgo en la zona de Bahía Blanca por hidrocarburos, - como ya lo decía- más del 90% de las estaciones de servicios en algún momento tuvieron pérdidas. En todos los casos el principal producto, es decir la nafta o gasoil, se extrajo y el remanente, es decir lo que queda retenido a saturación irreductible, fue degradado paulatinamente a través de procesos naturales. Todas las determinaciones de riesgo, a la salud del ser humano o del medio ambiente, que hemos realizado han arrojado valoraciones muy bajas, casi nulas. Pero sí ha habido casos de contaminación por pérdidas de combustibles que alcanzaron sótanos de algunas edificaciones que podrían haber generado una explosión, situación que nunca se dio.

En cuanto a lo que es el área industrial - como en todas partes del mundo- presentan el remanente de contaminación de los malos usos que se llevaron a cabo en otros momentos, previos a la implementación de todas las leyes ambientales de la década del 90. Antiguamente en las plantas industriales, muchos de sus residuos sólidos (barros industriales) eran acopiados sin ninguna contención en la propia planta, al igual que los efluentes, que eran volcados de manera irregular.

Por eso actualmente se trabaja con esos remanentes. Los procesos de descontaminación de los suelos y del agua subterránea lleva tiempo.

### **¿Incide el clima en la contaminación? Es decir, varía el impacto en el suelo de acuerdo a tiempos de sequía o al exceso de lluvias?**

Sí, hay una incidencia directa. En las áreas tropicales, donde las lluvias son abundantes y el riego no se utiliza, la contaminación del suelo y de los acuíferos es muy alta porque generalmente las tasas de aplicación no son las ajustadas por las recomendaciones de las empresas químicas y siempre se agre-

gan dosis un poco más elevadas que son arrastradas por los microorganismos o por las plantas que se tienen que destruir y van hacia la profundidad a la concentración original del agua.

Cuando el clima es más seco, esa tasa natural de transporte disminuye significativamente, aunque se acentúa con las aplicaciones según del tipo de riego que se implemente.

En la zona de riego bajo cubierta, como el que se hace en sectores de chacra, es muy perjudicial no sólo porque se pierde mucha cantidad de agua sino también porque arrastra una gran cantidad de fertilizantes y plaguicidas. Los sistemas de riego actuales que se están aplicando, como pivot o riesgo por goteo, son muchos más eficientes. Por un lado no permiten tantas pérdidas en el subsuelo y la planta aprovecha casi la totalidad de la aplicación, y por otra parte el vector de arrastre a mayor profundidad se minimiza y por consiguiente el transporte de pesticidas es menor.

Muchas veces se presentan denuncias por contaminación en pozos puntuales pero la misma se origina por una deficiente construcción de la perforación. Son casos en donde la obra fue realizada sin la cementación correspondiente lo que da lugar a vectores de flujo que arrastran a los productos contaminantes a través de las paredes del pozo y del caño camisa. Con una buena construcción de las perforaciones no hay forma que las diversas sustancias alcance, por vía rápida, al acuífero freático. El objetivo es lograr un tiempo de tránsito mayor para que los procesos de degradación actúen positivamente.

### **Entre las investigaciones realizadas, ¿algunas comprenden a la localidad de Monte Hermoso, por qué y en qué consisten?**

Monte Hermoso es un ejemplo de lo que ocurre en otras localidades de la costa bonaerense, que tiene que ver con la ocupación de la franja costera medanosa y la explota-

ción de agua subterránea como fuente de abastecimiento. Eso en concordancia con la línea del mar linderera trae como consecuencia que si se excede la tasa de explotación del recurso, se provoca una disminución de los niveles freáticos y ello trae aparejado el ingreso de agua marina en el subsuelo. Una vez que se produce esto, el proceso para revertirlo es muy lento y costoso. Por lo tanto, cada caso se está estudiando a los efectos de preservar el recurso hídrico subterráneo a través de una explotación sustentable.

### **Con respecto a la problemática de los rellenos sanitarios, ¿tienen un balance realizado a nivel provincial o regional sobre el tema?**

A nivel provincial por lo que sé es muy problemático porque varios municipios no han implementado la construcción de rellenos sanitarios, todavía se trabaja con el concepto de "basurero a cielo abierto". Eso implica una técnica de no impermeabilización, de no soterramiento diario, no control de vectores, ni de lixiviados ni de emisiones gaseosas. Bahía Blanca cuenta con un relleno sanitario que está operando en óptimas condiciones; en este momento estamos haciendo un estudio para localizar sitios alternativos. Por su parte en la región, el municipio de Monte Hermoso cuenta con un relleno sanitario mientras que Tornquist está en el proceso de habilitar uno.

### **¿Qué sucede cuando se dejan de utilizar los rellenos sanitarios?**

Justamente en el caso de Bahía Blanca, el estudio que estamos realizando es para evaluar el impacto residual. Cabe aclarar que los rellenos se dividen en módulos, linderos unos con otros. Por ejemplo en el caso de Bahía, los Módulos 1 y 2 están por cumplir 30 años de antigüedad. Según la disposición n° 1143 del Ministerio de Ambiente de la Provincia de Buenos Aires, luego de las 3 décadas se los puede dar de baja y si están dadas las condiciones ingenieriles y am-



bientales se los puede seguir utilizando en cuanto a sobrecarga o relleno de residuos urbanos.

Hemos corroborado la efectividad en el funcionamiento de la membrana impermeable colectora del lixiviado. Cuando en las obras se respeta la construcción correspondiente, y en áreas como la nuestra en donde tenemos precipitaciones que rondan los 570/600 mm anuales, por ser una zona semiárida, es factible que un relleno sanitario funcione bien. Es diferente la situación en zonas como la de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires o en la región de La Plata donde las precipitaciones superan los 1000 mm en el año, ello genera una mayor cantidad de lixiviado que puede acrecentar el problema. Cuando se da de baja un relleno sanitario se observa en la superficie que queda cubierta de terreno natural, con el crecimiento de pasto o vegetación autóctona. Un módulo clausurado quedaría como un montículo cubierto de pastura de la zona, que en algunos casos acompaña la topografía y en otros no, porque se ha permitido legalmente darle un poco de altura.

En esta zona no se prevé utilizar esas superficies para otros fines.

### **¿Qué sucede en los países más desarrollados con respecto a este tipo de rellenos?**

La técnica que se utiliza es similar a la que usamos en la Argentina, se seleccionan áreas geográficamente bien dispuestas en lo que respecta a la distancia del centro urbano, también se tiene en cuenta que los vientos no afecten. Con respecto a la construcción se hace la impermeabilización con terreno compactado y con ventanas se colocan las cañerías de venteo de gases para que no haya acumulación de los mismos, se lleva a cabo la compactación y dentro de lo posible se lo tapa diariamente, intercalando residuos con terreno hasta la altura que esté autorizado.

En los países más desarrollados este tipo de construcciones permite la captura de gas y

su aprovechamiento para la generación de energía eléctrica. Ello no siempre es posible pues tanto del volumen de generación de residuos como de ciertas condiciones estructurales de la implantación del relleno sanitario.

# ARTICULACIÓN ENTRE INVESTIGACIÓN, EXTENSIÓN Y TRANSFERENCIA: RELATO DE UNA INNOVACIÓN

BERARDOZZI E.<sup>2</sup>, GARCÍA EISCHLANG F.<sup>1</sup>  
Y LUCINO C.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>INIFTA, CONICET.

<sup>2</sup>UIDET HIDROMECÁNICA, F.I., U.N.L.P



## **EFFECTOS DEL ARSÉNICO EN LA SALUD**

El arsénico (As) es un metaloide de elevada toxicidad que puede presentarse en aguas subterráneas formando parte tanto de especies orgánicas como inorgánicas. La ingesta crónica de agua con contenidos de As superiores a los recomendados produce graves efectos a la salud. En Argentina, el área afectada por esta problemática cubre aproximadamente 106 km<sup>2</sup> y actualmente se estima que la población que vive en zonas con aguas subterráneas contaminadas con As se eleva a alrededor de 4 millones de personas [1]. En nuestro país el conjunto de patologías ocasionadas por esta causa ha sido definidas como Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico (HACRE). La exposición a este contaminante produce cáncer de riñón, hígado y pulmón, entre otros. Además, se acumula en huesos, músculos, pelos y uñas. En la piel, este contaminante puede producir hipo/hiper pigmentación, queratosis y hasta cáncer [2].

## **¿POR QUÉ BUSCAR TÉCNICAS ALTERNATIVAS DE REMOCIÓN DE ARSÉNICO?**

En la mayoría de las grandes áreas urbanas, que en general cuentan con servicios de agua centralizados, el problema de los recursos de agua potable contaminados con As, se ha mitigado mediante la instalación de plantas de tratamiento a gran escala o el aprovechamiento de recursos hídricos alternativos. En contraste, para el caso de pequeñas poblaciones periurbanas o rurales, actualmente no se dispone de tecnologías económicas y sencillas capaces de dar respuesta a este problema [3-4]. Por este motivo, resulta imperioso fomentar desarrollos locales de tecnologías accesibles que permitan aportar soluciones alternativas y a largo plazo para esta importante problemática.

## **HIERRO CERO-VALENTE (ZVI)**

En este contexto las tecnologías basadas en el empleo de hierro cero-valente (ZVI) se presentan como herramientas promete-

doras porque han sido probadas con éxito para la eliminación de una amplia variedad de contaminantes y pueden implementarse con relativa facilidad, utilizando materiales simples y ampliamente disponibles. Los mecanismos de eliminación de contaminantes en estos sistemas se basan en procesos físicos y/o químicos que involucran especies de hierro en diferentes estados de oxidación. En particular, se ha demostrado que el mecanismo de eliminación del arsénico implica tanto etapas de oxidación como de co-precipitación como de adsorción [5].

## **RELATO DEL PROCESO DE INNOVACIÓN**

Con el objetivo de desarrollar una tecnología que cumpliera con las características previamente mencionadas, en el año 2006 se iniciaron en el Laboratorio de Ingeniería Sanitaria (LIS) del Departamento de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería investigaciones relacionadas con la remoción de arsénico mediante el empleo de ZVI en colaboración con investigadores de la Facultad de Ciencias Exactas. En un principio, los estudios preliminares se centraron en el análisis de las cinéticas de corrosión del hierro metálico en sistemas tipo batch. A partir del año 2012, se comenzó a trabajar en el diseño de prototipos completos, incluyendo todas las operaciones unitarias necesarias en el proceso de purificación del agua contaminada con arsénico. Con este fin, se encararon investigaciones sobre sistemas en modo continuo a través del análisis del efecto de las variables operativas que, en conjunto, permiten evaluar el desempeño de columnas reactivas basadas en el empleo de ZVI. En esta nueva etapa se incorporó a una Ingeniera Química, egresada de nuestra Facultad, para la realización de una tesis doctoral en el marco del proyecto, y además docentes de la UIDET Hidromecánica para colaborar en las etapas de escalado y evaluación de estabilidad hidráulica del prototipo. Paralelamente, en el año 2013 se iniciaron también distintas actividades de extensión para la realización de pruebas de campo con di-

ferentes actores/grupos sociales y posibles destinatarios de la tecnología desarrollada. Estas actividades de investigación se desarrollaron en el marco de proyectos de investigación y extensión acreditados y financiados por la UNLP y la Facultad de Ingeniería. Los resultados parciales de estas investigaciones han sido motivo de varias presentaciones a congresos, publicaciones en revistas indexadas y dos capítulos de libro.

### DISEÑO CONCEPTUAL DE LA PLANTA, INGENIERÍA BÁSICA

A partir del conocimiento de los factores que gobiernan los aspectos cinéticos y de equilibrio de la absorción arrojados por los ensayos realizados en batch, se encaró el diseño y la construcción de una planta de tratamiento para operación continua con todas las operaciones unitarias necesarias para la obtención de agua libre de arsénico.

La misma incluye tres etapas (Fig. 1): en primer lugar, el hierro metálico es oxidado a Fe(II) por el oxígeno disuelto en el agua a tratar. Posteriormente, el Fe(II) es oxidado a especies de Fe(III) en una segunda etapa de oxidación/contacto. Finalmente, las especies férricas producidas "in situ" forman fases coloidales que son removidas mediante un proceso físico de filtración. Inicialmente

los estudios se centraron mayormente en el análisis de la primera etapa mediante ensayos de corta duración con columnas reactivas de pequeña escala (RSSCT).

### DISEÑO, DIMENSIONADO Y PRUEBA DE LOS COMPONENTES DE LA PLANTA

Una vez optimizado el desempeño de las columnas se realizaron ensayos de laboratorio utilizando plantas piloto completas para diferentes escalas de trabajo: 700, 1500, 4000 y finalmente 150000 l/día. El objetivo de las pruebas fue verificar la eficacia de todas las etapas del proceso y estudiar las variables más adecuadas para el monitoreo diario de la eficiencia de remoción. Los estudios realizados mostraron que la eficiencia de remoción de arsénico se encuentra directamente relacionada con el contenido de hierro a la salida de la columna. Por otro lado, también se encontró una muy buena correlación entre el contenido de arsénico a la salida y el potencial de óxido-reducción (ORP) por lo que la medida "on-line" de esta variable a la salida de la columna también resultaría una herramienta adecuada para el monitoreo y control automático del proceso. Los ensayos realizados permitieron verificar porcentajes de remoción por encima del 90 % y contenidos de arsénico por debajo de 0.01

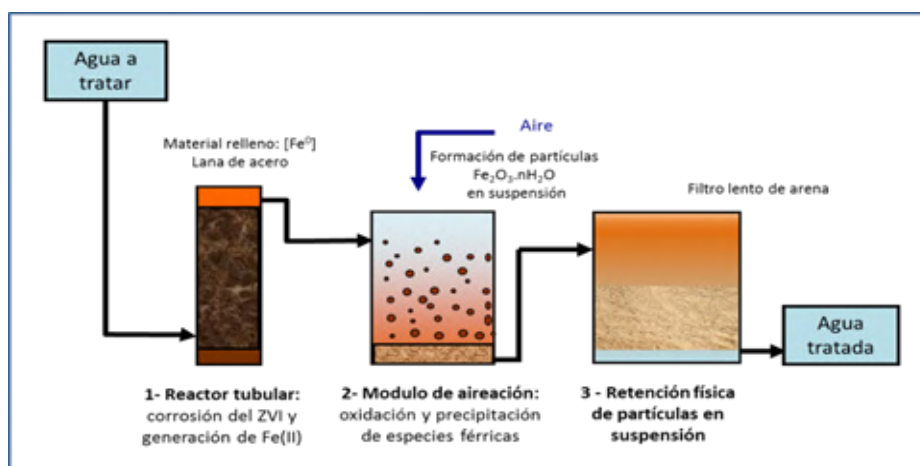


Fig.1-Esquema del proceso de tratamiento continuo basado en el empleo de ZVI.



mg/l (límite OMS).

## PRUEBAS DE CAMPO

Una vez verificada la eficiencia en laboratorio es importante la realización de pruebas de campo. Esto resulta necesario dado que no todas las aguas presentan la misma composición y la eficiencia del proceso resulta dependiente de la matriz a tratar. Por otro lado, cabe destacar que la realización de pruebas de campo en el marco de actividades de extensión permitió detectar problemas imprevistos, evaluar obstáculos potenciales para la aplicación de la tecnología desarrollada, poner a punto las condiciones operativas y capacitar a potenciales usuarios o destinatarios reales.

Teniendo en cuenta estos aspectos se encararon ensayos de campo en el marco de diferentes actividades y proyectos de extensión. Las pruebas iniciales fueron realizadas en la localidad de Gral. Rodríguez (Fig. 2) con una familia de productores tamberos en el año 2014 y en la localidad de Castelli (Fig. 3) con una cooperativa de servicios en el año 2015. A partir del año 2018 se comenzó a trabajar en conjunto con la cooperativa de provisión de agua de la localidad de Verónica y FEDECAP (Federación de Cooperativas de Servicios de Cloacas y Agua Potable de la

provincia de Buenos Aires). Cabe destacar que el contenido promedio de As en los pozos que emplea la cooperativa de Verónica está por debajo de las 50 ppb (del orden de las 35 a 45 ppb). En este sentido, de acuerdo con la normativa actualmente vigente en la provincia de Buenos Aires, con estos valores no sería necesaria la aplicación de un tratamiento para la eliminación de As. Sin embargo, teniendo en cuenta los niveles guía planteados por la OMS y el CAA, tanto FEDECAP como la Cooperativa de Aguas de Verónica consideran necesaria la optimización de esta tecnología emergente para garantizar en un futuro cercano concentraciones de As por debajo de 10 ppb.

También en convenio con la cooperativa de Verónica se recibió un subsidio de la Secretaría de Políticas Universitarias para la construcción de una planta para el procesamiento de 20000 l/día de agua. La planta cuenta con 4 columnas en serie y un nuevo sistema de filtración. Los resultados obtenidos con la nueva planta (Fig. 4) resultaron muy alentadores y las actividades tanto de extensión como de vinculación desarrolladas por nuestro grupo de la UNLP en la localidad de Verónica llamaron la atención de pueblos cercanos que tienen una problemática similar pero que en sus pozos de explotación el contenido de arsénico es mayor, pudiendo



Fig. 2 - Prueba de campo en Gral. Rodríguez



Fig.3 - Prueba de campo en la localidad de Castelli

alcanzar las 150 ppb. En consecuencia, en el marco del proyecto de extensión AGUA LIBRE DE ARSÉNICO, acreditado y financiado por la UNLP en 2020 y subsidiado por el PROGRAMA "CIENCIA Y TECNOLOGÍA CONTRA EL HAMBRE" del MinCyT, se adaptó y optimizó la planta situada en la localidad de Verónica para ser trasladada a la cooperativa de la localidad de Pipinas (Figs. 5 y 6), también perteneciente a FEDECAP, con el objetivo de resolver esta necesidad básica.

Luego de casi dos años de funcionamiento continuo en los cuales se realizaron algunas modificaciones y ajustes en el diseño, la planta muestra excelentes resultados y ya se encuentra en condiciones de brindar agua libre de arsénico apta para consumo a la comunidad de Pipinas, que estará disponible en una canilla pública para disponerla en bidones. El desarrollo de las pruebas de campo permitió verificar la importancia tanto del control fisicoquímico del agua como así también llevar a cabo un riguroso protocolo de desinfección para garantizar la potabilidad del agua desde el punto de vista microbiológico. Los análisis del agua tratada, realizados por laboratorios externos a la UNLP, muestran todos los parámetros dentro de los valores reglamentados por el código alimentario para agua potable. Es importante desatacar que estos resulta-

dos alentadores se debieron en gran medida al trabajo en conjunto con la comunidad de la cooperativa de Pipinas.

## TRATAMIENTO DE RESIDUOS

En colaboración con el personal de la cooperativa de Pipinas se diseñó e instaló un sistema para la recolección de los desechos de la planta. Este sistema, que consiste en un espesador de barros, tiene como principal ventaja la posibilidad de generar un volumen menor de residuos al poder separar el agua clarificada del sólido generado. Varias muestras de residuos generadas por diferentes etapas del proceso fueron enviadas al Centro de Tecnologías Químicas (CTQ-UTN) de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) donde se realizan actividades de investigación para la caracterización del residuo generado y su inmovilización en cementos. Los resultados obtenidos han sido sumamente alentadores por lo que la estrategia de estabilización/solidificación (E/S) con cemento portland se presenta como una alternativa válida de disposición final de residuos.

## PERSPECTIVAS

Se estima que a corto plazo se podrá ofrecer



*Fig.4 - Etapa de prueba en la localidad de Verónica*

esta tecnología a localidades pequeñas (de hasta 4000 habitantes), para satisfacer la necesidad de 3 a 5 l/hab por día de agua libre de arsénico para consumo. También es posible replicar este módulo en la misma escala para disponer de mayor volumen diario de agua tratada. A partir de la validación de la eficacia y de la sustentabilidad de la tecnología desarrollada a distintas escalas, se espera poder iniciar la etapa de inserción de la misma en el medio a través de proyectos de transferencia y/o extensión con cooperativas de servicios encargadas de la provisión de agua potable. Es importante destacar que la articulación de la investigación, la extensión y la transferencia, así como la confluencia de distintas disciplinas y actores de los distintos sectores involucrados, ha permitido avanzar en el proceso de innovación, llegando a una tecnología eficaz, de operación sencilla, económica y que requiere insumos disponibles en el mercado local, para dar una respuesta alternativa al problema del arsénico en agua destinada a localidades pequeñas o poblaciones dispersas que sufren esta problemática. El sostenimiento y la continuidad de las actividades descritas, gracias a la articulación de proyectos de investigación con proyectos de extensión a lo largo de más de una década, ha resultado fundamental para avanzar

en el desarrollo y la materialización de esta tecnología que podrá ofrecerse como una alternativa de tratamiento frente a otras más costosas y de mayor impacto ambiental.

## Bibliografía

- [1] J. Bundschuh et al., "One century of arsenic exposure in Latin America : A review of history and occurrence from 14 countries," *Sci. Total Environ.*, vol. 429, pp. 2–35, 2012 (y referencias allí citadas).
- [2] A. Esteban et al., "Epidemiology of chronic disease related to arsenic in Argentina: A systematic review," *Sci. Total Environ.*, vol. 538, pp. 802–816, 2015.
- [3] J. Bundschuh et al., "Emerging mitigation needs and sustainable options for solving the arsenic problems of rural and isolated urban areas in Latin America e A critical analysis," vol. 4, 2010.
- [4] M. I. Litter et al., "Small-scale and household methods to remove arsenic from water for drinking purposes in Latin America," *Sci. Total Environ.*, vol. 429, pp. 107–122, 2012.
- [5] C. Noubactep, "Processes of contaminant removal in 'Fe0 -H2O' systems revisited: the Importance of co-precipitation," *Environ. Sci.*, pp. 9–13, 2007.
- [6] J. M. Triszcz, A. Porta and F. S. García Einschlag\*, Effect of operating conditions on iron corrosion rates in zero-valent iron systems for arsenic removal, *Chemical Engineering Journal*, 150 (2009) 431-439
- [7] F. S. G. Einschlag and J. M. Triszcz, "Arsenic removal in continuous systems using zero - valent iron fixed beds," in *Arsenic: Sources, Toxicity and Environmental Impact*, 2008, Chapter 16.
- [8] E. Berardozi and F. S. García Einschlag, "Zero-Valent iron based water treatment plant for arsenic removal," in *Arsenic: Risks of Exposure, Behavior in the Environment and Toxicology*, Nova Science Publishers, 2017, Chapter 3.



*Fig.5 – Planta instalada en Pipinas*



*Fig.6 – Sistema de recolección de desechos en Pipinas.*



# ESTADO SANITARIO DE LAS AGUAS DEL CONURBANO BONAERENSE QUE DESAGUAN EN EL ESTUARIO DEL RIO DE LA PLATA.



**MAG. INGRA. CRISTINA SPELTINI**

**DIRECTORA DE LA ESPECIALIZACIÓN  
Y MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

**DIRECTORA DEPARTAMENTO ING. QUÍMICA- UTN-  
FACULTAD REGIONAL AVELLANEDA**





Es bien conocido que habitamos un planeta cuya superficie está mayoritariamente cubierta por agua. Sin embargo, de esa gran masa de agua solo una pequeña parte se encuentra disponible para satisfacer las necesidades básicas y actividades de las poblaciones ya que solo aproximadamente el 3% se encuentra como agua dulce en las aguas superficiales como arroyos, lagunas, manantiales, humedales, en aguas subterráneas (acuíferos) y en estado sólido en los glaciares y casquetes polares.

El agua dulce es un factor determinante para toda forma de vida, cumpliendo la función básica de mantener la integridad del entorno natural, incluyendo a los seres vivos que lo habitan. Por esta condición de ser uno de los recursos naturales vitales, durante más de diez años, un grupo de investigadores de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Avellaneda ha centrado su atención en el estudio del estado sanitario de los arroyos del sur del conurbano bonaerense que desaguan en el estuario del Río de La Plata (Speltini, 2012).

La denominada Cuenca de la Zona Sur constituye una parte de este territorio de gran fragilidad ambiental estando conformada por los arroyos Sarandí, Santo Domingo, Las Conchitas, Giménez, Baldovinos, Pereyra, Rodríguez, el Gato y al sur de la ciudad de La Plata, los arroyos Maldonado y El Pescado. Todos ellos se hallan entubados en sus tramos superiores y medios mientras que, en los tramos inferiores, en la zona de la Planicie aluvial y estuárica del Río de la Plata, se los encuentra a cielo abierto.

Sus caudales son alimentados por la descarga de agua provenientes de los acuíferos freáticos y los aportes de los diversos efluentes de las zonas industriales que atraviesan. La calidad de las aguas de los arroyos, en el tramo a cielo abierto, se halla fuertemente amenazada por las acciones antrópicas de las poblaciones aledañas. Las actividades humanas son la fuente más generalizada de contaminación, no sólo las actividades industriales y/o agrícolas, sino el vertido de residuos domésticos también genera vecto-

res de contaminación importantes.

Durante el estiaje sus aguas presentan la mayor concentración de contaminantes en suspensión y en solución. Al internarse en la terraza baja pierden pendiente, de ello resulta un drenaje pobre que sumado a la lenta infiltración de la llanura costera (terracea baja) favorece escenarios de anegamiento. Los arroyos estudiados están sujetos tanto al régimen pluvial de su cuenca como a los efectos del Río de la Plata que se traduce en el flujo y reflujo de las aguas de marea y también a los eventos de crecientes por efecto de los vientos del SE o "sudestada". En sus tramos a cielo abierto, los arroyos de la Cuenca Zona Sur presentan un alto grado de contaminación que se manifiesta en la degradación de los paisajes y emanación de olores fuertes y desagradables.

En las zonas costeras atravesadas por los arroyos de la Cuenca Sur se pueden identificar diferentes paisajes, entre los que se destacan relictos de selva marginal, una formación vegetal de alta complejidad conformada por numerosas especies que se distribuyen en varios estratos. Árboles de porte alto, mediano y bajo, comparten habitat con arbustos, helechos y epifitas, existe abundancia de enredaderas y una variada fauna que ocupa los diferentes ambientes que les ofrece el medio. Se la califica como marginal porque se desarrolla sobre la margen del estuario del Río de la Plata.

Entre los arroyos Sarandí y Santo Domingo se identifica una zona de quintas de aproximadamente 400 ha, en las cuales se realizan cultivos frutihortícolas y se destaca un ámbito en el cual se sigue produciendo el vino de la costa.

El arroyo Las Conchitas se caracteriza por presentar cultivos intensivos bordeando la autopista Buenos Aires- La Plata que modificaron profundamente el suelo, eliminando la vegetación autóctona.

Por su parte, el sistema hídrico del bañado Maldonado está aislado de la costa por el albardón sobre el que se asienta el municipio de Berisso. Desde ese punto salen las aguas del bañado de su caudal, en épocas de creci-

das, o posibilita la entrada de agua del Río de La Plata cuando sube su marea. En esta zona se halla el monte costero, en donde se asientan pocos habitantes que realizan actividades de producción de madera, vid americana, caña, mimbre, miel, frutas y algunas hortalizas, reconocido como zona de quintas.

En la margen sur del arroyo Santo Domingo se encuentra asentado el Centro de Disposición Final Villa Domínico, que operó entre los años 1978 - 2000, habiéndose rellenado gran parte de su superficie, restan unas 227 ha de humedal ribereño que han sido conservadas. Las cuencas de los arroyos Pereyra, Rodríguez, El Gato, Maldonado y El Pescado, forman parte de la vertiente que desaguan también en la Planicie Costera con formación de bañados que entre los 5 msnm y la costa del Río de la Plata tienen pendiente mínima (por debajo de 0,03 % aproximadamente).

La cuenca del Arroyo Pereyra atraviesa el Parque Pereyra Iraola, declarado en el año 2007 por el Programa Mab UNESCO, Reserva de la Biosfera.

En la región sur se encuentran áreas de humedales, como es el caso de los montes ribereños ubicados en el Delta del Río Santiago (Berisso-Ensenada), con sus arroyos; la selva marginal Punta Lara, ubicada entre los municipios de Ensenada y Berazategui; la Laguna Los Patos (Punta Lara); los bañados (Berisso-Ensenada); sectores del Arroyo El Pescado (La Plata-Berisso) y el frente costero Punta Lara-Berisso.

Con la finalidad de evaluar la calidad de las aguas de los arroyos mencionados, se hicieron campañas de monitoreo para recabar información que permitiera cuantificar su estado sanitario mediante el empleo de Índices de Calidad de Agua (ICA). Se decidió usar el ICA de la National Sanitation Foundation que permitió estimar la evolución temporal y ampliar la base de datos generada en sucesivas etapas de investigación que tuvieron inicio en el año 2010.

Los resultados obtenidos mostraron que, al igual que en estudios anteriores, los arroyos Sarandí y Santo Domingo mantuvieron



*Ubicación de los puntos de muestreo (elaboración propia)*

Orden	Arroyo	Latitud	Longitud
1	Sarandí	-3.457.288	-5.833.319
2	Santo Domingo	-3.468.132	-5.831.597
3	Giménez	-3.473.316	-5.822.175
4	Las Conchitas	3.477.189	-5.816.635
5	Baldovinos	-3.480.233	-5.812.507
6	Pereyra	-3.481.944	-5.810.473
7	Rodríguez	-3.486.037	-5.802.126
8	Rodríguez (canal Villa Elisa)	-3.481.645	-5.797.421
9	El Gato	-3.487.334	-5.797.629
10	El Gato	-3.484.195	-5.793.498
11	Maldonado (canal 66)	-3.489.094	-5.787.179
12	Maldonado	-3.487.257	-5.782.922
13	El Pescado	-3.492.836	-5.775.922

### *Georreferenciación de los puntos de muestreo*

sus clasificaciones de calidad de agua “muy mala” y “mala”. Para el resto de los arroyos, seis obtuvieron clasificaciones de calidad “mala” en la mayoría de los monitoreos y sólo los arroyos Pereyra y El Pescado clasificaron con calidad “media” (Coppo, 2020). En relación con la contaminación bacteriana se concluye que, de los diez arroyos evaluados, el arroyo Sarandí es el más contaminado con valores de E.Coli del orden 106 UFC (Unidades Formadoras de Colonias) y que el arroyo Baldovinos es el de menor carga bacteriana (102 UFC). Se destaca que en el 90% de los arroyos analizados los valores de E. Coli están por encima de las referencias de uso sugeridas por la normativa vigente.

De los valores obtenidos de los Índices de Calidad del Agua, podemos inferir que las aguas de los arroyos se hallan en un grave deterioro ambiental cuyo padecimiento se ve traducido en la calidad de vida de la población y por ende en su salud.

Los datos informados por ONU (2023) para el período 2017-2020 indican que el 60 % de las masas de agua evaluadas en 97 países tenían una buena calidad del agua del medio ambiente. Sin embargo, ONU no informa la calidad del agua dulce.

La agricultura, la actividad industrial y las aguas residuales no tratadas son las prin-

cipales amenazas para la calidad del agua dulce. Se requieren mayores esfuerzos para mejorar las prácticas agrícolas y el tratamiento de las aguas residuales, sobre todo en las regiones con un elevado crecimiento demográfico. La problemática salud-ambiente-desarrollo sostenible constituye el eje que permite acceder al bienestar general de la población (ONU, 2023). Razón por la cual es imprescindible prestar atención al estado sanitario de las aguas de los arroyos de la Cuenca Sur, que comparten territorio con la población de los municipios costeros desde CABA hasta la ciudad de La Plata dado que la calidad de sus aguas impactan en la salud individual y colectiva de los habitantes de la zona. Sólo a partir de este conocimiento se lograrán soluciones de saneamiento apropiadas que preserven al mismo tiempo el equilibrio entre el sistema natural, social y técnico.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Coppo, G.; Speltini, C.; Idarraga, J. (2020) Evaluación mediante índice de calidad de aguas de arroyos de "Cuenca de la zona sur" de la provincia de Buenos Aires VII Proimca - Contaminación Atmosférica e Hídrica en Argentina Tomo V: Contribuciones del VII Congreso PROIMCA y V Congreso PRODECA Ciudad Autónoma de Buenos Aires : edUTecNe, 2020. Libro digital, PDF, Archivo Digital: descarga y online; ISBN 978-987-4998-41-5

Meliton, L.: Speltini, C; Fernandez, F.; Mayer, F. (2019) Contaminación con Escherichia Coli en arroyos que desaguan al Río de La Plata 7mo Congreso de Ciencias Ambientales- COPIME 2019- octubre 2019; ISSN 2346-9005

Naciones Unidas (2023) Informe de los objetivos de desarrollo sostenible 2023 Edición Especial Un plan de rescate para las personas y el planeta.

Speltini, C., Naser, M.C., Coppo, G., Machalec, J., Capato, N., Devescovi, M.P., Sánchez, C., Alonso, A., Flamini, L. (2012) Diagnóstico ambiental del arroyo Sarandí (Buenos Aires, R. Argentina) en Aguas, suelos y vegetación en cuencas iberoamericanas, Red iberoamericana de Física y Química Ambiental. Salamanca, España. 2012. I.S.B.N.: 978-84-937437-4-1, pp 277 a 294.





*Cauce a cielo abierto arroyo Sarandí*



*Descarga de efluentes industriales en el arroyo Las Conchitas*



*Selva en galería, zona entre los arroyos Sarandí y Santo Domingo*

---

# NUESTROS ACADÉMICOS: NOTICIAS DESTACADAS

# AULA DR. ING. RAÚL LOPARDO

## DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA — FI-UNLP

Se inauguró en el Departamento de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata, un aula que lleva el nombre del ingeniero Raúl Lopardo, quien es Miembro Titular de la Academia de la Ingeniería de la Provincia de Buenos Aires, de la Academia Nacional de Ingeniería y de la Academia Nacional de Ciencias Exactas Físicas y Naturales

El pasado 26 de septiembre de 2023, el Departamento de Hidráulica distinguió al ingeniero Raúl Lopardo bautizando un aula con su nombre, reconociendo con ello su destacada trayectoria como investigador y referente de la Ingeniería Hidráulica en el país. El Ing. Lopardo recibió con gran sorpresa este acto en el cual participaron representantes de docentes, estudiantes, no docentes, familiares, amigos y autoridades de la Facultad de Ingeniería.

La ceremonia fue encabezada por el director de la carrera Ingeniería Hidráulica, Ing. Sergio Liscia quien aseguró que Lopardo “produjo un cambio en la enseñanza de la Hidráulica hace unos 40 años. Modernizó las materias, le incorporó la historia, cambio los enfoques, la metodología. Mostró nuevos caminos que, aun siendo alumnos, podíamos participar y generar investigaciones. También nos estimuló a participar en congresos y reuniones científicas”.

Liscia señaló, además, que su trayectoria le valió numerosos reconocimientos nacionales e internacionales. “Fue uno de los pioneros en la transformación de la carrera de Hidráulica para llevarla a un nuevo estadio, que luego continuaron profesores como Julio De Lio, Fernando Zárate, Felipe Borreli y otros”.

“Fue una generación de docentes que le dio a la carrera una inserción nacional e internacional a nuestros egresados, a nuestros

investigadores. Un ejemplo notable es el Dr. Fabián Bombardelli quien, además, ha realizado una importante donación para la concreción de esta aula especial”, manifestó el director de la carrera.

Acto seguido, el Ing. Sergio Liscia hizo entrega de las llaves del aula al Dr. Ing. Raúl Lopardo.

Lopardo, que es ingeniero Hidráulico y Civil egresado de la UNLP, recibió las felicitaciones del decano de la Facultad de Ingeniería, Marcos Actis y del vicedecano Eduardo Williams, además de todos los presentes.

“Para mí es una gran alegría tener un reconocimiento porque, la verdad, es que uno no hace el trabajo para tenerlo. Simplemente, es muy agradable recibirlo y yo se los agradezco mucho”, expresó el profesor.

**Más información:** <https://ing.unlp.edu.ar/se-inauguro-en-hidraulica-un-aula-que-lleva-el-nombre-del-ingeniero-raul-lopardo/>









## DRA. ING. NOEMÍ ZARITZKY- PREMIO KONEX PLATINO 2023- CIENCIAS AGRARIAS Y DE LOS ALIMENTOS.

La Dra. Ing. Noemí Zaritzky Miembro Titular de la Academia de la Ingeniería de la Provincia de Buenos Aires (AcaIngPBA), de la Academia Nacional de Ingeniería (ANI); de la Academia de Ciencias Exactas Física y Naturales (ANCEFN) y de la Academia Mundial de Ciencias TWAS., profesora Emérita de la Facultad de Ingeniería de la UNLP, recibió el premio Konex de Platino en la disciplina Ciencias Agrarias y de los Alimentos. Es una de las personalidades seleccionadas por el Gran Jurado de los "Premios Konex 2023: Ciencia y Tecnología", por ostentar la trayectoria más significativa de la última década (2013-2022).

La ceremonia de premiación, donde también se entregaron los premios Konex de Brillante y otras menciones, fue encabezada por el Sr. Ministro de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Nación Argentina, Lic. Daniel Filmus y por el presidente de la Fundación Konex, Luis Ovsejevich. La misma se desarrolló el pasado 31 de octubre, en el C3-Centro Cultural de la Ciencia (Godoy Cruz 2270, CABA).

Zaritzky es Ingeniera Química (UNLP), doctora en Ciencias Químicas (UBA) e investigadora Superior del CONICET, el Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos (CIDCA-UNLP-CONICET-CIC), donde además se desempeñó como directora en el periodo 2003-2016.

Entre sus múltiples galardones, recibió el Premio Bernardo Houssay a la Trayectoria 2015 correspondiente al área Ingenierías, Arquitectura, Informática del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación (MINCyT). Y fue reconocida con la Distinción Investigador de la Nación Argentina, galardón con el que el MINCyT destaca las contribuciones de los científicos a la producción de nuevos conocimientos y

el impacto social y productivo de sus innovaciones tecnológicas, además del trabajo de formación de recursos humanos.

En el 2021, Zaritzky recibió el Premio Ada Byron a la Mujer Tecnóloga de Argentina, galardón que distingue a mujeres con trayectoria en las áreas tecnológicas e ingenierías y de otros campos científicos relacionados con la tecnología.

Cuenta con 267 publicaciones internacionales, 51 capítulos de libro, 7 patentes nacionales, 75 trabajos de transferencia, y convenios y proyectos de innovación con la industria. Profesora e Investigadora Invitada en Wisconsin University (EE.UU.), Universidad Londrina (Brasil) e ICTAN (España). Dirigió y codirigió 36 tesis doctorales.

Este año fue presidenta del Comité Científico del 11 World Congress of Chemical Engineering, que se realizó en Argentina.

**Más información:** <https://www.fundacionkonex.org/premios2023-ciencia-y-tecnologia>





# OPORTUNIDAD DE UTILIZAR LAS OLAS DEL MAR PARA GENERAR ENERGÍA LIMPIA. APORTES DESDE EL INSTITUTO LEICI

MOSQUERA, F.D.; EVANGELISTA, C.A.; PULESTON, P.F.

GRUPO DE ESTRATEGIAS DE CONTROL Y ELECTRÓNICA DE POTENCIA (GECEP) DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y PROCESAMIENTO DE SEÑALES (LEICI), FACULTAD DE INGENIERÍA, UNLP-CONICET





## INTRODUCCIÓN

Es difícil hablar sobre energía sin relacionarla de manera social o política con la humanidad. La energía es la moneda de la vida: es el medio de intercambio para todas las actividades. Cada proceso natural y cada acción humana es, en su forma más fundamental, una transformación de energía. En la vida en sociedad, la energía se utiliza principalmente para tres funciones: trabajo, calor e iluminación. En esencia, el sistema energético comprende los modos en los que una sociedad se organiza para obtener la energía de su entorno y distribuirla para hacer todo lo que hace. Una forma simple de comprender este concepto es comparar el sistema energético de una sociedad con la dieta de una persona, cuyo metabolismo desempeña un papel fundamental en el intercambio de materia y de energía con el entorno [1].

Desde este concepto, hoy en día la sociedad se encuentra en problemas: lo que está ingiriendo le hace mucho daño. La dieta de la sociedad moderna se basa casi por completo en una abundante ingesta de combustibles fósiles, lo cual moldea la civilización y, al mismo tiempo, la pone en peligro. Debido a los niveles de consumo energético y material que sostiene la civilización global se están generando presiones en el sistema planetario que lo están llevando a alcanzar puntos de colapso. La prescripción es clara: es necesario cambiar la dieta hacia fuentes de energía bajas en emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) antes de que sea demasiado tarde. Sin embargo, no se trata de una tarea sencilla, si bien se han introducido modificaciones en la manera en que se producía y consumía energía anteriormente, jamás el cambio ha tenido las características requeridas en la actualidad.

La historia evolutiva de la humanidad estuvo regida por cambios energéticos, también conocidos como transiciones energéticas, que desembocaron en la conformación de las distintas eras. A lo largo de la historia pueden identificarse tres grandes regímenes socio-metabólicos: el cazador-recolector, el

agrario y el industrial.

El régimen cazador-recolector ha sido el predominante a lo largo de la historia. Durante el 95 % del tiempo de existencia de la humanidad<sup>1</sup>, la especie ha dependido principalmente de la caza, la pesca y la recolección de alimentos, así como de la obtención de madera para calefacción y cocción. La vida giraba en torno de la energía solar que se utilizaba en forma pasiva, consumiendo únicamente lo que el sol ya había transformado. El tamaño de la población quedaba restringido en función de la energía disponible en forma de alimento en los alrededores.

Este modo de organización social cambió profundamente cuando, alrededor del año 10.000 a.C., en distintas partes del mundo las personas comenzaron a transformar su entorno para agrandar la porción de tierra destinada a la alimentación, es decir, cuando comenzaron a practicar la agricultura. La agricultura es la mejora de la captación social de energía solar del entorno para su uso humano mediante la promoción de unas pocas especies vegetales en detrimento del resto. En otras palabras, la agricultura hace un uso activo de la energía solar. Esto generó un reemplazo de la vegetación natural para producir alimento, y modificó la necesidad de salir a buscarlo. Esta es la primera gran transición energética de la humanidad. Sin embargo, empezar a producir por encima de las necesidades inmediatas provocó una serie de cambios irreversibles en cascada. El incremento de los excedentes energéticos generados por una gran masa de agricultores permitió que otra porción de la población comenzara a especializarse en una rama cada vez más diversa de actividades, lo que aumentó la trama de intercambios y la cantidad de roles sociales existentes. De esta manera, se crearon las primeras ciudades. La especialización derivó en innovaciones tecnológicas que mejoraron la productividad, lo que incrementó aún más el excedente energético. Esto provocó un crecimiento en la población que comenzó a aportar mayor fuerza de trabajo iniciando

<sup>1</sup> Los homo-sapiens-sapiens, los humanos con características anatómicas modernas, aparecieron en algún momento hace entre 300.000 y 200.000 años.

una realimentación positiva. Este proceso ha sido una constante a lo largo de la evolución y expansión de la especie humana. Más energía. Más complejidad. Más energía.

La última gran transición energética comenzó a finales del siglo XVIII, en Inglaterra, con el desarrollo de la máquina de vapor y toda la infraestructura tecnológica necesaria para explotar una fuente de energía más poderosa que los músculos y la madera: el carbón mineral. En ese momento empezó la explotación de los combustibles fósiles como fuente de energía. La máquina de vapor diseñada por James Watt comenzó a comercializarse a gran escala y los combustibles fósiles fueron reemplazando a los alimentos como fuente energética dominante en el metabolismo social, que comenzó a motorizarse por máquinas en vez de por músculos animales y humanos. La industrialización y el uso masivo de energía marcó un punto de muy difícil retorno. Una vez asentado el modo de vida urbano, con sus dinámicas de consumo dependiente de los combustibles fósiles, lograr modificar ese consumo requiere de grandes cambios civilizatorios [1].

El resto de la energía que alimenta a la sociedad se nutre de fuentes no fósiles, que pueden ser llamadas alternativas. Dentro de estas fuentes encuentran la energía hidroeléctrica, la eólica o la nuclear, por nombrar algunas. Si, además, estas fuentes se regeneran de forma natural y se pueden usar indefinidamente sin que se agoten (como la solar o la eólica), pueden ser llamadas renovables. Al año 2021, la más importante de las fuentes alternativas de energía a nivel mundial es la hidroeléctrica (7 %), seguida por la nuclear (4 %) y, luego, la eólica (3 %). La solar, los biocombustibles y otras fuentes de energía renovable suman el resto.

## **Descarbonización**

A diferencia de las transiciones del pasado, que surgieron como resultado de las nuevas tecnologías o el descubrimiento de recursos, la transición actual es consciente. Hoy

se reconoce la necesidad de dejar atrás el paradigma de los combustibles fósiles para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, dado el estrecho vínculo entre el régimen energético y la cultura de una sociedad, la transición energética va más allá de simples transformaciones tecnológicas e implica cambios en las esferas socioculturales.

En tal sentido, la descarbonización es un proceso que tiene como objetivo alcanzar la neutralidad de carbono para el año 2050-2070 [2]. La propuesta principal para reemplazar los combustibles fósiles es electrificar la mayoría de los procesos y asegurarse de que la electricidad provenga de fuentes con bajas emisiones de GEI, al mismo tiempo que se busca ahorrar energía siempre que sea posible. En aquellos casos en los que no sea factible la electrificación, será necesario recurrir a otras alternativas tecnológicas, como la captura de carbono, las bioenergías, los combustibles sintéticos o el uso de gases como el hidrógeno.

Debido a que algunas fuentes renovables, como la solar y la eólica, fundamentales en esta transición hacia la descarbonización, son intermitentes y no fácilmente almacenables a gran escala, una opción para migrar hacia una generación con mayor penetración de renovables es buscar más alternativas en las posibles fuentes de generación de energía. Por este motivo, hace varios años que los investigadores comenzaron a buscar opciones de extracción de energía en el océano.

## **MIRANDO AL MAR**

Entre las fuentes de energía renovables disponibles, la energía renovable del océano, cuando sea económicamente viable, realizará una notable contribución hacia una matriz energética sostenible, global y variada. En particular, las olas del océano representan una fuente masiva de energía limpia: el recurso undimotriz ha sido estimado (mundialmente) en alrededor de 3.7 [TW] y 32000 [TWh/año], energía que puede cubrir alrede-

dor del 20 % de la demanda mundial actual. A pesar de ser un recurso prometedor, la conversión de la energía de las olas en energía eléctrica todavía no ha alcanzado una etapa de comercialización. La razón principal para esta falta de proliferación de la energía de las olas puede ser atribuida al hecho de que capturar de manera eficiente el movimiento irregular de las olas en el mar no es tan simple. Lo que resulta en la ausencia de una tecnología dominante en el rubro, relacionado con la existencia de cientos de conceptos y de patentes propuestos a lo largo de los años.

Aunque exista una gran diversidad en las iniciativas de convertidores de energías de olas (WEC, por sus siglas en inglés), todos ellos tienen un objetivo común y fundamental: la conversión de energía tiene que realizarse de la manera más económica posible, tratando de minimizar el despacho en el costo de energía, mientras se mantiene la integridad estructural del dispositivo, minimizando la cantidad de equipamiento sobre el WEC, y que opere de manera efectiva para un amplio rango de condiciones climáticas del mar.

En este sentido, la operación del dispositivo puede ser mejorada utilizando algoritmos matemáticos que determinan cómo debe modificarse el comportamiento del sistema. Esta modificación se logra a partir de realizar mediciones de algunos parámetros y aplicar acciones de corrección sobre el equipo. De esta manera, los algoritmos matemáticos junto con el objetivo que se desea alcanzar conforman, en el ámbito de la ingeniería de control, a las estrategias de control. Estos algoritmos, en conjunto con el estudio de materiales adecuados para el entorno marino, la búsqueda de nuevos diseños de máquinas eléctricas, el ensayo a gran escala de dispositivos y el desarrollo de los llamados arreglos de WEC (o granjas) —que efectivamente incorporan una gran cantidad de equipos en un área común del mar—, constituyen aportes clave hacia una comercialización exitosa de la tecnología de los WEC.

## Oportunidades para la energía undimotriz

Como se mencionó anteriormente, el principal objetivo en el desarrollo de las tecnologías de generación undimotriz está enfocado en la generación de electricidad a gran escala. Por una parte, la energía undimotriz puede ser utilizada como fuente complementaria en la instalación de granjas de generación eólica offshore, y la combinación de eólica con undimotriz puede provocar una sinergia que favorezca a ambas tecnologías desde el punto de vista legislativo y técnico. Por otra parte, en la actualidad hay una gran variedad de nichos de mercado en los que es posible, interesante o deseable el uso de energía undimotriz.

Hasta el momento, el único caso de comercialización exitosa de la tecnología WEC es una boya de navegación basada en tecnología de columna de agua oscilante. Este caso es una de las oportunidades de nicho que tiene la energía undimotriz. Desde la década pasada, muchos países han establecido estrategias regionales o nacionales para desarrollar su «economía azul»<sup>2</sup>. Por lo tanto, las aplicaciones basadas en el océano —como la observación del océano, la desalinización y la acuicultura— están creciendo y requieren un suministro de energía económico y limpio. La energía de las olas puede satisfacer estas demandas energéticas para impulsar la economía azul, en la que las fuentes de energía alternativas (especialmente las convencionales) pueden resultar prohibitivamente costosas debido a la ubicación relativamente remota del punto de consumo.

Los nichos de mercado para la energía undimotriz relacionados con el océano incluyen: navegación y observación del océano, protección costera, desalinización, pequeñas redes aisladas para islas, acuicultura marina, plataformas offshore multifunción y otras aplicaciones como, por ejemplo, carga de vehículos autónomos marinos, la recuperación y la resiliencia ante desastres, la extracción de agua de mar y el cultivo de algas marinas [3].

<sup>2</sup>La economía azul se refiere a una estrategia de desarrollo sostenible que busca aprovechar de manera responsable los recursos y los servicios ofrecidos por los océanos y los ecosistemas costeros. Se centra en la promoción de actividades económicas y empresariales que sean respetuosas con el medio ambiente marino, al tiempo que generen beneficios socioeconómicos para las comunidades locales. La economía azul abarca sectores como la acuicultura, el turismo costero, la energía renovable marina, la biotecnología marina y la gestión sostenible de los recursos marinos.

En comparación con el mercado de generación eléctrica, la capacidad nominal necesaria para los nichos de mercado es mucho más pequeña, oscilando entre varios Watts y cientos de kW. Esta capacidad relativamente pequeña puede funcionar en dimensiones geométricas reducidas, lo que a su vez reduce el tiempo de desarrollo del dispositivo, los costos y los riesgos, lo que lo hace más atractivo para la inversión pública y privada. Los inversores potenciales provienen de dominios de aplicación financieramente seguros, lo que muestra un fuerte potencial para pasar de la fase de desarrollo a un éxito comercial. Además, se espera que el rápido crecimiento en las aplicaciones de nicho de mercado para la energía de las olas contribuya a los esfuerzos de desarrollo en el mercado de generación eléctrica, brindando experiencia en operación, mantenimiento y diseño de sistemas de conversión de energía de las olas.

## LA TRANSICIÓN ARGENTINA

Cualquier agenda de transición debe comenzar con un profundo análisis del punto de partida, que será singular para cada país según su geografía específica, sus capacidades tecnológicas, su posición geopolítica, sus valores culturales, su demografía y sus posibilidades económicas. Por eso es necesario tener en cuenta que cada país realizará una transición energética diferente.

Desde esta perspectiva, el punto de partida de la Argentina hacia la transición es mejor de lo que se suele pensar. El país cuenta con abundancia de fuentes energéticas y capacidades tecnológicas, científicas y productivas con un gran potencial por desarrollar. A pesar de estar dominada por hidrocarburos (en un 85 %), la matriz energética argentina genera menos emisiones que el promedio global por cada unidad de energía producida. Esto se debe al hecho de que, a diferencia del resto del mundo, donde el carbón tiene un importante predominio (entre el 25 % y el 30 % de la oferta primaria de energía), en la Argentina la incidencia del carbón en la matriz energética es casi nula y el combustible predominante es el gas (véase Figura 1). En muchos países, el gas es considerado un combustible de transición, ya que genera la mitad de GEI que el carbón por unidad de energía producida. Sin embargo, se debe prestar atención a las posibles fugas de metano que pueden aparecer desde su producción hasta en su consumo, puesto que el metano es un gas de efecto invernadero más peligroso que el dióxido de carbono.

Por su parte, las condiciones naturales de la Argentina dotan al país de fuentes renovables con los mejores rendimientos a nivel global [1]. Existen significativos recursos eólicos, fundamentalmente en la Patagonia y en gran parte de la provincia de Buenos Aires, buenas condiciones de radiación solar

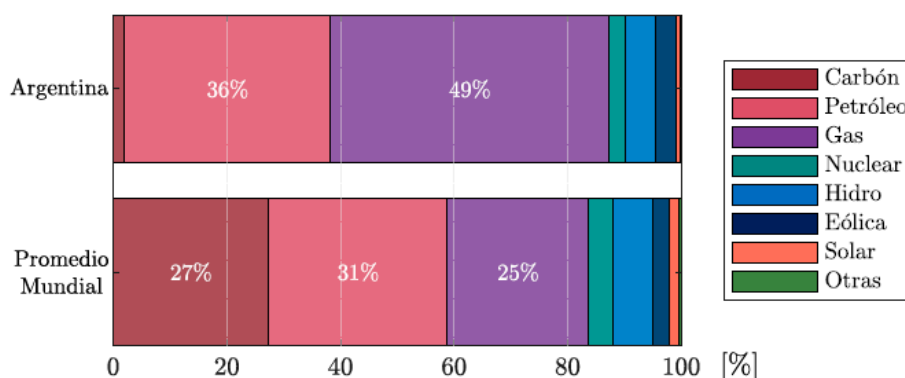


Figura 1: Consumo de energía primaria por fuente de energía en el año 2021.



en las regiones Noroeste y Cuyana, numerosos cursos de ríos para la construcción de pequeños aprovechamientos hidráulicos y recursos biomásicos producto de las actividades agro-ganadera y forestal.

En el informe titulado Lineamientos para un Plan de Transición Energética al 2030, del Ministerio de Economía de la Nación, se lleva a cabo una recopilación y un análisis de la legislación vigente que promueve la instalación de fuentes de energía renovable, como la Ley Nro. 271913, en 2015, y la Ley Nro. 274244, en 2017. Además, se destaca que los proveedores locales tienen la capacidad de suministrar los principales componentes de los futuros parques de energía. A partir de este análisis, se proponen seis objetivos de política energética para la transición, con el fin de caracterizar una matriz energética inclusiva, dinámica, estable, federal, soberana y ambientalmente sostenible. El informe también presenta dos escenarios energéticos posibles (véase Figura 2). En el primer escenario se prevé un aumento en la demanda de petróleo y gas natural, con una participación del 20 % de las energías renovables en la matriz eléctrica para el año 2030 (REN 20). En el segundo escenario, se espera un mayor uso de gas natural y una menor dependencia de petróleo, junto con una mayor participación de las energías renovables en la generación eléctrica, que alcance el 30 % (REN 30).

### ¿Es momento de estudiar la energía undimotriz?

La respuesta es un sí rotundo. Durante los períodos de transición entre paradigmas tecnológicos, los países semiperiféricos tienen una oportunidad única para reducir la brecha tecnológica al adoptar tecnologías que aún no han alcanzado todo su potencial y que tienen un largo camino por recorrer hasta su plena madurez. Por lo tanto, es fundamental incorporar una dimensión techno-productiva y fomentar la I+D de sistemas que todavía se encuentran en proceso de desarrollo en todo el mundo. De esta manera, la descarbonización de la matriz energética se convierte en un motor para el crecimiento económico en lugar de ser un receptor de importaciones que profundicen la dependencia tecnológica de los países centrales. Por ello, el desafío radica en construir la soberanía en el dominio de las tecnologías para su aprovechamiento pleno [1].

Los convertidores de energía undimotriz son una tecnología incipiente a nivel mundial, donde aún no se ha alcanzado la generación a escala comercial. La posibilidad de desarrollar desde el ámbito local esta tecnología se encuentra al alcance de la mano. Además, la Argentina cuenta con un enorme potencial para la inclusión de energía undimotriz, ya que cuenta con un litoral marítimo de 4725 km de longitud. En esta línea,

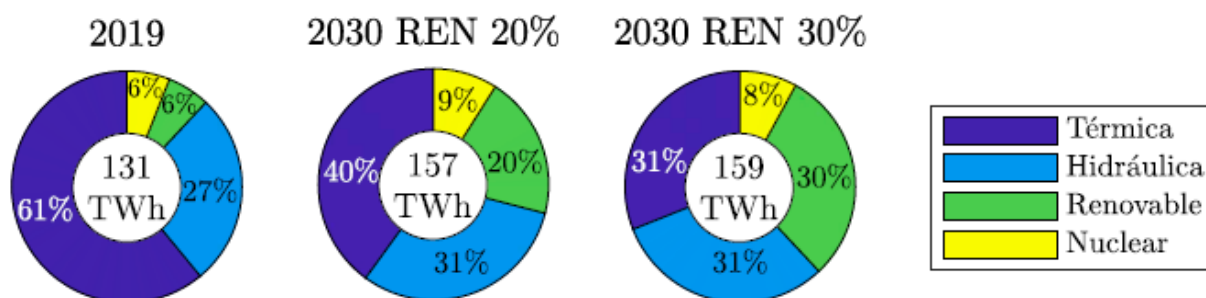


Figura 2: Propuesta de evolución para matriz energética en Lineamientos para un Plan de Transición Energética al 2030. La generación térmica se produce a partir del consumo de combustibles fósiles, y con generación hidráulica se refiere a proyectos >50MW de potencia instalada.

el informe Horizontes estratégicos para el mar argentino, de Pampa Azul<sup>5</sup>, de 2017, explicita las etapas necesarias para poner en marcha el desarrollo de sistemas que aprovechen la energía del mar. La primera etapa implica llevar a cabo estudios exhaustivos de los parámetros oceanográficos (como la intensidad y la dirección de vientos y olas, el flujo de corrientes, la altura de mareas y las variaciones de temperatura), los factores ambientales (como el impacto en los ecosistemas marinos) y los aspectos antropogénicos (como puertos y navegación), con el fin de seleccionar ubicaciones adecuadas para las instalaciones de generación.

En este sentido, el Grupo de Estrategias de Control y Electrónica de Potencia (GECEP), Instituto LEICI (UNLP - CONICET), es miembro fundador de la Red de Energías Marinas Argentinas (REMA). Esta red es una organización de universidades de todo el país que tiene como objetivo combinar esfuerzos para la difusión y el desarrollo de las energías marinas en la Argentina

## CONVERTIDORES DE ENERGÍA DE OLA

Los convertidores de energía de ola son los dispositivos encargados de capturar la ener-

gía transportada por las olas. Es importante destacar que la captura hidrodinámica de energía, la cual está relacionada con el diseño del dispositivo, es considerada como una conversión primaria. Posteriormente, es necesario convertir la energía capturada en energía eléctrica, proceso que se lleva a cabo a través del sistema de extracción de potencia y es considerado como una conversión secundaria. Esta sección se enfoca en describir la etapa de absorción en los dispositivos asociada a la conversión primaria [5]. Tal como ya se ha mencionado, existe una enorme variedad de dispositivos que han sido diseñados en los últimos 50 años [6]. Esta amplia variedad de diseños provoca la necesidad de clasificarlos para poder realizar su estudio de manera ordenada. Típicamente, se los clasifica en función de cómo trabajan (su principio de operación) y dónde trabajan (en la línea de costa, cerca de ella o en aguas profundas). El European Marine Energy Center, con sede en las islas de Orkney en Escocia, ha propuesto la siguiente descripción y clasificación del principio de funcionamiento de los WEC:

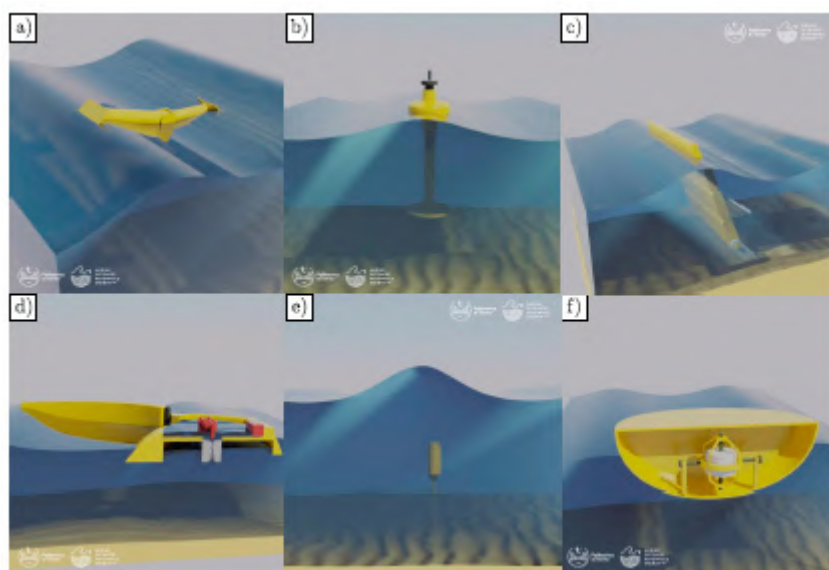


Figura 3: Convertidores de energía de ola. Wave Energy Converter technologies by Marine Offshore Renewable Energy (MOREnergy Lab), Politecnico di Torino is distributed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 License.

<sup>3</sup> Régimen de fomento nacional para el uso de fuentes renovables de energía destinada a la producción de energía eléctrica. Modificación.

<sup>4</sup> Régimen de fomento a la generación distribuida de energía renovable integrada a la red eléctrica pública.

<sup>5</sup> Pampa Azul es una iniciativa interministerial del Gobierno argentino que articula acciones de investigación científica, desarrollo tecnológico e innovación para proporcionar bases científicas a las políticas oceánicas nacionales, incluidos el fortalecimiento de la soberanía nacional sobre el mar y la conservación, así como el uso sostenible de los bienes marinos, junto con la creación y la gestión de áreas marinas protegidas.

**Atenuador:** Es un dispositivo flotante largo y fino, con su dimensión más larga alineada para que se encuentre paralela a la dirección de las olas. Típicamente, es una estructura articulada que parece una serpiente. Está compuesta por varias secciones que se doblan (o tuercen) cuando las olas pasan a través de ellas. Estos dispositivos extraen energía del movimiento relativo entre los cuerpos que lo componen, que se mueven en diferentes sentidos con el paso de la ola. Figura 3 a).

**Absorbedor puntual (boya):** Es una estructura flotante que absorbe energía en todas las direcciones a partir de sus movimientos sobre la superficie del agua. Convierte el movimiento relativo entre la boya superior y su base en energía eléctrica. Figura 3 b).

**Oscilador de empuje de ola:** Consiste en un módulo anclado en el fondo del mar que oscila empujado por las olas, su forma más común es la de una paleta. Al oscilar, acciona unos pistones hidráulicos, los cuales a su vez entregan el agua de mar presurizada a una unidad de transformación hidroeléctrica terrestre. Figura 3 c).

**Colector de ola:** Estos dispositivos capturan la energía de un frente de olas mediante un colector de olas, el cual se asemeja a una piletta, para mover una o varias turbinas hidráulicas de salto reducido denominadas turbinas Kaplan. Figura 3 d).

**Diferenciador de presión sumergido:** Estos dispositivos se ubican típicamente cerca de la costa y son fijados en el lecho marino. El movimiento de las olas causa que el nivel del mar se incremente y decaiga por encima del dispositivo, induciendo una presión diferencial en el mismo. Esta variación en la presión empuja el fluido a través de un sistema que genera electricidad. Figura 3 e).

**Masa rotante:** Este dispositivo utiliza dos formas de rotación para capturar energía a través del movimiento, la de oscilación y la

de flotación. Este movimiento se traslada a un peso excéntrico o a un giroscopio de precesión. En ambos casos, el movimiento está acoplado a un generador eléctrico dentro del dispositivo. Figura 3 f).

**Columna de agua oscilante:** Este es el dispositivo de conversión de energía de olas que ha recibido el mayor desarrollo colectivo a lo largo de los años [6]. Se trata de una cámara hueca, de hormigón o metal, que consta de un orificio por debajo del nivel medio de agua. El orificio permite que el agua encerrada dentro de la cámara se mueva hacia arriba o hacia abajo siguiendo el comportamiento de las olas, ese movimiento oscilatorio comprime y descomprime el aire encerrado, lo que genera un flujo de aire que luego mueve una turbina acoplada a una máquina eléctrica la cual genera electricidad. Para un esquema de este dispositivo, véase Figura 4.

## APORTES DEL INSTITUTO LEICI

En el GECEP, Instituto LEICI, se estudia la posibilidad de aprovechar la energía de las olas desde hace más de 6 años. En particular, el desarrollo del «grupo undimotriz» dentro de este instituto se basa en investigar los diferentes convertidores de energía de ola y proponer estrategias de control avanzado que mejoren su funcionamiento. Se debe tener en cuenta que, tal como se mencionó anteriormente, una estrategia de control automático es un algoritmo matemático que permite mejorar el funcionamiento del dispositivo controlado a partir la medición de algunas variables en él y de aplicar acciones para corregir su funcionamiento.

En esta sección se realiza un resumen de las principales pruebas experimentales realizadas por el GECEP en colaboración con otras universidades internacionales. La recopilación de estos aportes puede encontrarse en la tesis de doctorado del Dr. Facundo Mosquera [7].

En el caso específico de los sistemas de energía undimotriz, la realización de prue-

bas experimentales en un ambiente controlado es esencial para validar el rendimiento de los algoritmos de control en diferentes escenarios y condiciones. Además, las pruebas experimentales permiten identificar y solucionar posibles problemas de seguridad y estabilidad del sistema antes de su implementación a gran escala.

En este sentido, la realización de pruebas experimentales en un hardware-in-the-loop (HiL) y en un tanque de olas proporciona un entorno controlado que permite evaluar el comportamiento del sistema en situaciones específicas y detectar posibles fallas y mejoras necesarias. Por un lado, el HiL emula —por software— las condiciones del mar y permite evaluar el rendimiento del sistema en diferentes escenarios simulados de oleaje. Por otro lado, en el tanque de olas se pueden recrear situaciones específicas para evaluar el comportamiento del sistema ante diferentes niveles de oleaje en una representación escalada de la real.

Además, los resultados experimentales permiten ajustar los parámetros del algoritmo de control en función de las características específicas del sistema y mejorar su eficacia y eficiencia. De esta manera, se logra maximizar la cantidad de energía generada

y minimizar los costos de producción, lo que es crucial para el éxito y viabilidad de los sistemas de energía undimotriz.

### Experimentos en emuladores

Desde el Instituto LEICI se ha logrado participar en experiencias de emulación de algunos de los convertidores de energía de ola mencionados en la Sección 4, en donde se han ensayado estrategias de control avanzado para sistemas complejos.

Por un lado, se ha trabajado sobre un emulador de un convertidor del tipo oscilador de empuje de ola (véase Figura 5), el cual está emplazado en el Centro de Investigaciones para la Energía Offshore (COER, en inglés), en la Universidad de Maynooth, Irlanda, grupo de trabajo con el que el GECEP, Instituto LEICI, se encuentra colaborando desde hace 4 años. El uso de hardware-in-the-loop para ensayar algoritmos de control presenta numerosas ventajas en comparación con otros métodos de simulación. El HiL proporciona un entorno de prueba más realista, ya que simula de manera precisa las condiciones de la parte del sistema real que se encuentra físicamente construida y esto permite evaluar el rendimiento del algoritmo de control

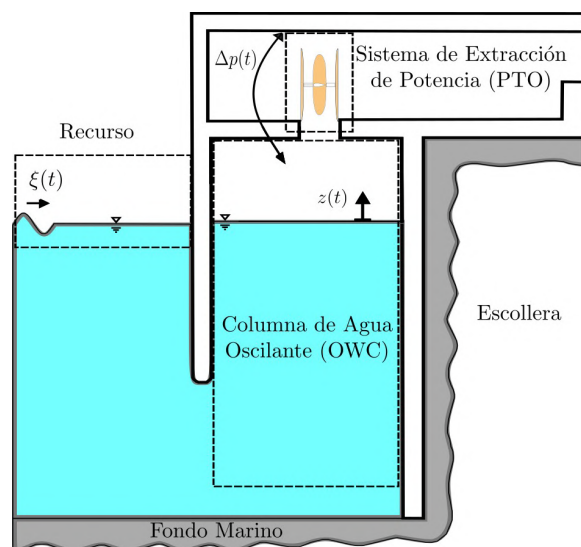


Figura 4: Convertidor basado en columna de agua oscilante



en condiciones más cercanas a las que se encontraría en la vida real. Por otro lado, para el dispositivo de columna de agua oscilante se está trabajando sobre un emulador montado dentro del Instituto

LEICI (véase Figura 6). Sobre este sistema se aplicarán estrategias de maximización de la extracción de energía de este dispositivo con algoritmos de control adaptativos.

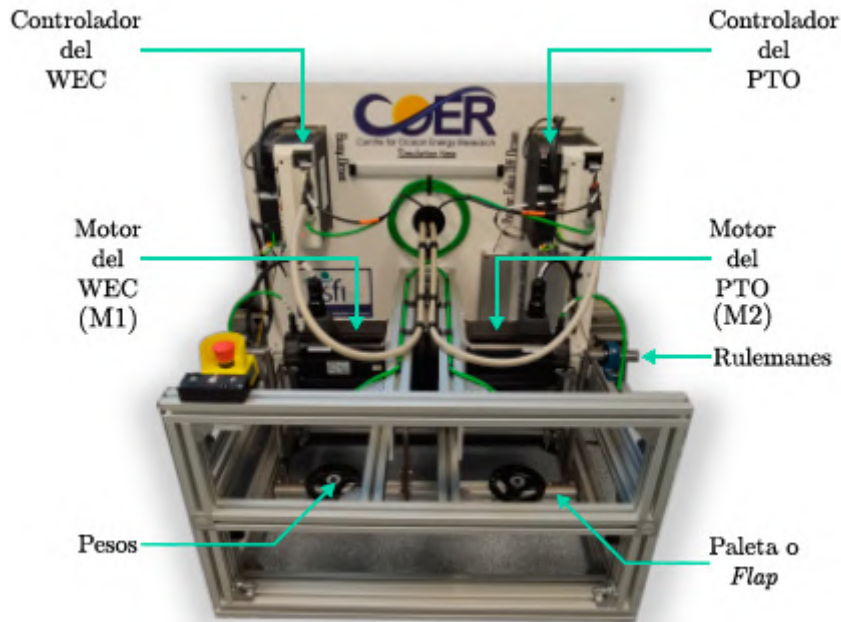


Figura 5: Emulador del WEC tipo oscilador de empuje de ola. Propiedad del COER, en la Universidad de Maynooth, Irlanda.

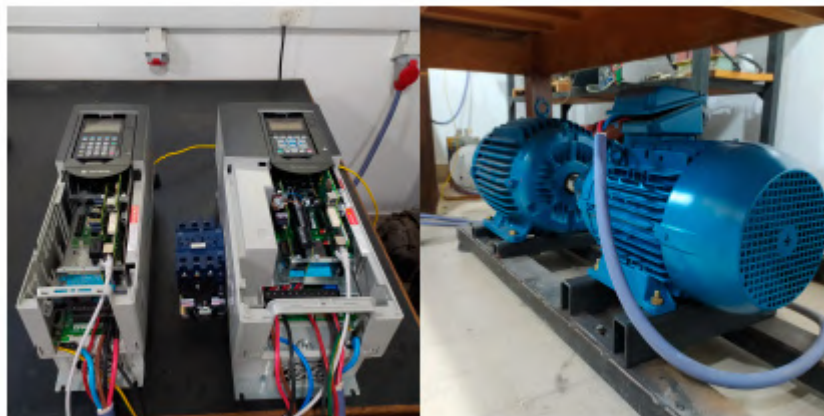


Figura 6: Banco de pruebas que podrá ser utilizado para emular un WEC tipo columna de agua oscilante en el Instituto LEICI.

## Experimentos en tanques de olas

Por último, se llevaron a cabo experimentos en un tanque de olas en las instalaciones del Ocean and Coastal Engineering Laboratory en la Universidad de Aalborg, en Aalborg, Dinamarca (véase Figura 7).

Durante esta serie de experimentos, el GECEP, Instituto LEICI, participó de la primera campaña experimental realizada para recopilar y brindar de manera abierta datos sobre diferentes arreglos de convertidores de energía de ola [8].

La posibilidad de ensayar estos dispositivos de esta manera permite validar las estrategias de control avanzado para sistemas complejos que se plantean en el Instituto LEICI. Además de fortalecer las colaboraciones internacionales que este grupo ha comenzado a forjar desde el 2022, como lo es su relación con el laboratorio Marine Offshore Renewable Energy, del Politécnico de Torino, en Italia.

## CONCLUSIONES

La extracción de energía de las olas es una alternativa prometedora para diversificar la matriz energética actual. Desde el GECEP, Instituto LEICI, se han hecho diferentes propuestas en este sentido, con el objetivo de mejorar el rendimiento de los dispositivos que extraen esa energía. Sin embargo, todavía queda un gran desarrollo por delante para que estos equipos alcancen la madurez comercial y logren aportar energía de manera significativa en la red eléctrica. Es por esto que es de gran importancia el fomento y el desarrollo de las redes de trabajo, como la Red de Energías Marinas Argentina, para lograr alcanzar la soberanía en la producción tecnológica de este tipo de sistemas de extracción de energía.



*Figura 7: Una de las configuraciones posibles de arreglos de convertidores de energía de ola tipo absorbedor puntual, ensayada en el tanque de olas de la Universidad de Aalborg, Dinamarca.*

## REFERENCIAS

- [1] J. Arroyo, "Energía," en *Clima: el desafío de diseño más grande de todos los tiempos*, T. Marchini, ed., el gato y la caja, 2022, cap. 4, págs. 179-259.
- [2] S. Bouckaert y colaboradores, "Net Zero by 2050," International Energy Agency, Paris, inf. téc. 4, 2021.
- [3] A. Brito e Melo, H. Jeffrey e Y.-H. De Roec, "Blue Economy and its Promising Markets for Ocean Energy," International Energy Agency, 2020. dirección: <https://shorturl.at/emoW6>.
- [4] Red de Energías Marinas Argentinas, <https://www.redenergiasmarinas.ar/rema-principal>, Visitado: 25-09-2023.
- [5] U. A. Korde y J. V. Ringwood, *Hydrodynamic Control of Wave Energy Devices*. Cambridge: Cambridge U. Press, 2016.
- [6] J. Cruz, *Ocean wave energy: current status and future perspectives*. Springer Science & Business Media, 2008.
- [7] F. D. Mosquera, "Desarrollo de estrategias de control avanzado para sistemas de extracción de energía undimotriz," Tesis de Doctorado, Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de La Plata, 2023.
- [8] N. Faedo, Y. Peña-Sanchez, E. Pasta, G. Papini, F. D. Mosquera y F. Ferri, "SWELL: An open- access experimental dataset for arrays of wave energy conversion systems," *Renewable Energy*, 2023.

# SISTEMA SATELITAL DE COLECTA DE DATOS AMBIENTALES (DCS)

ADRIÁN CARLOTTO, JOSÉ MARÍA JUÁREZ

UIDET GRIDCOMD: GRUPO DE INVESTIGACIÓN  
Y DESARROLLO EN COMUNICACIONES DIGITALES  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA





## INTRODUCCIÓN

Los sistemas satelitales de recolección de datos (DCS, Data Collection System), adquieren datos provenientes de plataformas autónomas (DCP, Data Collection Platforms) que transmiten a un satélite geoestacionario (GEO) o a un satélite de órbita baja (LEO) que pasa cerca de su ubicación periódicamente. Si el receptor de los datos transmitidos desde las DCP forma parte de la carga útil de un satélite LEO de órbita polar, entonces se tiene cobertura global.

Las DCP pueden estar ubicadas en la superficie terrestre, en animales, sobre boyas fijas y móviles en los océanos, en globos en la atmósfera. En general, se ubican en lugares remotos de difícil acceso y que, a menudo, no cuentan con servicios de comunicaciones de datos comerciales alternativos (Figura 1). Los datos recolectados contienen la información de los parámetros ambientales que se deseen conocer; en particular, referidos a la condición local del agua: precipitaciones, nivel, y caudal de ríos, altura de napas, y cualquier parámetro ambiental y meteorológico.

A nivel global conviven diferentes sistemas DCS satelitales. Es así como, por ejemplo, el NOAA GOES Data Collection System es un

sistema implementado por la NOAA de los EEUU, basado en satélites GEO a una altura de aproximadamente 36000km, en el plano del ecuador terrestre. Por otro lado, instrumentado por la agencia espacial francesa (CNES), la NASA y la NOAA de los EEUU opera el sistema Argos, basado en satélites LEO. En Latinoamérica, el sistema SCD (Sistema Coleta Dados) implementado por el INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) de Brasil, es utilizado a nivel del país. Los satélites de órbita baja operan a una altura de aproximadamente 700km. Cada uno de los sistemas DCS mencionados poseen sus propias características y prestaciones. En estos últimos años, asistimos a un cambio de paradigma respecto a los sistemas de telecomunicaciones satelitales. En un principio, estos se basaban en satélites geoestacionarios debido a la disponibilidad permanente del enlace. Actualmente, con el auge de grandes constelaciones de satélites LEO de pequeño porte, se brinda servicio sin interrupciones, debido a que siempre habrá un satélite disponible en vista del usuario. Las ventajas que esto implica incluyen una menor distancia a cubrir y, por lo tanto, será necesaria una menor potencia en la transmisión. Por la misma causa, el retardo entre transmisión y recepción será menor.



Figura 1 – Distintos componentes de los sistemas DCS satelitales (fuente: Argos, CONAE)

Teniendo en cuenta esto último, en lo que sigue nos centraremos en los sistemas satelitales de recolección de datos, basados en satélites LEO.

Dado que las DCP son autónomas y se ubican en lugares remotos y de difícil acceso, los requerimientos de consumo de energía son restrictivos. Esto resultará en que puedan ser alimentadas desde una batería asociada a un pequeño panel solar. Las plataformas “susurran” (transmiten con muy baja potencia) y el “oído” (receptor) que las “escucha” en los satélites es extremadamente sensible.

Los sistemas DCS satelitales se componen de tres segmentos: el espacial, el terrestre y el segmento de usuario. Al primero lo conforman todos los instrumentos pertenecientes al sistema, que forman parte de la carga útil de los satélites. El segmento terrestre consiste en las facilidades para la recepción de la bajada desde los satélites y la puesta a disposición de los datos a los usuarios de ciencia. Las Estaciones Terrenas del sistema realizan la recepción, validación y la puesta en línea de los datos recolectados desde las plataformas. Éstos son guardados en memoria del satélite hasta su bajada. En Argentina, se utilizan las estaciones en el Centro Espacial Teófilo Tabanera (CETT) en la Pcia. de Córdoba y la ubicada en Tolhuin, Pcia. de Tierra del Fuego; ambas de la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE). Está proyectada la futura instalación de una estación en territorio antártico argentino, donde la revisita de los satélites de órbita polar del sistema se produce con mayor frecuencia. Finalmente, el segmento de usuario está conformado por las DCP. Las mismas incluyen a los terminales transmisores de plataforma (PTT), al módulo de adquisición de datos (DAQ), al módulo de alimentación y a la antena. Los sensores entregan los valores de las diferentes variables medioambientales medidas al módulo DAQ el que les da formato, según la estrategia de toma de datos establecida por los usuarios de ciencia.

## **RECOLECCIÓN SATELITAL DE DATOS EN ARGENTINA.**

Argentina posee una superficie en territorio de 3.669.711 km<sup>2</sup>, de los cuales 2.780.085 km<sup>2</sup> corresponden a la Argentina continental, 873.718 km<sup>2</sup> al sector Antártico (incluyendo las Islas Orcadas del Sur), y 15.908 km<sup>2</sup> a las islas del Atlántico Sur (incluyendo las Islas Malvinas, Georgias del Sur y Sandwich del Sur). El país tiene un litoral marítimo de 4.725 km. de longitud, que se suman a los 11.325 km de las costas de la Antártida Argentina e islas australes. Los espacios marítimos argentinos continentales, insulares y antárticos representan una superficie de 6.683.000 km<sup>2</sup>. Argentina es el octavo país en superficie a nivel global, claramente con un gran litoral marítimo y con una baja densidad poblacional. Según los informes de la Agencia Internacional de la Energía (IEA), el país se constituye en la segunda reserva de gas natural no convencional y la cuarta en petróleo (shale oil) a nivel global. De igual importancia son las reservas de agua dulce, de las sales de litio y demás minerales. La gestión sustentable de este patrimonio natural constituye un objetivo nacional de carácter estratégico. Para ello, es necesario contar periódicamente con información actualizada de las diferentes variables y estados de los sistemas.

La utilización de sistemas satelitales de recolección de datos, representa un método efectivo para contar con información cierta a la hora de planificar y tomar decisiones. El uso de servicios internacionales, conlleva la importación del equipo en tierra, además del pago del abono del servicio por cada usuario de ciencia. Esto representa salida de divisas del país, pérdida de independencia en la estrategia de toma de datos y bajo desarrollo tecnológico nacional.

En nuestro país, tuvimos una primera experiencia, con un instrumento diseñado específicamente para el seguimiento de la ballena franca austral (Whale Tracker). Dicho

instrumento formó parte de la misión satelital argentina SAC-C de la CONAE. El sistema no era compatible con los sistemas internacionales y no fue utilizado masivamente.

A partir del año 2004, la actividad satelital recibió un impulso y el país enfrentó nuevos desafíos. Respecto a la implementación de un sistema nacional de recolección de datos satelital, la CONAE decidió que, para la misión SAC-D/Aquarius (CONAE/NASA), el sistema DCS argentino sea compatible con los más utilizados a nivel global. Fue en ese año, que la UIDET GrIDComD de la Facultad de Ingeniería de la UNLP (FIUNLP), comenzó a trabajar en el tema. El líder del grupo de trabajo y fundador de la UIDET GrIDComD fue el Prof. Ing. Hugo Enrique Lorente, quien participó en múltiples desarrollos en el campo de las telecomunicaciones y quien, por esos días, participaba del equipo que desarrollaba un receptor del sistema de posicionamiento global GPS, para uso en satélites, en conjunto con el Prof. Dr. Carlos Horacio Muravchik. Este desarrollo formó parte de la carga útil del satélite SAC-D en el denominado TDP (Technological Demonstration Package).

Se decidió entonces, implementar un DCS nacional que sea compatible con los sistemas Argos y SCD. El receptor del sistema, ubicado en el satélite, debía poder recibir las transmisiones realizadas desde estos sistemas

además de los transmisores del sistema nacional. El diseño del receptor incluiría a una etapa de RF analógica y a otra etapa de procesamiento, la que se encargaría de la detección, demodulación y recuperación de los datos utilizando técnicas de SDR (radio definida por programa o Software Defined Radio).

El sistema DCS argentino resultó en un sistema donde la señal se recibe y procesa a bordo del satélite. Los datos obtenidos se almacenan en memoria, para luego ser transmitidos a alguna estación terrena del sistema (Store & Forward). Debido a ello, es posible recibir plataformas propias o pertenecientes a los otros sistemas, desde cualquier ubicación del planeta.

El receptor de vuelo DCS fue diseñado e implementado totalmente en la FIUNLP, donde también se realizaron parte de las pruebas ambientales a nivel instrumento. El personal del GrIDComD participó en las pruebas ambientales en el CETT, en la integración a la plataforma en INVAP Bariloche y luego en la campaña de pruebas ambientales a nivel satélite en el Laboratorio de Integración y Test (LIT) que el INPE posee en la ciudad de São José dos Campos, SP, Brasil. A posteriori, el satélite SAC-D/Aquarius (CONAE/NASA) fue trasladado a la base Vandenberg en California, EEUU, donde ingenieros del GrIDComD realizaron los test funcionales al instrumento

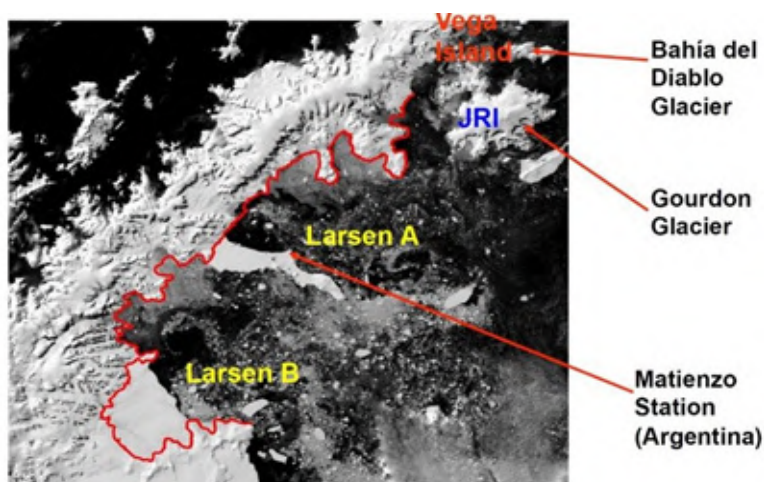
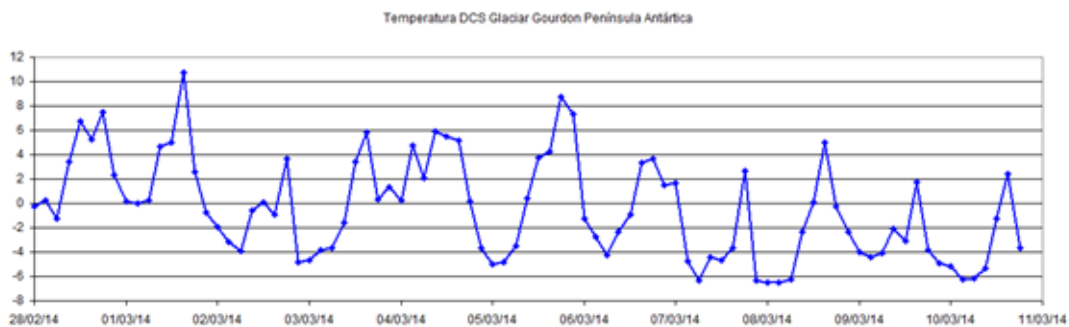


Figura 2. Ubicaciones de plataformas recolectoras de datos en Territorio Antártico argentino. Misión satelital SAC-D (CONAE, IAA)



*Figura 3. Instalación de equipos (IAA) y medida realizada en el Glaciar Gourdon utilizando el Sistema DCS argentino implementado por el GridComD-FIUNLP (CONAE, IAA).*

pre y post integración al lanzador Delta II de la empresa ULA (United Launch Alliance). El satélite fue puesto en órbita, de forma exitosa, el día 10 de junio de 2011. Debido a este acontecimiento, en Argentina se celebra el Día Nacional del Desarrollo Científico y Tecnológico Espacial, ese mismo día.

El receptor DCS se encendió con éxito el 31 de agosto de 2011 a las 10:42hs UTC. Luego de la puesta en funcionamiento del instrumento (commissioning), comenzamos a transmitir desde la FIUNLP para verificar la correcta recepción de datos de ciencia variando los parámetros de transmisión. Finalmente, la CONAE distribuyó transmisores del sistema a los diferentes organismos de ciencia interesados.

Este instrumento multi-sistema, recibió datos enviados desde estaciones argentinas como

así también desde plataformas del sistema brasileño SCD y desde plataformas del sistema Argos. Las plataformas que enviaban los datos se encontraban ubicadas en diferentes sitios del planeta. Cada vez que el satélite estaba a la vista de la ETC (Estación Terrena Córdoba) de la CONAE, se descargaban y validaban los datos para luego ponerlos en línea a disposición de los usuarios.

Uno de los ejemplos de uso del sistema instrumentado en la misión SAC-D consistió, en la medición de parámetros en las estaciones argentinas en territorio antártico (Fig. 2).

En la (Fig. 3) se muestra la instalación de la plataforma de recolección de datos en el Glaciar Gourdon por parte del personal de Instituto Antártico Argentino (IAA) y los datos de temperatura transmitidos en un período de



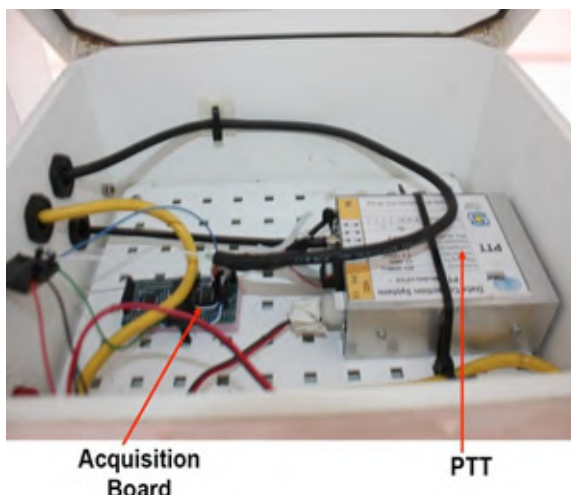


Figura 4. Equipos instalados en Territorio Antártico argentino. PTT diseñado e implementado por el GrIDComD-FIUNLP, para el sistema DCS nacional (CONAE, IAA).

tiempo. Los usuarios de ciencia, en numerosas ocasiones, optan por instalar dispositivos de almacenamiento (memorias físicas) que luego son recuperadas para realizar el análisis de los datos adquiridos. En territorio antártico, esto ocurre durante cada campaña de verano, en las boyas fijas o móviles en los océanos, periódicamente mediante el uso de alguna embarcación. Esto trae aparejados costos por movilización de equipo, personal, seguros y la demora en el procesamiento de los datos. Un sistema DCS nacional contribuye a obtener datos sin los riesgos en vidas y gastos para las instituciones de ciencia. En la (Fig. 3) también se observa que los científicos del IAA obtenían, en promedio, siete mediciones diarias desde el glaciar Gourdon, disponibles en línea, con una pequeña demora desde su adquisición.

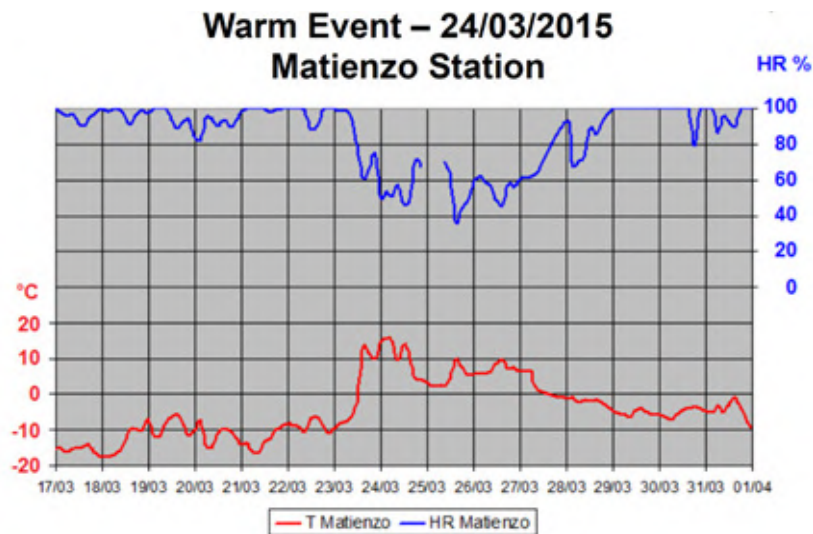
Para la conformación de las DCP, se utilizaron transmisores PTT diseñados e implementados en el GrIDComD-FIUNLP para la CONAE (Fig. 4).

En la actualidad, son notorios los efectos del calentamiento global, debido al aumento de la concentración atmosférica de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono, el metano, el vapor de agua, etc. Como consecuencias directas podemos mencionar, la pérdida de hielos marinos y continentales, la pérdida de glaciares, el aumento del nivel

del mar, el aumento de los eventos meteorológicos extremos, la modificación en los parámetros de las corrientes marinas, la acidificación de los océanos y generalizando, los cambios sobre la biosfera toda. Sólo basta con referirse a los informes del IPCC (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático) de las Naciones Unidas que año a año resumen y evalúan las diferentes investigaciones y resultados en la temática.

Las evidencias de estos cambios abruptos, en escala de tiempo planetaria, son notorias. También lo es su origen antropogénico. Los informes del IPCC se basan en investigaciones que utilizan, en gran medida, instrumentación satelital. El sistema DCS nacional transmitió los datos, durante un evento de temperatura extrema en territorio antártico (Base antártica argentina Matienzo) ocurrido el 24 de marzo de 2015 con un valor pico de temperatura de 17,5 °C (Fig. 5).

El sistema, fue utilizado entre otros por la Universidad Nacional de Tucumán para estudiar la ionósfera, el Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA) del CONICET, la UTN sede Mendoza, el Centro Nacional de Investigaciones Agrarias (CNIA), el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, el Departamento General de Irrigación de Mendoza, etc.



*Figura 5. Evento de temperatura extrema (en rojo) en Territorio Antártico  
 Datos recolectados por Sistema DCS del satélite SAC-D (GrIDComD, CONAE, IAA).*

El sistema, fue utilizado entre otros por la Universidad Nacional de Tucumán para estudiar la ionósfera, el Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA) del CONICET, la UTN sede Mendoza, el Centro Nacional de Investigaciones Agrarias (CNIA), el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, el Departamento General de Irrigación de Mendoza, etc.

**MIRANDO AL AGUA**

Específicamente, los sistemas DCS satelitales cumplen un rol muy importante en el estudio del ciclo del agua planetario. Nuestro país está integrado por una gran superficie marítima, de ríos y lagos. Ecosistemas cubiertos de nieve y hielo. Los sistemas DCS pueden adquirir los datos correspondientes a parámetros ambientales tomados por sensores que se ubiquen en boyas fijas o a la deriva en el mar o en las aguas interiores. Por ejemplo, pueden transmitir los datos de Temperatura Superficial del Mar (SST) en diferentes ubicaciones. Anomalías en los valores de SST, son utilizados para detectar fenómenos como “El Niño” y “La Niña”. También podrían adquirirse los niveles de altura del mar sobre todo el litoral marino y de ríos.

El calentamiento global está produciendo la pérdida de hielo continental, lo que produce el aumento del nivel del mar. Este efecto se ve acrecentado por el calor en exceso que es absorbido por los océanos, que producen su dilatación térmica. Por este mismo efecto y por la mayor absorción de dióxido de carbono, el pH del mar está disminuyendo, por lo que se está volviendo más ácido. Sensores de pH pueden ubicarse en boyas ubicadas en sitios característicos de nuestro mar. Lo mismo para la Salinidad Superficial del Mar (SSS) que puede utilizarse para estimar parámetros de las corrientes marinas que transportan calor y nutrientes desde el ecuador hacia los polos. A través de los sistemas DCS satelitales, podría hacerse un seguimiento de los cambios experimentados por los glaciares y hielos de montaña y la evaluación del efecto de aumento de agua dulce en el océano. Podrían supervisarse el estado de las fuentes de agua dulce superficiales y subterráneas respecto a calidad y contenido de minerales y contaminantes como agrotóxicos utilizados en agricultura intensiva. Podrían anticiparse crecidas en ríos y lagos debido al seguimiento del deshielo en altura. Adquirir datos de cantidad de lluvia y

duración de los eventos. Del mismo modo, adquirir datos de humedad de suelo en diferentes zonas de nuestro territorio. Detectar eventos de exceso o de falta (sequías) lo que trae aparejado pérdidas económicas por disminución de exportaciones de producción agropecuaria.

Es posible adquirir datos del nivel de nieve acumulada en la cima de los Andes en su extensión, pudiéndose prever la cantidad de agua para consumo y riego disponible durante primavera-verano.

En resumen, contar con un sistema satelital DCS nacional permite contar con información sobre cualquier variable referida al agua en sus diferentes estados, que permita tomar decisiones con la anticipación suficiente para optimizar su gestión.

## **EQUIPO DE TRABAJO Y TAREAS A FUTURO**

El grupo de trabajo, en principio funcionaba en el ámbito del Departamento de Electrotecnia de la FIUNLP como "Área Comunicaciones". En ese entonces, el grupo era liderado por el Ing. Lorente, y estaba integrado por el Ing. Gerardo Sager, el Ing. José Juárez y los hoy doctores y docentes/investigadores en el Instituto Balseiro Pablo Costanzo Caso y Laureano Bulus Rossini. En el año 2004 se integró el Ing. Adrián Carlotto. A partir del año 2008 se conformó la UIDET GrIDComD cuyo fundador y primer coordinador fue el Ing. Lorente. Durante el período de trabajos en el receptor de vuelo del sistema DCS para la misión SAC-D, se incorporó el hoy Dr. Juan Ignacio Fernández Michelli. El Ing. Sager sucedió al fundador de la UIDET en la coordinación hasta el año 2019.

En la actualidad, el GrIDComD – FIUNLP es coordinado por el Ing. Carlotto. El grupo se encuentra trabajando en la versión de vuelo del receptor DCS para el próximo satélite de observación de la Tierra argentino: SABIAMar A. En el mismo sentido, el GrIDComD-FIUNLP trabaja en el desarrollo de un Transmisor Definido por Software (SDTx) para que integre un nuevo diseño de los PTT

y que, en una próxima versión, permita la incorporación de otro tipo de modulaciones, como las utilizadas en los actuales sistemas IoT (Internet of Things).

La misión SABIA-Mar de la CONAE se enfocará en el estudio de los mares a nivel global, y especialmente en las regiones costeras de la Argentina y Sudamérica, hasta los 650 km mar adentro, además de incluir a las aguas interiores. Su principal objetivo es proveer información y productos para el estudio de la productividad primaria del mar, los ecosistemas marinos, el ciclo del carbono, la dinámica de las aguas costeras, el manejo sostenible de los recursos pesqueros y la calidad del agua en costas y estuarios. Sus instrumentos van a permitir monitorear las costas argentinas y sudamericanas con una muy buena resolución espacial, de 200 metros, generando información única, que hoy no existe sobre el Mar Argentino.

La misión va a formar parte del programa Pampa Azul. SABIA-Mar va a generar datos muy importantes para distintos organismos e instituciones vinculados con esta iniciativa y para revalorizar el trabajo científico asociado al Mar Argentino.

Finalmente, toda la experiencia adquirida durante la participación en los diferentes proyectos se propaga en las aulas de nuestra Facultad de Ingeniería y llega a nuestros estudiantes. Esta realimentación permite al país contar con desarrollos propios, fruto de la inversión en educación y a los jóvenes estudiantes, la experiencia de participar en diseño de sistemas reales, que servirán a la comunidad que sostiene su Universidad.

# ACADEMIA NACIONAL DE INGENIERÍA

República Argentina



La **ACADEMIA NACIONAL DE INGENIERÍA (ANI)** es una institución técnico-científica establecida como entidad civil sin fines de lucro, dedicada a contribuir al desarrollo y progreso del país, en todo lo que concierne al estudio, aplicación y difusión de las disciplinas de la Ingeniería.

La ANI junto a otras 30 academias de ingeniería o ciencias tecnológicas, una por país, integra el **CONSEJO DE ACADEMIAS DE INGENIERÍA Y CIENCIAS TECNOLÓGICAS (CAETS)**. Se trata de una organización internacional independiente, no política y no gubernamental, en el que se crea un espacio para la consideración de asuntos relacionados con la tecnología, de trascendencia global.

Con el propósito ampliar y extender el tratamiento de temas relevantes del país y de la comunidad, la Academia Nacional de Ingeniería creó cinco Institutos integrados por académicos y miembros no académicos, profesionales de la ingeniería como de otras profesiones, todos ellos destacados en la temática específica del instituto al que pertenecen. En los Institutos se han desarrollado importantes informes a los que se puede acceder a través de la página <https://acading.org.ar>



INSTITUTO DE  
ENERGÍA



INSTITUTO DE  
CONSTRUCCIONES  
Y ESTRUCTURAS



INSTITUTO DEL  
TRANSPORTE



INSTITUTO DEL  
AMBIENTE



INSTITUTO DE  
EDUCACIÓN EN  
LA INGENIERÍA

ACADEMIA NACIONAL DE INGENIERÍA

Av. Pte. Manuel Quintana 585, 3° Piso – C1129ABB - Ciudad Autónoma de Buenos Aires - Argentina

E-mail: [acading@gmail.com](mailto:acading@gmail.com) ; [acading.arg@gmail.com](mailto:acading.arg@gmail.com) <http://www.acading.org.ar>



# ACADEMIA NACIONAL DE INGENIERÍA

República Argentina



@aningenieria



## PREMIOS que otorga la institución

La **ACADEMIA NACIONAL DE INGENIERÍA (ANI)** ha creado diez premios para reconocer la importancia de la trayectoria y la innovación, promoviendo la cultura del esfuerzo puesto al servicio de la obtención de la excelencia.

### PREMIO Academia Nacional de Ingeniería "Ing. Arturo J. Bignoli"

De consagración, distingue a ingenieros cuya actividad haya significado un aporte de excepcional mérito para el progreso del país y para la posición internacional de la Argentina en la materia.

### PREMIO "Ing. Luis A. Huergo"

Premia una publicación que signifique un evidente aporte para la Ingeniería argentina

### PREMIO "Ing. Enrique Butty"

Distingue a quien se haya destacado por su labor en aspectos de la Ingeniería Civil

### PREMIO "Ing. Eduardo E. Baglietto"

Distingue al mejor trabajo desarrollado en el campo de la Geodesia o Geofísica, publicado o presentado en una reunión técnica de elevada jerarquía, por un ingeniero, licenciado o agrimensor argentino

### PREMIO "Ing. Luis V. Migone"

De consagración, distingue a un ingeniero o arquitecto egresado de una universidad argentina cuya actividad haya significado un aporte de extraordinaria relevancia en el campo de la vivienda o el urbanismo.

### PREMIO "Ing. Gerardo M. Lassalle"

Reconoce la labor profesional desarrollada en el país de un ingeniero que se haya destacado en gestión de unidades industriales, innovación tecnológica y desarrollo de los recursos humanos

### PREMIO "Ing. Antonio Marín"

Sirve de estímulo a un joven ingeniero argentino por nacimiento o adopción, con domicilio permanente en el país y egresado de una universidad argentina.

### PREMIO "Ing. Isidoro Marín" A los mejores egresados de carreras de Ingeniería de Universidades Argentinas

Busca evidenciar públicamente a quienes se hayan destacado por su capacidad y dedicación al estudio durante su carrera universitaria, alcanzando un nivel sobresaliente de capacitación científico-técnica reconocida por su Universidad y por la Academia

### PREMIO "ANI – Comunicación Innovaciones de Alto Potencial"

Orientado a fomentar que los científicos, ingenieros y tecnólogos de todo el mundo transmitan, al público en general, sus actividades en forma eficaz, sencilla y atractiva, poniendo el foco principal en el fomento de las expectativas profesionales de los jóvenes y estudiantes

### PREMIO "Al Profesor Destacado"

Tiene como objetivo destacar el rol fundamental de los docentes en la formación de futuros ingenieros y su contribución al desarrollo de la educación en Ingeniería en la Argentina.

# PREMIO CONSAGRACIÓN 2022 “ING. NÉSTOR BERNARDO BUSSO”



**DR. ING. ALBERTO BANDONI**

## **PREMIO CONSAGRACIÓN**

La edición del año 2022 del Premio Consagración que otorga la Academia de la Ingeniería de la Provincia de Buenos Aires, lleva el nombre del Ing. Néstor Bernardo Busso, quien lamentablemente falleciera el 29 de agosto de 2021.

El Ing. Néstor Busso se incorpora a la Academia como Académico Titular en el año 1982 y lo hace eligiendo el sitial de Juan Sábato. Participó de manera muy activa en la Academia y en el año 2012 se lo designa Académico Emérito. Fue Profesor de la materia Transmisión de la Energía en la Facultad de Ingeniería de la UNLP, Director del Departamento de Electrotecnia y se desempeñó en la Dirección de la Energía de la provincia de Buenos Aires (DEBA) como Gerente de la Central Luis Piedra Buena de Bahía Blanca. El Premio Consagración, tiene por objeto distinguir a ingenieros que han desarrollado una muy destacada actividad profesional en el país, tanto en cuanto, como trabajos de investigación y docencia en el más elevado nivel y asimismo los aportes de los candidatos deben ser específicos en alguna de las áreas de la ingeniería y deben haber significado de excepcional mérito para el progreso del país y de su especialidad a nivel internacional.

La Academia ha decidido otorgar el Premio Consagración "Ingeniero Néstor B. Busso" al Dr. Ing. José Alberto Bandoni, decisión basada en la importante actividad desarrollada, tanto en el campo científico y tecnológico de I&D, como en el campo de la docencia universitaria, siendo una de sus principales áreas de competencia la Ingeniería en Sistemas de Procesos.

### **DR. ING. JOSÉ ALBERTO BANDONI**

Se citan a continuación y en forma de apretada síntesis, los principales aspectos de los antecedentes del Dr. Ing. Bandoni. Obtuvo su título de posgrado como Dr. en Ingeniería Química en la UNS en 1987, con la tesis doctoral "Optimización bajo Incerti-

dumbre en Problemas Lineales Restringidos por Desigualdades. Aplicación a una Planta de Procesamiento de Jugo Concentrado de Manzanas". Durante sus estudios de doctorado siguió un total de 14 cursos de tal nivel, 3 de ellos en universidades de nuestro país y 11 del exterior. En el año 1988 ingresó a la carrera del Investigador del CONICET en la categoría de Investigador Asistente, llegando en el año 2019 a la categoría de Investigador Superior, desempeñándose hasta la actualidad en la Planta Piloto de Ingeniería Química dependiente de la UNS y del CONICET (Institución ésta en la que ha desarrollado la mayor parte de su actividad de investigación y docencia).

Sus principales temas de investigación están orientados hacia la Ingeniería de Sistemas de Procesos entre otros, su modelamiento, toma de decisiones, análisis y diseño, y modelos de optimización, como así también aplicaciones a Plantas de Producción. Ha realizado desarrollos interdisciplinarios, aportando, desde su experiencia en el área de ingeniería química a la complementación con áreas de agronomía, economía de la salud y ciencias de la administración. El Dr. Bandoni, ha desarrollado actividades en el Dpto. de Ing. Química de la Universidad de Sidney, Australia, durante 3 años, entre enero de 1992 y febrero de 1995, realizando actividades de docencia de grado y posgrado, de investigación y transferencia a empresas y formación de RR. HH. de posgrado, además de varias tareas de gestión en la Facultad de Ingeniería de dicha universidad.

También ha gestionado y desarrollado colaboraciones en investigación con grupos académicos de las universidades de Carnegie Mellon y Purdue en EE. UU., del Instituto Mexicano del Petróleo en México, del Dpto. de Ing. Qca. de la Technical University of Denmark en Dinamarca, y del Politécnico di Milano en Italia. Ha dictado cursos de posgrado, dirigido tesis de maestrías y doctorados tanto en Universidades de Argentina como del exterior. Ha mantenido continuidad en los temas de investigación realizando aportes innovadores en los temas de su



especialidad, participando en tal carácter en Grupos de Investigación tanto nacionales como internacionales.

Sus trabajos han sido publicados en 91 oportunidades en revistas científicas con referato nacionales e internacionales. Ha tenido un gran protagonismo en la organización y participación en Congresos Nacionales e Internacionales de su especialidad de primer nivel. Al respecto su currículum registra 204 presentaciones de distintos tipo y alcance en anales de distintos eventos de carácter técnico – científico nacionales e internacionales.

También ha participado en un total de 35 proyectos de singular importancia de Transferencia y Extensión al sector industrial, tanto a Empresas nacionales como a filiales locales de Empresas internacionales.

Su carrera Docente universitaria culmina como Profesor Titular Extraordinario en la categoría Emérito en la UNS desde 2020.

En lo relativo a la formación de Recursos Humanos ha sido Director/ Co-Director de 23 tesis de posgrado (Doctorado y Maestría) finalizadas; ha dirigido 31 becas de formación de posgrado, así como profesionales, alumnos avanzados, investigadores y técnicos.

Asimismo, el Dr. Ing. Bandoni ha desarrollado una importante labor de Gestión, que incluye en lo profesional su membresía en la Comisión Directiva de la Asociación Argentina de Ingenieros Químicos desde 2014 a la fecha, y en lo académico dentro de la UNS su participación en distintos períodos como Miembro titular del Consejo Departamental, Coordinador de Área y Director Decano en el período 2004 -2009, todo ello en el Departamento de Ingeniería Química. También ha sido Miembro del Consejo Superior de la UNS por el Claustro de Graduados y en un período posterior por el de Profesores, y Miembro del Comité Directivo de la Planta Piloto de Ingeniería Química. Todos los antecedentes citados, aun en forma muy resumida, destacan una trayectoria fecunda de muy alto valor profesional, que lo hacen merecedor con creces de la presente distinción.

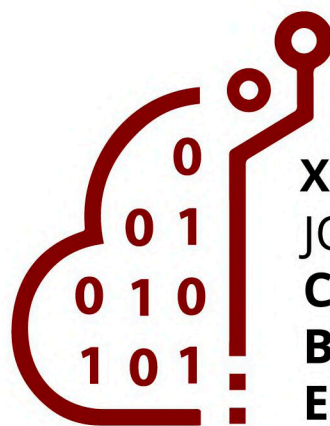
## CONFERENCIA – RESUMEN

El 9 de septiembre de 2023, en sesión pública de la Academia se entrega el Premio Consagración 2022 “Ing. Néstor Busso” al Dr. Ing. José Bandoni quien brinda la conferencia “El Microscopio Electrónico”.

El Dr. Ing. Bandoni, realizó una breve introducción sobre la trayectoria y motivación para dedicarse a la investigación, desarrollo y docencia, seguido de una presentación sobre algunos de los proyectos de desarrollo realizados. Estos incluyen transferencias realizadas con su grupo de investigación para la industria petroquímica del polo de B. Blanca, el sector upstream de la industria del gas y petróleo en Vaca Muerta, así como para la gestión óptima de un sistema de salud en Bahía Blanca y de una red de logística inversa para recolección de envases vacíos de fitosanitarios en la provincia de Bs.As. Puso énfasis en el rol de los modelos matemáticos como si fueran microscopios de la realidad, y en como una variedad de problemas muy disímiles se enmarcan en una cantidad reducida de formulaciones matemáticas. También se discutió el papel que este enfoque basado en modelos puede tener en el futuro del proceso de toma de decisiones, frente al avance de las modernas estrategias basadas en big data y machine learning.



25 AL 27  
DE JUNIO



## XII JORNADAS DE CLOUD COMPUTING, BIG DATA & EMERGING TOPICS

CURSOS - CONFERENCIAS - PANELES  
TRABAJOS CIENTÍFICOS - EXPOSICIONES DE EMPRESAS

### CLOUD COMPUTING

Cloud Application Architectures  
Cloud Management and Operations  
Cloud Reliability, Availability  
and Usability  
Cloud Security and Privacy  
Big Data Processing/Mining/  
Query on Cloud  
Cloud based Machine/  
Deep Learning  
Cloud based Industrial Internet  
Mobile applications and  
Cloud computing

### BIG DATA

Intelligent Data Processing  
Big Data Analysis Search and Mining  
Algorithms and Programming  
Techniques for Big Data  
Analysis Processing  
Big Data and Deep Learning  
Big Data and High Performance  
Computing  
Software engineering for  
Cloud Computing and Big data  
Energy-efficient Computing for  
Big Data

### HPC AND CLOUD COMPUTING

Efficient HPC algorithms on  
Cloud architectures  
Complex HPC models on Cloud  
Failure detection and correction  
on Cloud  
Performance analysis for HPC  
applications on Cloud  
Energy consumption optimization  
on Cloud  
Parallel algorithms for Big Data on  
Cloud architectures  
Performance prediction for HPC  
applications on Cloud  
HPC algorithms migration to Cloud

### EMERGING TOPICS

Cloud Robotics  
Smart and Sustainable Cities  
Bioinformatics  
Internet of Everything (IoE)  
Mobile - Edge - Fog - Computing  
Natural Language Processing (NLP)  
Blockchain-based technologies  
and applications  
Serverless computing

[HTTPS://JCC.INFO.UNLP.EDU.AR](https://jcc.info.unlp.edu.ar)



@CONF\_CC\_BD\_ET

JCC@LIDI.INFO.UNLP.EDU.AR

# HOMENAJE A UNA PERSONALIDAD

## DESTACADA EN EL ÁREA DE LA INGENIERÍA CIVIL

# PROF. ING. CÉSAR JULIO LUISONI

POR ACADÉMICOS ROBERTO IGOLNIKOW — ALBERTO VENERO

*La Academia de la Ingeniería de la Provincia de Buenos Aires otorga, cada tres años, un Premio a la Materialización de Obras de Ingeniería. Su finalidad es distinguir y reconocer a aquellos ingenieros que hayan participado de manera protagónica en obras de significativa importancia para nuestro país.*

*Durante el año en curso se ha otorgado dicho Premio y, en esta ocasión, el mismo lleva el nombre del Académico Ing. César Julio Luisoni en homenaje a quien fue – precisamente – un destacado realizador de muy relevantes obras en el campo de la Ingeniería Civil-Estructural.*

*Evocar al Ing. Luisoni resulta particularmente oportuno por haberse cumplido en 2023 setenta años de la inauguración de la que, probablemente, es una de sus obras más descollantes. Nos referimos al Viaducto Sarandí, de capital importancia para la dinámica del transporte ferroviario en la Provincia de Buenos Aires.*

*Con tal motivo, resulta muy grato y apropiado incluir en el presente Número 6 de In-Genium esta nota destinada a recordar tanto a su cálida persona como a su brillante carrera profesional y académica.*

El Ing. Luisoni nació el 21 de junio de 1919 en Bahía Blanca. Años más tarde se radicó en La Plata para estudiar en la Facultad de Ingeniería de la UNLP, donde se graduó de Ingeniero Civil en 1943.

Desde el inicio de su fecunda carrera profesional se dedicó a la Ingeniería Estructural, especialidad desde la que fue un destacado Realizador y un apasionado Educador.

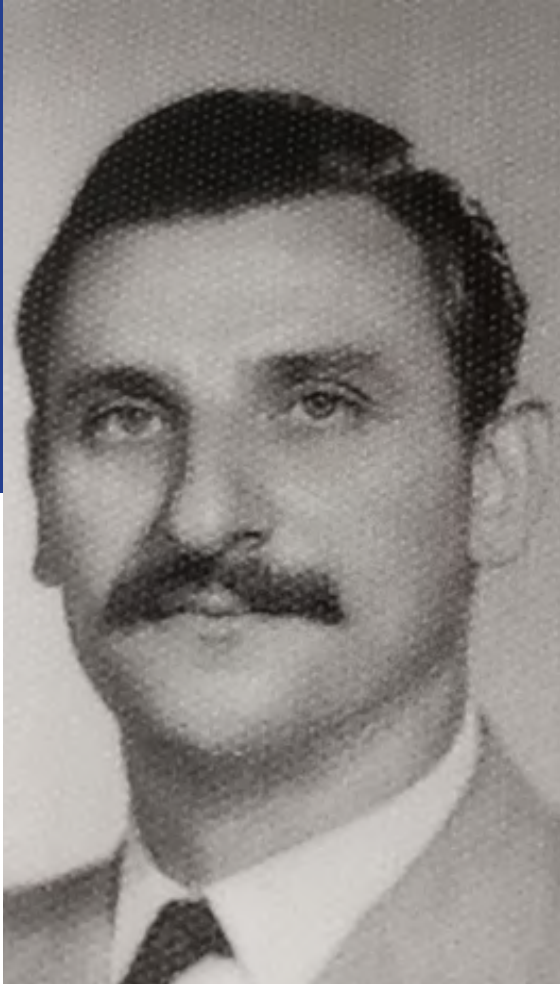
### EL REALIZADOR

A poco de graduarse ingresó a la Dirección de Vialidad de la Prov. de Bs. As. (DVBA), donde transitó por la primera etapa de su actuación como realizador. Desde esa prestigiosa Repartición, y con sólo veintinueve años, como Proyectista Principal dirigió al equipo responsable de diseñar el Viaducto Ferroviario Sarandí. Sin duda, se trató de una de las obras más importantes para la infraestructura de transporte del país a fines de la década de los años cuarenta.

En oportunidad de la licitación internacional de dicho proyecto se permitió la presentación de alternativas por parte de las Empresas Oferentes, tanto del país como del extranjero. Ninguna de ellas, incluso la presentada por el mundialmente famoso ingeniero francés Eugenio Freyssinet, pudo superar las ventajas técnico- económicas del proyecto concebido por Luisoni. Sus setenta años de servicio ferroviario ininterrumpido, con muy escasas tareas de mantenimiento, avalan la calidad del proyecto. Al inicio de las tareas, desde el Ministerio de Obras Públicas se le preguntó qué recursos necesitaría para el desarrollo del proyecto (por muchos años, la principal obra que encararía dicho Ministerio). Fue muy comentado entre el personal de la DVBA de la época que Luisoni solo pidió dos máquinas de calcular Facit a manivela.

Otro de sus muy singulares aportes, materializado aproximadamente en 1962, lo constituye el proyecto del puente carretero sobre el





río Quequén Grande. Ubicado en el camino entre las localidades bonaerenses de Oriente y Copetonas, contó con una solución original (sin antecedentes conocidos) mediante un arco constituido por una lámina plegada. También cabe mencionar el puente ferroviario proyectado en 1965 para la línea del FCN-GR sobre la Av. 520 de la ciudad de La Plata, mediante una viga continua con aportamientos mediante bielas extremas. Ambos proyectos fueron destacados en publicaciones técnicas del país y del exterior, no tanto por sus dimensiones sino especialmente por la originalidad en la concepción de su diseño y funcionamiento estructural.

Al respecto, es oportuno recordar y destacar que la originalidad y la innovación fueron una marca permanente, distintiva de sus ideas y proyectos.

Su actuación como Ingeniero Proyectista de la DVBA finalizó a fines de la década de los años cincuenta, momento en que pasó a

desempeñarse como Asesor Externo de dicha Repartición. Finalmente, renunció a tal función en 1966 para dedicarse exclusivamente a la actividad profesional privada.

La actividad como profesional independiente la desarrolló desde su Estudio de Ingeniería Estructural, en el que estuvo asociado con su amigo de siempre el Ing. Gerardo L. Ventura. Posteriormente, también con el Ing. Adolfo Jacobbe, uno de sus principales discípulos muy tempranamente fallecido.

Desde principios de los años cincuenta hasta principios de los ochenta, participó activa y protagónicamente en la realización de numerosos proyectos y asesoramientos para todo tipo de obras significativas. Entre las mismas destacaremos a la gran cubierta del Hotel Internacional en Asunción (Paraguay), lograda mediante una lámina de hormigón armado en paraboloides hiperbólicos de grandes dimensiones.

A mediados de los años ochenta trasladó su

residencia a la Capital Federal. Allí se desempeñó como asesor en el proyecto de Puentes y de Viaductos en la empresa de consultoría vial Consulbaires S. A. En tal función, y eligiendo solo una entre las muchas obras de importancia, citaremos su participación en el proyecto del Puente Internacional sobre el río Iguazú, entre las ciudades de Puerto Iguazú (Argentina) y Foz de Iguazú (Brasil).

## EL EDUCADOR...Y ACADÉMICO

La actividad académica del Ing. Luisoni se inició de manera muy temprana; ya desde sus épocas de estudiante avanzado se destacó como activo colaborador de los Ings. Arturo Guzmán y Eduardo Arnaboldi, muy importantes profesores de la Facultad de Ingeniería de la UNLP. Con ambos mantuvo una estrecha y prolongada relación profesional y humana.

Su ardua labor docente se desarrolló formalmente durante alrededor de cuarenta años. En la UNLP fue Profesor Titular, tanto en la Facultad de Ingeniería como en la de Arquitectura (y en ambas designado oportunamente Profesor Emérito). Asimismo, fue Profesor Titular en las universidades nacionales de Bahía Blanca y Mar del Plata. Fue también Profesor y Director del Curso de Obras de Arte (Puentes) de la Escuela de Caminos de la DVBA, primera de su tipo en el país.

Es oportuno destacar que, en muchas de las asignaturas que estuvieron a su cargo, el propio Luisoni fue el artífice de su creación y tuvo la responsabilidad primaria del planteo de su enfoque, diseño académico y desarrollo de los programas temáticos teórico-prácticos. Es, por ejemplo, el caso de las asignaturas de Estructuras en la Facultad de Arquitectura de UNLP y de Puentes en la Facultad de Ingeniería, ambas de la UNLP.

La intensa actuación docente mencionada fue acompañada por una también amplia actividad como investigador en el Departamento de Construcciones de la Facultad de Ingeniería, cuya jefatura ejerció durante trece años.

Pero a la vez, su capacidad (¡y pasión!) para

transmitir conocimientos la desarrolló también informalmente fuera de las aulas: en los pasillos, en la calle, en las obras (incluso sobre un encofrado), en su Estudio o en su propia casa donde atendía a alumnos, profesionales, otros docentes, o a quién recurriese en consulta a sus notables conocimientos y su innata capacidad de enseñar.

Un aspecto, quizá tan destacado como su erudición, era su capacidad de reducir problemas complejos a otros más sencillos, muchas veces mediante analogías estructurales simples. Podía sintetizar con claridad la esencia de un fenómeno estructural, aun cuando la misma apareciera a primera vista camuflada por aspectos secundarios.

Es característico de un Maestro dejar su legado en la calidad de sus proyectos, en la originalidad de sus soluciones y en la formación de sus discípulos. Todo ello se produjo en el Ing. Luisoni, que fue un Maestro de la Ingeniería Estructural sin lugar a duda.

Tanto la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales como la Academia de la Ingeniería de la Provincia de Buenos Aires lo distinguieron como Académico Correspondiente. La Academia Nacional de Ingeniería le otorgó en 2002 el Premio "ANI-Ing. Arturo J. Bignoli".

Para gran dolor de sus familiares, amigos y alumnos, falleció en Capital Federal el 9 de junio de 2013.

Finalmente, más allá de sus notables logros académicos y profesionales, deseamos concluir este sentido homenaje al Ing. César J. Luisoni subrayando que fue una persona excelente en todo aspecto, cuya honestidad intelectual e inusual modestia personal lo hicieron tan querido para quienes tuvimos la dicha de conocerlo.





# INGENIEROS DE HOY Y DEL FUTURO

## LUCIANA NOELIA BARROS ABDALA

### INGENIERÍA HIDRÁULICA



Mi nombre es Luciana Noelia Barros Abdala, tengo 25 años y estoy a punto de completar mi carrera como Ingeniera Hidráulica en diciembre de 2023. Soy oriunda de la ciudad de La Plata. Desde octubre de 2022, he tenido el privilegio de ser becaria en la UIDET Hidromecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata, bajo la dirección del Ing. Sergio Oscar Liscia. Durante este período, he participado activamente en un proyecto de modelación física de la estación de bombeo Planta Berazategui, que se destaca por su innovación al utilizar bombas hidráulicas en lugar de los convencionales sifones.

Fuera del ámbito académico, dedico mi tiempo libre a la danza árabe, un hobby que tengo desde temprana edad, y disfruto compartiendo momentos con amigos. Mi familia, com-

puesta por mis padres, Patricia y Armando, mis hermanos Maximiliano y Emmanuel, mi abuela Olga y mi tío Dante, ha sido un pilar fundamental en mi camino universitario, brindándome su apoyo incondicional.

Mi interés por las ciencias exactas, especialmente las matemáticas y la física, se despertó durante mis años de colegio. Esto me llevó a ingresar en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata en el año 2016, inicialmente inscribiéndome en la carrera de Ingeniería Industrial. Con el tiempo, mi curiosidad por la Ingeniería Hidráulica se dividió en dos aspectos que captaron mi atención de manera significativa.

En primer lugar, me intrigó la posibilidad de contribuir al cuidado del medio ambiente y la generación de energía renovable a través de la hidroeléctrica. La idea de trabajar con un recurso tan esencial para nuestro planeta

como el agua y aprovecharlo de manera sostenible me atrajo profundamente.

Por otro lado, mi experiencia personal durante la inundación de 2013 en mi ciudad dejó una huella profunda en mí dando un recordatorio impactante de la necesidad de respetar y manejar adecuadamente el agua incluso en situaciones de abundancia. Esta dualidad de enfoques, la preservación y el uso responsable del agua, me llevó a tomar la decisión en el año 2018 de cambiar de carrera a Ingeniería Hidráulica, con el propósito de contribuir a ambos aspectos que considero fundamentales en el tratamiento de este recurso vital.

En cuanto a mi futuro, mi tesis de grado consistió en modelar las descargas de efluentes cloacales en la costa argentina del Río de la Plata y evaluar los cambios en la zonificación de usos a partir de la operación de las obras de emisario Riachuelo y Berazategui. Esta experiencia me abrió las puertas a la investigación. Trabajar en la UIDET Hidromecánica me brindó una visión más profunda del mundo de la investigación y su aplicación en la ingeniería, mostrándome la amplitud de estudios posibles en el campo hidráulico y su potencial para mejorar la gestión de recursos. Este valioso aprendizaje fue posible gracias al apoyo y la mentoría de un equipo de excelentes profesionales, dispuestos a brindarme su ayuda y conocimientos.

Esta inmersión en la investigación me hizo consciente de la importancia de comprender el impacto de las obras hidráulicas en la

sociedad y el medio ambiente. Por lo tanto, luego de obtener mi título, planeo participar en un proyecto de investigación interinstitucional en Argentina, centrado en el diseño y control de plantas de tratamiento de aguas y efluentes utilizando herramientas numéricas de última generación a través de un doctorado.

Quiero destacar la pasión y dedicación de los profesores de la carrera, quienes nos inspiran a perseverar y a trabajar en equipo. Comparten sus experiencias profesionales con humildad, trascendiendo los libros de teoría.

En cuanto a mejoras en el plan de estudios de la carrera, propongo resaltar las diversas oportunidades que ofrece la Ingeniería Hidráulica. No solo implica trabajo en obra, sino también investigaciones que permiten aplicar conocimientos en proyectos de diferente índole, aprovechando las herramientas que hemos adquirido.

Por último, invito a todos a sumergirse en el estudio de esta rama de la ingeniería, donde abordamos problemas actuales y buscamos soluciones para un recurso tan valioso como el agua. En mi experiencia, no hay un camino equivocado al comenzar una ingeniería sin estar seguro y luego cambiar de rumbo; lo importante es aprovechar las materias cursadas y aprender de la experiencia para encontrar el enfoque profesional que cada uno desee.

# JUAN FRANCISCO VARVASINO

## INGENIERÍA HIDRÁULICA



Mi nombre es Juan Francisco Varvasino, tengo 25 años y en septiembre de 2022 me recibí de ingeniero hidráulico en la Universidad Nacional de La Plata (UNLP). Actualmente, trabajo en la UIDET Hidromecánica y realizo cursos de postgrado para especializarme en el área de las turbomáquinas hidráulicas.

Mi interés por las energías renovables surgió cuando estaba en el último año de la secundaria, al reflexionar sobre la problemática de la generación de energía en un futuro donde las fuentes convencionales se agoten. Para profundizar en el tema, realicé un curso de energías renovables que me permitió conocer la energía solar, eólica y las microturbinas hidráulicas. Desde chico, siempre tuve un interés particular por la ingeniería y este curso me orientó definitivamente hacia el trabajo con energías renovables. Al ingresar a la facultad, esperaba comprender con mayor detalle estas cuestiones para poder trabajar en este campo en el futuro.

Durante mi carrera, las materias iniciales me gustaron debido a mi interés en las ciencias exactas. Al avanzar en las materias especializadas, descubrí diferentes ramas dentro de la hidráulica que me parecieron sumamente interesantes. En particular, al cursar las materias especializadas en las turbomáquinas, logré comprender con mayor detalle el funcionamiento de la generación de energía, los tipos de turbinas hidráulicas que existen y las consideraciones que hay que tener con

cada una de ellas para su funcionamiento, dándome un entendimiento más acabado de esa primera inquietud que me motivó a estudiar la ingeniería hidráulica.

Actualmente, en la UIDET Hidromecánica, desarrollo diferentes actividades. Principalmente, realizo estudios tanto en modelación física como numérica en turbomáquinas hidráulicas. Este año participé en la construcción, ensayo y elaboración de informes tanto de turbinas hidrocínicas como estaciones de bombeo. El estudio de diferentes tipos de turbomáquinas hidráulicas me permitió realizar investigaciones científicas con las cuales participé en congresos nacionales e internacionales. La UIDET Hidromecánica hace énfasis en el acercamiento de la ingeniería hidráulica con la sociedad, por lo que participé en diferentes eventos donde se explicó a jóvenes estudiantes de las diferentes ramas de la ingeniería hidráulica y los trabajos a los que uno puede acceder siendo ingeniero hidráulico.

Mi recorrido en la facultad fue muy grato. Pude destacar un gran aprendizaje que me enriqueció tanto en el aspecto académico como personal. También logré entablar un excelente vínculo tanto con compañeros como con docentes, quienes siempre mostraron la mejor predisposición para enseñar. Como trabajo final tuve la posibilidad de realizar un desarrollo tecnológico en el cual se ensayó a nivel de modelo físico una turbina



hidrocinética tipo Arquímedes que contaba con un sistema innovador de medición de potencia a partir de un sistema de contrapesos con poleas. La selección del tipo de turbina hidrocinética fue debido a su simplicidad constructiva para que pueda ser construida en pequeños poblados aledaños a un río y abastecerse de energía.

La UNLP brinda una gran cantidad de facilidades para los estudiantes, tanto para continuar sus estudios como para conseguir trabajo o becas de investigación. Personalmente, estoy muy agradecido por la oportunidad que me brindó la UNLP y deseo poder devolver un poco de todo lo que se me dio.

El agua es un recurso indispensable para el desarrollo de la sociedad, ya sea para el consumo humano, el riego, la generación de energía, el control de crecidas para mitigar los problemas que puede llegar a producir una inundación, entre otros. Las problemáticas vinculadas al cambio climático vuelven al agua un recurso cada vez más escaso por lo que cobra una mayor importancia tener una buena gestión del mismo, por lo que los quiero motivar a estudiar ingeniería hidráulica ya que tiene un rol preponderante en la toma de decisiones para realizar un uso eficiente de los recursos hídricos del futuro.

# ARTURO RIVETTI

## INGENIERÍA HIDRÁULICA



Mi nombre es Arturo Rivetti, soy Ingeniero Hidráulico graduado de la UNLP en el año 2010. Vivo en La Plata desde que decidí continuar mi formación y mudarme desde Junín, ciudad en la que viví con mi familia durante mi adolescencia. Allí pude cursar el primer año de Ingeniería a distancia, gracias al Centro Universitario Regional (CURJ) que existía en aquel momento. Nací en el pueblo de Baigorrita, donde pasé toda mi infancia hasta que nos mudamos. Durante esa etapa de mi vida, dediqué gran parte de mi tiempo libre a la natación, principalmente a las competencias en aguas abiertas. Tuve la oportunidad de nadar en lagunas y ríos de la zona y, casi sin saberlo, comenzaba a nacer mi pasión por el agua.

En la actualidad, resido en Villa Elisa junto a mi pareja, María Paz. Ella se dedica a la docencia e investigación en el área de Antropología, lo que nos permite compartir nuestro interés por el conocimiento y el aprendizaje. Tengo dos hermanas; la menor vive en La Plata y es Bioquímica egresada de la UNLP, mi hermana mayor emigró desde Rosario a Nueva Zelanda antes de la pandemia. Mi madre, quien es jubilada, solía ser bibliotecaria y reside en La Plata desde hace algunos años. Mi motivación para estudiar ingeniería se originó en el colegio secundario técnico de la ciudad de Junín (E.N.E.T 1). En este entorno, tuve la oportunidad de aprender de profesores, ingenieros e ingenieras, la mayoría

de ellos especializados en electrónica debido a la orientación de mi tecnicatura. Desde el principio, me quedé impresionado por la forma en que razonaban y resolvían problemas. Lo que más me impactó fue cómo podían relacionar conceptos de física y matemáticas para resolver problemas reales y aplicar su conocimiento teórico a situaciones prácticas.

Fue en ese momento cuando tomé la decisión de formarme como ingeniero, aunque no estaba completamente seguro de cuál sería mi especialidad. Inicialmente opté por Ingeniería Civil, pero decidí cambiar a Hidráulica en el tercer año de la carrera. Esto ocurrió después de asistir a la primera clase de Hidráulica con el Profesor Raúl Lopardo, quien logró transmitir su entusiasmo por la especialidad y su vasta experiencia en las obras hidroeléctricas del país. Esta transición marcó un punto de inflexión en mi carrera, y me consolidó en la especialidad que sigo con pasión hasta el día de hoy.

En la actualidad, soy miembro del equipo de la UIDET Hidromecánica, bajo la dirección del Ingeniero Sergio Liscia y la coordinación de la Ingeniera Cecilia Lucino. Nuestro equipo abarca una amplia gama de especialidades, y yo formo parte del grupo de Turbomáquinas Hidráulicas, donde nos dedicamos principalmente a la simulación numérica y física de turbinas; y bombas a escala reducida. Destaco especialmente el acompaña-

miento y orientación de Mauricio Angulo en mi experiencia dentro del laboratorio, con quien además comparto las cátedras de Trabajo Final y Máquinas Hidráulicas. Además, prestamos una estrecha colaboración a empresas estatales y privadas en proyectos de transferencia tecnológica.

Uno de los proyectos más significativos en los que he tenido el privilegio de participar es el diagnóstico, seguimiento y rehabilitación de las unidades generadoras de Yacyretá. Nuestra unidad de investigación ha estado trabajando en este proyecto de manera continua desde el año 2006, lo que ha brindado una valiosa experiencia y contribución en el campo de las turbomáquinas. Actualmente me encuentro cursando la carrera de Doctorado en Ingeniería, en el marco de los estudios que hemos realizado para este convenio.

Asimismo, he tenido la oportunidad de viajar a China, en el contexto de la inspección de las obras hidroeléctricas en el río Santa Cruz, donde participé en ensayos de diseño de las turbinas en los laboratorios de Harbin y Zhefu. También colaboré en la verificación de la turbina Kaplan para el proyecto de Aña Cuá en los laboratorios de VOITH, Alemania. Estas experiencias han enriquecido mi conocimiento y habilidades en el ámbito de la Ingeniería Hidráulica, y me han permitido contribuir de manera significativa a proyectos de envergadura internacional.

En mi tiempo libre, sigo entrenando y nadando en aguas abiertas, actividad que nunca dejé de realizar desde que comencé en mi infancia. Creo que es fundamental complementar la actividad profesional con actividad física y recreativa. También, durante la pandemia, pude conocer mi otra pasión que es la navegación a vela. Con mi amigo y colega, Esteban Lacunza, participamos de regatas y navegación recreativa en el Río de la Plata.

Más allá de los conocimientos específicos que adquirí en la Facultad de Ingeniería, los seis años de vida universitaria en la ciudad de La Plata fueron inmensamente valiosos, tanto para mi desarrollo profesional como personal. La ciudad, con su alto nivel cultural y una población estudiantil diversa que

proviene de todas partes del país y de países limítrofes, me proporcionó una experiencia sumamente enriquecedora.

En lo que respecta a la carrera de Ingeniería Hidráulica, el hecho de que haya pocos alumnos en la especialidad hizo que el trato con los docentes fuera muy personal. Esta característica añade un valor significativo a la formación, ya que nos brinda una atención personalizada y un vínculo cercano con los profesores. La combinación de un ambiente universitario enriquecedor y la especialización en Hidráulica han sido fundamentales en mi formación como Ingeniero.

# GONZALO DURÓ

## INGENIERÍA HIDRÁULICA



Mi nombre es Gonzalo Duró, tengo 39 años y estudié la carrera de Ingeniería Hidráulica en la UNLP. Nací en La Plata, me gradué en el año 2008, y actualmente trabajo en Witteveen+Bos, una consultora de ingeniería en los Países Bajos.

Mi elección por la ingeniería fue porque quería resolver problemas prácticos que pudieran tener un impacto positivo en la sociedad. La hidráulica fue para mí el descubrimiento de una carrera hermosa y con gran relevancia en ese sentido. Los desafíos son grandes y hay mucho por hacer.

Disfruté mucho de los estudios de grado, tanto por los contenidos como por la cercanía y la dedicación de los docentes. Tanto fue así, que luego de recibido continué en la UNLP trabajando en el Laboratorio de Hidráulica y también en docencia. La carrera de hidráulica tiene excelentes docentes, profesionales, e instalaciones que permiten un aprendizaje sólido en un ambiente amigable. Los temas son apasionantes y muy diversos, abarcando desde el diseño de canales y presas hasta desagües urbanos o instalaciones sanitarias. En la práctica uno debe elegir en qué especializarse.

Las ganas de crecer y tener experiencias nuevas me llevaron a hacer estudios de maestría y doctorado, donde conocí otros países y culturas. Me especialicé en ingeniería fluvial y costera. Aprendí las dinámicas naturales de ríos y costas, y cómo intervenir

cuando es necesario para aprovechar sus recursos o impedir daños materiales o ambientales. En este período también aprendí a programar y a utilizar modelos numéricos aplicados a estas temáticas, lo que es una gran ayuda en la práctica profesional.

Hoy en día trabajo en proyectos en Holanda y en otros países, aplicando conceptos, criterios y métodos propios de la hidráulica. Encuentro importante trabajar en equipo y tener discusiones abiertas con colegas. Esto enriquece la calidad del trabajo y hace el proceso mucho más gratificante. Ejemplos de proyectos típicos son el asesoramiento del riesgo de inundación, morfología de ríos, erosión costera, o dinámicas de turbidez con impacto ambiental. Muchos de los desafíos que se viven en Argentina se replican en el mundo, como la falta o el exceso de agua. La formación en hidráulica seguirá siendo esencial para abordar éstas y otras problemáticas relacionadas, que se ven agudizadas por el cambio climático.

Estoy agradecido de haber encontrado en la carrera de Hidráulica la posibilidad de desarrollarme en lo profesional, crecer en lo personal, trabajar en proyectos desafiantes, y aportar a la mejora de las condiciones de vida de las personas.



SUMATE A  
NUESTRO CANAL DE



---

**Contenidos, conferencias, actividades y más**

---

<https://www.youtube.com/channel/UC2FJw5sdRmucAuKRrbpMqA>

# COMITÉ EDITORIAL

## N° 6

**En la elaboración de los contenidos de este número han participado los siguientes Académicos Titulares:**

- Ing. Patricia Arnera
- Ing. Armando De Giusti
- Ing. Victorio Hernández Balat
- Ing. Roberto Igolnikow
- Ing. Sergio Liscia
- Ing. Raúl Lopardo
- Dr. Ing. Carlos Muravchik
- Ing. Pablo Ringegni
- Ing. Alberto Venero

# EQUIPO EDITORIAL

## **Periodistas**

Valentín Altavista  
Leopoldo Actis Caporale

## **Diseñadora**

Abril Buffarini

# ACADEMIA DE LA INGENIERÍA DE LA PROV. DE BUENOS AIRES

## MESA DIRECTIVA

### **Presidente**

Ing. Patricia L. Arnera

### **Vicepresidente**

Ing. Armando E. De Giusti

### **Secretario**

Dra. María Inés Valla

### **Prosecretario**

Ing. Alberto Venero

### **Tesorero**

Ing. Pedro E. Battaiotto

### **Protesorero**

Ing. Roberto M. Flores

## ÓRGANO DE FISCALIZACIÓN

### **Revisor de cuentas**

Dra. Noemí E. Zaritzky

### **Revisor de cuentas**

Ing. Victorio Hernández Balat

## ACADÉMICOS TITULARES

Arnera, Patricia Liliana  
Bacchiega, Jorge Daniel  
Barbero, Aníbal Jorge  
Barbieri, María Beatriz  
Basso, Gustavo Jorge  
Battaiotto, Pedro Eduardo  
Blasco Diez, Julio A.  
De Giusti, Armando Eduardo  
Flores, Roberto M.  
Giovambattista, Alberto  
Hernández Balat, Victorio  
Igolnikow, Roberto  
Liscia, Sergio Oscar  
Lopardo, Raúl Antonio  
Lorente, Hugo Enrique  
Muravchik, Carlos Horacio  
Octtinger, Carlos  
Polonsky, Abel A.  
Ringegni, Pablo Lorenzo  
Traversa, Luís Pascual  
Valla, María Inés  
Venero, Alberto  
Vescina, Roberto Enrique  
Zaritzky, Noemí Elisabet  
Zerbino, Raúl Luís

# NUESTRO PRÓXIMO NÚMERO ESTARÁ DEDICADO A

## “Transporte y Comunicaciones”

- Formación de Ingenieros en temas de Transporte y Vías de Comunicación.
- Transporte terrestre, marítimo y aéreo.
- Relaciones de costo y rendimiento en el transporte en Argentina.
- Obras planificadas/necesarias para mejorar el transporte en Argentina.
- Investigación en temáticas de transporte y vías de comunicación.
- Formación de Ingenieros en temas de Comunicaciones.
- Tecnología de comunicaciones. Evolución en el mundo y en Argentina.
- Relaciones de costo y rendimiento de las diferentes tecnologías de comunicación.
- Investigación en temáticas de comunicaciones.