

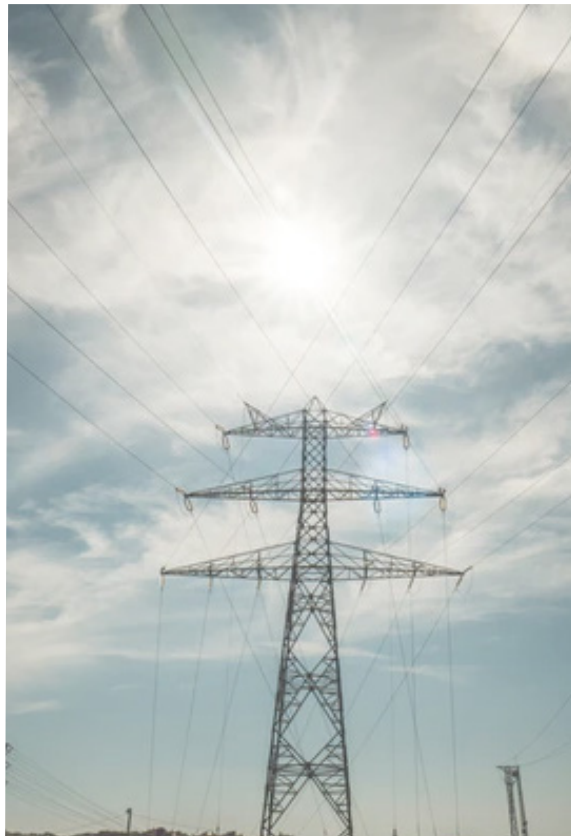


IN-GENIUM

CONOCIMIENTO Y APLICACIONES DE LA INGENIERÍA

REVISTA DE LA ACADEMIA DE LA INGENIERÍA DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES // ISSN 2796-7042

DESAFÍOS DE LA INGENIERÍA



ÍNDICE

4.

NOTA EDITORIAL

10.

ENTREVISTA AL ING. LUIS LIMA

20.

ARTÍCULO - ING. MECÁNICA, AERONÁUTICA Y NAVAL

30.

ENTREVISTA AL DR. VICENTE CAMPENNI (INVAP)

38.

ARTÍCULO - ING. HIDRÁULICA, SANITARIA Y AMBIENTAL

56.

CONFERENCIAS DICTADAS EN 2020

60.

ARTÍCULO - INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA E INFORMÁTICA

72.

RELACIONES INSTITUCIONALES DE LA ACADEMIA

74.

PREMIO "MATERIALIZACIÓN DE OBRAS DE INGENIERÍA 2020
ING. JORGE MARCELO LOCKHART"

80.

ARTÍCULO - INGENIERÍA CIVIL, GEOFÍSICA Y EN AGRIMENSURA

94.

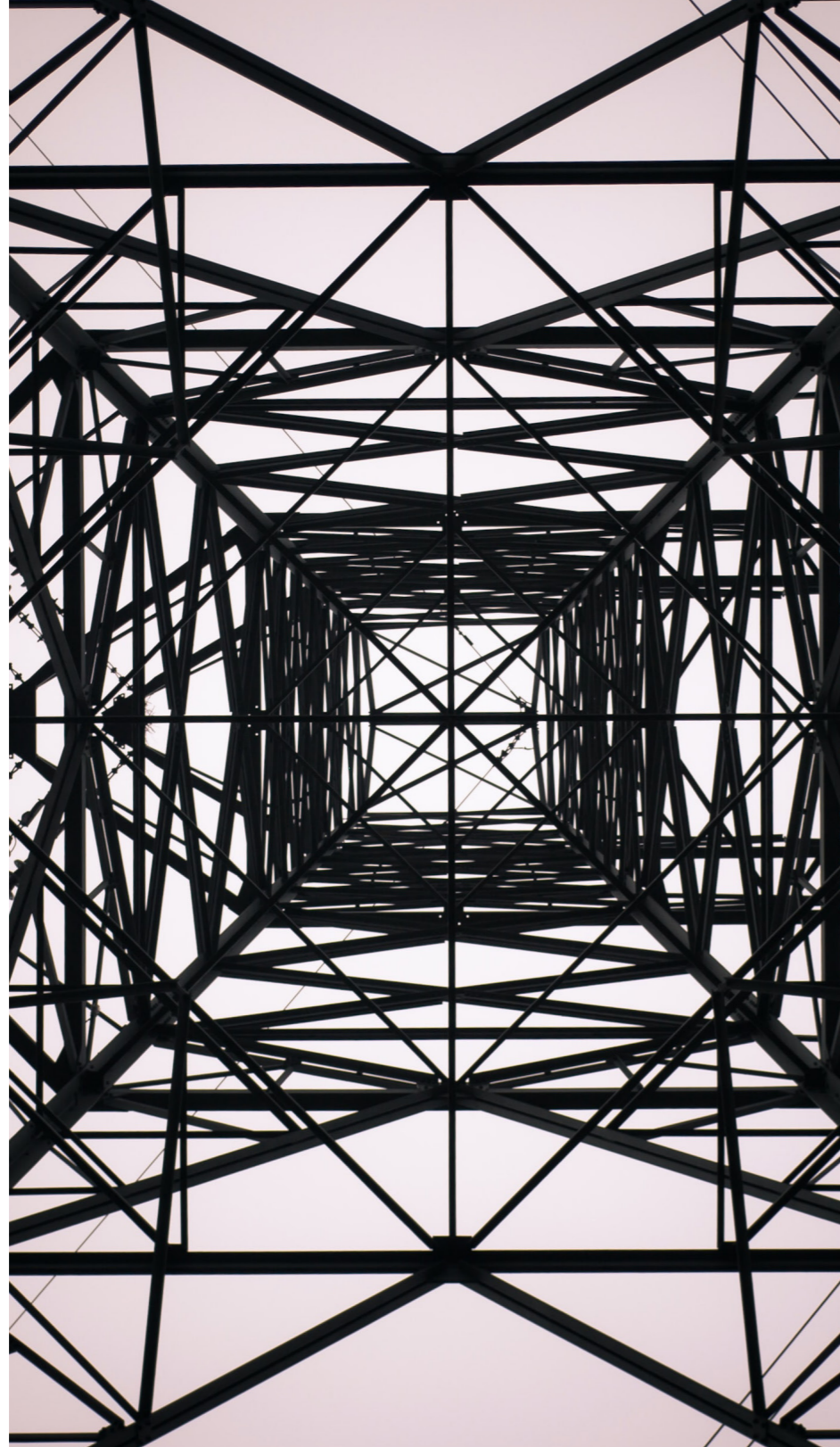
HOMENAJE AL INGENIERO MIGUEL DE SANTIAGO

102.

ARTÍCULO - INGENIERÍA INDUSTRIAL Y QUÍMICA

112.

INGENIEROS DEL FUTURO



NOTA EDITORIAL



Por
Ing. Patricia Arnera
Académica Presidente

Es un placer establecer otro vínculo de comunicación de la Academia de la Ingeniería de la Provincia de Buenos Aires, hacia la comunidad en general. En esta oportunidad lo formalizamos a través de nuestra revista semestral "In-Genium: Conocimiento y Aplicaciones de la Ingeniería", siendo esta su primera edición.

Es usual que se considere a la profesión de ingenieros como mecanicista, deshumanizada y deshumanizante, en contraposición a otras profesiones donde el ser humano aparece claramente como centro y razón de ser. Sin embargo, ser ingeniero es, literalmente, ser un profesional del "ingenio", y este es un atributo exclusivamente humano.

La Ingeniería es un instrumento poderoso de transformación de la realidad que nos rodea, debiendo lograr que esta transformación signifique un mejoramiento concreto que dé sustento a resolver problemas de la sociedad, al progreso espiritual de la comunidad y de los seres humanos que la formamos.

Ante una realidad permanentemente cambiante y manteniendo al ser humano como centro de la misma, es indudable la gran responsabilidad que poseemos quienes ejercemos esta profesión.

En forma permanente se requiere profundizar el conocimiento en las diferentes áreas y especialidades que abarcamos, para concebir soluciones originales a problemas que son cada vez más complejos con el fin de concretar aplicaciones que mejoren y no comprometan, la calidad de vida de las actuales y futuras generaciones.

Estos importantes aspectos que definen a la "Ingeniería", hemos pretendido destacarlos sintetizándolos en el nombre de esta, nuestra revista "In-Genium: Conocimiento y Apli-

caciones de la Ingeniería".

Los Objetivos de esta publicación, se corresponden con las Finalidades de nuestra Academia.

- Fomentar la Investigación y difundir los adelantos científicos y tecnológicos en relación con la Ingeniería, con el foco en el desarrollo y progreso del país.

- Presentar estudios de Ingeniería en sus diferentes especialidades, poniendo énfasis en los temas de enseñanza, investigación, desarrollo, innovación e implementación de soluciones de interés para la Provincia de Buenos Aires y el país.

- Exponer la opinión de la Academia y/o sus Académicos en temas vinculados con la Ingeniería que resulten de interés para la Provincia de Buenos Aires y el país.

- Difundir las actividades de la Academia de la Ingeniería de la Provincia de Buenos Aires, en los diferentes ámbitos de actuación.

- Establecer otro vínculo de comunicación con instituciones y personas del país y del extranjero que se dediquen al estudio de las ciencias de la ingeniería y sus aplicaciones.

- Difundir actividades cuyo objetivo sea incentivar el desarrollo de nuevas vocaciones dirigidas a la ingeniería

Para cumplir estos objetivos se ha estructurado la revista en diferentes secciones, en las cuales podrán encontrar artículos técnicos presentando nuevos desarrollos e innovaciones vinculadas a diferentes especialidades de la ingeniería; entrevistas o notas de personalidades e instituciones destacadas del quehacer profesional; como así también una síntesis de las actividades desarrolladas por nuestra Academia, destacando los premios otorgados, conferencias dictadas y la reafirmación institucional de nuestra vincu-

lación con universidades e instituciones de la región. A su vez es fundamental acercar la visión de jóvenes que han optado por abrazar esta profesión, y por dicho motivo presentamos la sección Ingenieros del Futuro, en la que jóvenes de diversas especialidades y universidades expresan sus vivencias y opiniones respecto a sus recorridos universitarios y expectativas futuras.

El lanzamiento de esta publicación, abril de 2021, ocurre en tiempos en los que aún no hemos superado la situación originada por un evento "biológico" que trascendió fronteras y condiciones económicas de los países, generando una crisis mundial y sorprendiendo a las autoridades en el manejo de este tipo de problemática. Ante situaciones de tal magnitud, donde el tiempo resulta una variable crítica para la toma de decisiones, sería de esperar que las autoridades recurran a grupos de especialistas que brinden el asesoramiento específico. Entendemos que desde las Academias se puede contribuir a este objetivo.

Resulta estratégico apoyar la investigación y a las instituciones vinculadas a ella, para poder llegar a rápidas respuestas ante situaciones de crisis.

En el transcurso de esta pandemia ha quedado de manifiesto, además de la criticidad de tener un sistema de salud sólido, la necesidad de contar con infraestructura adecuada, acorde a las exigencias de la vida moderna, donde la ingeniería posee un importante rol. Hemos evidenciado que nuestras redes de agua, cloacas, energía eléctrica, comunicaciones, transporte, incluso hospitales y escuelas, no se encuentran desarrolladas en la dimensión de lo que resulta necesario, existiendo regiones que directamente no cuentan con estos servicios, como así también en muchos casos resultaron insuficientes para los nuevos requerimientos generados en pandemia.

El primer aspecto que se evidenció en nuestro país, fue la falta de equipamiento e insumos para la atención de los posibles pacientes. La infraestructura de salud requiere ser fortalecida con equipamiento moderno y la

correspondiente capacitación de profesionales para su correcta utilización. El aporte de la Ingeniería a la salud pública es significativo y se realiza desde diversas especialidades, como ejemplo: la electrónica, mecánica y bioingeniería para el desarrollo de equipamiento específico; sensores, comunicaciones y sistemas informáticos para el seguimiento de casos, análisis de su evolución y contención de epidemias. El desarrollo de nuevos dispositivos biomédicos permitirá diagnósticos prematuros y confiables y terapias menos traumáticas.

Por otra parte, se establecieron en forma masiva nuevas formas de trabajo, de educación, de consumo y de servicios (Teletrabajo, E-Learning, E-Commerce, E-Health por ejemplo). Estos cambios han impactado sobre el consumo eléctrico, el transporte, las comunicaciones, el uso de la infraestructura edilicia, la distribución de la población, la logística de los servicios y la interacción humana entre personas e instituciones.

A su vez para quienes no cuentan con estos servicios o poseen un acceso muy restringido, se encuentran impedidos de continuar con los estudios y formación, generando un fuerte impacto en el desarrollo de niños y jóvenes, ampliando la brecha social que tenemos

Otro aprendizaje de la pandemia es la falta de planificación urbana. Barrios densamente poblados, sin servicios adecuados son sensibles al contagio masivo de sus habitantes. Se definieron "servicios esenciales", para los cuales se requiere el traslado de personal para que puedan brindarlos, sin embargo, el transporte público no posee el dimensionamiento suficiente para que se pueda utilizar cumpliendo las exigencias de distanciamiento impuestas.

Surgieron nuevos servicios vinculados a las TICs y atención dirigida al usuario como individuo. Las empresas de todo el mundo necesitaron más que nunca el apoyo de sus equipos de ingeniería, para adaptarse a las nuevas formas de funcionamiento.

En síntesis, es indudable que la Ingeniería se encuentra presente en la mayoría de las ac-

tividades de la sociedad moderna y una manera de difundir esta realidad es a través de esta revista.

En el recorrido del presente número encontrarán los siguientes artículos:

• Entrevistas a profesionales e instituciones:

- Ing. Luis Lima, Presidente Honorario de esta Academia, ha sido Rector de la Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires, Presidente de la Universidad Nacional de La Plata, Decano de la Facultad de Ingeniería de la UNLP y destacado especialista en el área civil, quien reflexiona sobre el rol de las Academias y brinda una perspectiva de la situación actual de la educación, centrándose especialmente en la formación de los ingenieros.

- Ing. Gustavo Basso, Ing en Telecomunicaciones y Doctor en Artes, experto en Acústica Arquitectónica, quien fuera reconocido por nuestra Academia, en el año 2020, con el premio "Materialización de Obras de Ingeniería - Ing. Jorge Marcelo Lockhart", por su destacada actividad en el diseño y puestas en valor de salas de música.

- Dr Vicente Campenni, Gerente General y CEO de INVAP, se refirió a los nuevos desafíos de la empresa y a la importancia de apostar al desarrollo productivo de la Argentina. También reflexionó sobre la formación académica de los ingenieros y acerca de la importancia de saber trabajar en equipos interdisciplinarios.

• Artículos técnicos seleccionados por las diversas Secciones que posee la Academia:

- Sección Ingeniería Mecánica, Aeronáutica y Naval. La actividad aeroespacial ha estado en permanente crecimiento y evolución. Con un breve recorrido desde el programa Apolo, por el cual el hombre llegó a la luna, se presenta el proyecto Artemisa, el cual se encuentra desarrollando la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio de los Estados Unidos (NASA), con participación de un conjunto de países asociados. Se trata de un programa de exploración lunar extendida, a partir del año 2024, hasta el 2030, el cual

contemplará el desarrollo de infraestructura permanente que incluirá bases, vehículos de exploración, sistemas de actividad extravehicular y especialmente, instrumentos de prospección para localizar y extraer agua. Resulta de interés ver el rol de las empresas privadas en el desarrollo aeroespacial, al igual que las posibilidades reales que posee Argentina para ofrecer experimentos, sensores o subsistemas de gran relevancia técnica que nos permitirían la participación en un proyecto de tanta importancia para la humanidad.

- Sección Ingeniería Civil, Geofísica y en Agrimensura. Trabajo en el que se presenta el desarrollo de un hormigón capaz de autorrepararse por la acción de bacterias que se introducen en él, de manera que sus esporas, al ponerse en contacto con la humedad, se activan, absorben y metabolizan el alimento que se ha introducido a ese fin en el hormigón, iniciando un proceso químico que permite sellar las fisuras por las que ha entrado la humedad que las activó. Este desarrollo permite mejorar las condiciones de inspección y mantenimiento del hormigón de grandes obras donde resulta difícil el acceso.

- Sección Ingeniería Hidráulica, Sanitaria y Ambiental. Artículo que describe una aplicación en línea que permite visualizar los mapas de valores de lluvias extremas en la República Argentina. La información es un valor de referencia a nivel regional, que puede ser utilizada para diseño hidrológico y evaluación de severidad de eventos extremos de precipitación, para el diseño de obras hidráulicas de pequeña y mediana envergadura. La disponibilidad de mapas de precipitación extrema de alta calidad y actualizados es fundamental para el manejo hidrológico, especialmente en áreas donde se asientan poblaciones de alta vulnerabilidad, ya que permite desarrollar las acciones necesarias para mitigar el impacto de las amenazas hidrológicas, a través de una estimación confiable de magnitud de la precipitación esperada en eventos futuros según la relevancia

del proyecto. Esta temática es sensible para el desarrollo de obras en la propia provincia de Buenos Aires, contemplando particularmente las constantes áreas anegables que posee.

- Sección Ingeniería Industrial y Química. La incorporación de fuentes de energía renovable para la generación de energía eléctrica, posee como inconveniente la variabilidad del recurso primario, requiriendo para su mejor aprovechamiento contar con almacenamiento de energía. Los acumuladores de litio son uno de los dispositivos con mayor capacidad para almacenar esa energía. Por otra parte, los vehículos eléctricos ya son una realidad en el mercado, y estos también utilizan principalmente acumuladores de litio. Argentina además de contar con recursos renovables distribuidos en todo el país, también posee importantes yacimientos de Litio. Se presenta una mirada técnico-económica de las tecnologías de litio (Li) en Argentina y la importancia de su desarrollo para la economía del país.

- Sección Ingeniería Eléctrica, Electrónica e Informática. Un ejemplo claro de la interacción que posee la ingeniería con el área de salud y en particular en tiempos de pandemia es el desarrollo presentado en este artículo. Se trata de sistema de monitoreo y control a distancia de glucemia en pacientes hospitalizados o aislados con COVID-19. La plataforma tiene su origen en un desarrollo para ensayos clínicos de sistemas de páncreas artificial, denominado InsuMate, que permite la conexión de forma inalámbrica entre un teléfono inteligente, sensores continuos de glucosa y bombas de infusión continua de insulina, como así también ejecutar en tiempo real un algoritmo de control glucémico. Ante la situación planteada por la pandemia, se desarrolló un Módulo de Monitoreo Remoto (MR) que ha resultado de gran utilidad en el contexto de emergencia existente, habiéndose validado su correcto funcionamiento tanto para uso ambulatorio como hospitalario.

• Homenaje a una personalidad destacada: En este primer número de la revista hemos querido brindar nuestro homenaje a la figura del Ing. Químico Miguel de Santiago, quien fuera Presidente de nuestra Academia. A través de la lectura del artículo escrito por la Dra. Noemi Zaritzky, podrán conocer además de la biografía del Ing. de Santiago, los importantes cargos y logros obtenidos, con el merecido reconocimiento que ha recibido en todos los ámbitos en los que ha participado.

• Conferencias dictadas: En el marco del "Programa Ing. Miguel de Santiago: Estudio y análisis de problemas trascendentes de la Argentina con soluciones técnicas", organizamos conferencias y seminarios con la participación de importantes especialistas de las diferentes temáticas abordadas.

Durante el año 2020 no hemos sido ajenos a la situación general de aislamiento y tal como lo han hecho otras instituciones, también implementamos el desarrollo en línea de las conferencias. Indudablemente fue destacada la cantidad de participantes que tuvimos, además de haber podido concretar una mayor cobertura geográfica. En esta sección podrán encontrar, una breve presentación del disertante, un resumen del tema y el vínculo para acceder a la grabación de cada conferencia, las cuales fueron:

- Inteligencia de datos y Big Data. Dra. Laura Lanzarini.
- Ciudades inteligentes y sostenibles. Dra. Elsa Esteves
- Eficiencia energética en la edificación: sistemas y tecnologías sustentables. Ing. José Luis Larrégola Ferrer:
- La energía después de la pandemia. El futuro de la energía en Argentina y el mundo. Ing. Hugo Carranza.
- La petroquímica como agregadora de valor al gas natural de vaca muerta. Ing. Jorge de Zavaleta.

• Relaciones Institucionales
Nuestra Academia es integrante del Sistema

Científico de la Provincia de Buenos Aires, en dicho rol estamos ratificando esa pertenencia firmando convenios de cooperación con las Universidades con sede en la provincia de Buenos Aires. Ya lo hemos hecho con:

- Universidad Nacional de La Plata (UNLP) – Presidente Dr. Fernando Tauber.
- Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires (UNNOBA)- Rector Dr. Guillermo Tamarit.
- Universidad Nacional del Sur (UNS)–Rector Dr. Daniel Vega

• Ingenieros del Futuro

En esta sección acercamos las experiencias de jóvenes estudiantes de diversas especialidades y universidades, quienes expresan sus vivencias y opiniones respecto a sus recorridos universitarios y expectativas futuras. Ellos son:

- Gianluca Lombardo, estudiante de Ingeniería Mecánica - Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires (UNNOBA).
- Ana Clara Graff, estudiante de Ingeniería Química -Universidad Nacional del Sur (UNS)
- Julia Cantando, estudiante de Ingeniería Electricista – Universidad Nacional de La Plata (UNLP)

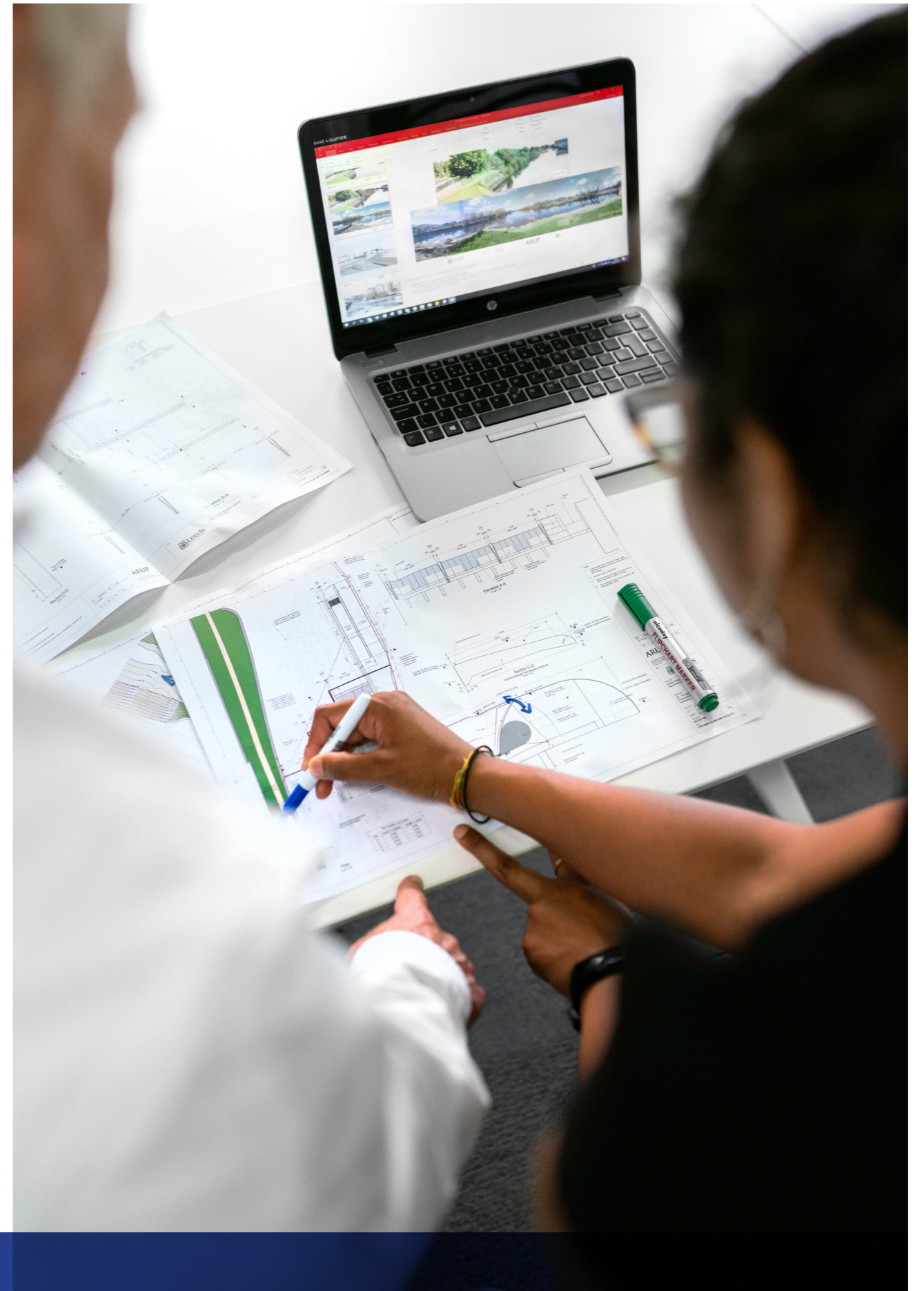
Esperamos que resulte de vuestro interés el material que les brindamos, a través del cual pretendemos fortalecer nuestra comunicación con ustedes, nuestros lectores.

Finalmente, deseo agradecer a los Académicos que han contribuido con los contenidos de este primer número, al equipo técnico que ha colaborado en la edición de la Revista y a la Universidad Nacional de La Plata por su apoyo a esta iniciativa.

“ QUE FALTAN INGENIEROS DE TODAS LAS ESPECIALIDADES EN ARGENTINA, ES UN DATO DE LA REALIDAD. AL MENOS DE LA REALIDAD DE QUIENES QUEREMOS QUE EL PAÍS CREZCA Y SE DESARROLLE ARMÓNICAMENTE ”



El Ing. Luis Lima reflexiona sobre el rol de las Academias y analiza la situación actual de la educación, especialmente la vinculada a la formación en las ingenierías en nuestro país.



Ud. ha sido Presidente de la Academia de la Ingeniería de la Provincia de Buenos Aires desde el año 2015 al año 2020 y actualmente es Presidente Honorario de la misma. ¿Cuál es su visión sobre la evolución de la Academia y cuáles son los objetivos más significativos que ha cumplido y debiera cumplir en el futuro?

Consideremos, en primer término, qué representan las Academias analizadas genéricamente. En tal sentido podemos definir las como un colectivo de personas que han hecho esfuerzos sostenidos para adquirir conocimientos de singular nivel pero que, además, han sabido transformar este conocimiento en sabiduría. En otras palabras, una Academia propiamente dicha no es solo un conjunto de buenas curriculas, es más bien un sistema de saberes, diversos pero complementarios.

Por supuesto que no todas las instituciones que se denominan "Academia" encuadran en tal denominación. Solo nos estamos refiriendo a las que si lo hacen.

Volviendo a nuestro asunto las Academias, aunque reúnan a científicos y estudiosos, son más que solo un conjunto de especialistas formados en similar temática y abocados a un mismo trabajo. Son mucho más que eso, son el modo de materializar la puesta en contacto directo y conjunto de un grupo de personas de capacidad probada y cuyas opiniones, aunque fundadas en saberes disímiles, por las diversas especialidades que han conseguido, tienen particular interés para los otros. El debate incondicional es el atributo esencial de la vida académica, debate que no se somete a otras reglas que la honestidad de quienes opinan y el respeto más absoluto y cortés para quienes no piensan igual. Eso, no pensar igual, es uno de los motores fundamentales de los debates académicos y del progreso del conocimiento.

Tomemos una referencia históricamente cercana. Cuando se crea en 1582 la Academia de Matemáticas de Madrid, luego

denominada de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, se le fijó el siguiente cometido: 1) crear en España una base científica suficiente para luego abordar y desarrollar las ciencias aplicadas -yo diría, mejor, la aplicación de las ciencias naturales-; 2) publicar trabajos originales de sus miembros y traducir al castellano obras científicas de nota.

Con el correr del tiempo se incorporaron a las Academias otras tareas de similares características: 1) cualquier persona que creyese haber encontrado una verdad científica novedosa, podía enviarla a la Academia para que se la analizase y juzgase - la Academia de Ciencias de París, a fines del siglo XIX, tenía tal cantidad de ponencias de quienes creían haber encontrado una máquina de movimiento continua, que decidió no aceptar más-; 2) aun cuando en el siglo XIX y principios del XX, los científicos comenzaron a publicar sus trabajos en revistas especializadas que sustituyeron las actas de las Academias, antes de hacerlo en general los leían en una sesión de la Academia. Por ejemplo Albert Einstein, antes de publicar en 1905 su teoría restringida de la Relatividad, la presentó en varias sesiones sucesivas de la Academia de Ciencias de Berlín. Finalmente, las publicaciones especializadas sustituyeron casi completamente a las Academias en esta función de "dar a conocer" el conocimiento de vanguardia. Pero esta forma de proceder pareciera que también se está modificando con la aparición progresiva de una nueva tendencia: en ciertas áreas de la comunidad científica de élite se ha comenzado a no publicar en revistas los nuevos hallazgos, simplemente se los sube a una página de Internet. Por ejemplo eso fue lo que hizo Gregory Perelman, de la Universidad de San Peterburgo cuando demostró la Conjetura de Poincaré, un hecho matemático aún más importante que la demostración del último teorema de Fermat.

“ EL DEBATE INCONDICIONAL ES EL ATRIBUTO ESENCIAL DE LA VIDA ACADÉMICA, DEBATE QUE NO SE SOMETE A OTRAS REGLAS QUE LA HONESTIDAD DE QUIENES OPINAN Y EL RESPETO MÁS ABSOLUTO Y CORTÉS PARA QUIENES NO PIENSAN IGUAL. ESO, NO PENSAR IGUAL, ES UNO DE LOS MOTORES FUNDAMENTALES DE LOS DEBATES ACADÉMICOS Y DEL PROGRESO DEL CONOCIMIENTO ”

Respecto a la Academia de la Ingeniería de la Provincia de Buenos Aires en particular, nos vamos a encontrar con que preservar el conocimiento y la sabiduría en un país en el que las más altas autoridades institucionales descreen de la meritocracia, y usan esta palabra de sonoridad despectiva para referirse a aquellos que hicieron el esfuerzo de estudiar con constancia y de aprender estudiando, no parece una tarea fácil. No es una tarea fácil si, desde el Ministerio de Educación de la Nación se avala esta postura oponiéndose a calificar a los estudiantes, es decir, a evaluarlos para que adviertan, quienes han estudiado seriamente, si han logrado aprender. En otras palabras, si el esfuerzo por ellos realizado ha sido fructífero. Esto nos está indicando la importancia de las Academias y lo imprescindible de llevar adelante su quehacer específico pues es una tarea imprescindible para beneficio de la Nación. Hoy más que nunca.

Nuestro Estatuto expresa formalmente, como cometido esencial de la Academia: congregar a personalidades destacadas, difundir en la comunidad toda las mejores manifestaciones del saber, expresar opinión cuando se lo estime conveniente, vincularse con científicos del resto del mundo y crear una tribuna para difundir ideas.

Como surge de lo analizado, las tareas que hoy en día marcan el accionar de una Academia son muchas y diversas. Voy a marcar las que considero más importantes y permanentes:

1. Privilegiar la excelencia intelectual y la generación de pensamiento creativo.
2. Ser un ejemplo de honestidad intelectual en la generación y difusión de las ideas.
3. Defender sin claudicaciones, en el campo que sea, el respeto absoluto por el prójimo, por las ideas del prójimo y por su derecho a expresarlas, se compartan o no.

En su dilatada trayectoria académica Ud. ha sido Decano, Presidente de la UNLP y Rector de la UNNOBA. ¿Cómo cree que pueden interactuar las Universidades de la Provincia con la Academia de la Ingeniería?

Para comenzar, voy a colocar la respuesta en el plano ético, que es el que hoy me interesa analizar y, dentro de él, lo primero que hay que hacer es ubicarnos en el contexto adecuado.

Todos los habitantes de Argentina, a través del Estado, financian las Universidades Públicas para que, además de dar respuesta a los cometidos universales de toda Universidad que merezca el nombre de tal, formen para el país los recursos humanos calificados y especializados que este necesita para su desarrollo y progreso. Ello implica que quienes enseñen deben ser siempre los mejores y en esto la Academia puede tener mucho que aportar, pues este criterio de excelencia es su razón de ser y el que guía su accionar.

Creo también que la gratuidad de la enseñanza es un derecho y, como todo derecho, implica una obligación para quienes lo usufructúan, aprovechar esta enseñanza para transformarla en propio aprendizaje. Por otra parte, ya que la enseñanza es gratis porque la sociedad en su conjunto la sostiene, es esencial honrar esta deuda haciendo los esfuerzos necesarios para transformarse, su usufructuario, en un integrante útil de dicha sociedad.

Como se puede ver, mi concepción de qué debe ser una Universidad Pública es esencialmente Reformista, por lo que en ella siguen teniendo plena vigencia ciertos conceptos básicos del Manifiesto de 1918. Rescatando algunos de los que ahora vienen al caso, la Universidad no puede ser "el refugio secular de los mediocres, la renta de los ignorantes, la hospitalización segura de los inválidos y (lo que aún es peor) el lugar en donde todas las formas de tiranizar y de insensibilizar hallaron la

“ ELLO IMPLICA QUE QUIENES ENSEÑEN DEBEN SER SIEMPRE LOS MEJORES Y EN ESTO LA ACADEMIA PUEDE TENER MUCHO QUE APORTAR, PUES ESTE CRITERIO DE EXCELENCIA ES SU RAZÓN DE SER Y EL QUE GUÍA SU ACCIONAR ”

cátedra que los dictara” y agrega, además, que “solo podrán ser maestros.... los verdaderos constructores de almas, los creadores de verdad, belleza y bien”

En consecuencia, el apoyo que puede y está en condiciones de brindar la Academia ha de ser solo para Universidades que cumplan con estos objetivos, entre las que se podrían incluir las Universidades Privadas que la Academia considere que avanzan por el mismo camino.

En última instancia, lo primero que hay que desbaratar son “los intereses creados en torno a los mediocres”.

La Academia de la Ingeniería de la Provincia de Buenos Aires señala entre sus objetivos “Fomentar la investigación y difundir los adelantos científicos y tecnológicos en relación con la ingeniería, propendiendo al desarrollo y progreso del país”. ¿Cuál es la vinculación actual con el sector científico-tecnológico de la Provincia de Buenos Aires y cómo entiende que puede incrementarse dicha vinculación?

La Academia integra, por ley, el Sistema Científico de la Provincia de Buenos Aires lo que implica una vinculación directa y permanente con todos los centros de la CIC, además nuestra actual sede física está en el LEMIT, que es un centro dependiente de la Comisión de Investigaciones Científicas provincial.

Actualmente se están tramitando convenios entre la Academia y las Universidades con sede en la Provincia. A partir de ellos, creo que una vía interesante de interactuar sin interferir es aportar, a los grupos de estudio que lo requieran, el conocimiento de punta que los Académicos poseen, sus contactos internacionales y su saber-hacer.

Por otra parte, se realizan permanentemente conferencias a cargo de los propios Académicos o de personalidades relevan-

tes en las diversas especialidades, que apuntan a la difusión del conocimiento. El texto de las cuales se encuentra en la página web de la Academia.

Las vocaciones por los estudios universitarios de grado y postgrado en Ingeniería son relativamente bajas en Argentina y hay una voluntad por hacer crecer la formación de recursos humanos en estas áreas. ¿Cómo cree que se pueden fomentar las vocaciones por el estudio de las Ingenierías? ¿Cuál podría ser el aporte de la Academia de la Ingeniería de la Provincia de Buenos Aires?

Que faltan Ingenieros de todas las especialidades en Argentina, es un dato de la realidad. Al menos de la realidad de quienes queremos que el país crezca y se desarrolle armónicamente. Pero dudo que, al menos en el Estado, haya voluntad por incrementar la formación de recursos humanos en ingeniería en el país. Me refiero a la formación de Ingenieros de buen nivel, capaces de generar pensamiento original y creativamente. Esto no tiene nada que ver con el solo hecho de incrementar las titulaciones, lo que a nada bueno conduce.

Mi descreimiento se basa en varios factores evidentes y de peso, fundamentalmente en los tres que siguen:

a) El trato que se da genéricamente a los Ingenieros, a los que en general no se los valora por lo que son, por lo que han hecho y por los conocimientos que poseen, sino por la Empresa en la que están empleados. Esto influye en algo que tiene incidencia en la existencia de vocaciones: los ingresos que se tendrán en el ejercicio de la profesión. Lo digo pues en las circunstancias planteadas, que son las que hoy imperan, los Ingenieros solo cobran un sueldo, el que les paga la Empresa, mientras que esta se queda con los honorarios de ley, mucho más significativos económicamente. Esto no siempre fue así, pero se

ha llegado a ello, a la inexistencia del Ingeniero independiente, principalmente en lo que va del siglo XXI.

Revertir esta situación va a ser un indicio importante: el proyecto y la dirección técnica de las obras grandes y medianas debe quedar en manos de quienes se han preparado para ello y están en condiciones de demostrar su solvencia.

b) Lo largo y arduo que resulta estudiar la mayoría de las especialidades de la Ingeniería, principalmente las más antiguas, en las cuales las posibilidades laborales para las que el título habilita son tantas y tan variadas que prácticamente nadie las aprovecha a todas en su vida profesional activa. Un caso paradigmático es el de la Ingeniería Civil en el cual, más allá de los estudios básicos imprescindibles e inevitables, el estudiante debe aprender particularidades de especialidades que jamás empleará. Incluso las propias de la rama profesional en la que elija ejercer, los conocimientos más recientes y novedosos van a tener una reducida vigencia, pues son permanentemente sustituidas por nuevos resultados de la experiencia, del conocimiento científico y de las aplicaciones prácticas de ambos.

c) El desconocimiento general de la fundamental importancia y relevancia de las Ingenierías en el sostenimiento de las sociedades humanas actuales, su desarrollo armónico y evolución, lo que incluye a los eventuales estudiantes.

En resumen, se les paga mal, deben estudiar mucho y no tienen el reconocimiento social que debieran. Visto así no resulta muy atractivo, salvo para las vocaciones fuertes y afirmadas, estudiar para ejercer como Ingeniero.

La pregunta que sigue es cómo se hace para encarar y comenzar a superar los tres problemas básicos anteriores. Lo que yo creo es lo siguiente:

a) Decidir qué Ingenieros se harán cargo del proyecto y realización de las obras medianas y grandes, en función de sus antecedentes, estudios y saber-hacer acreditados fehacientemente. Es un sinsentido entregarlas en función de la capacidad financiera de las Empresas que las van a construir y que son las que tienen empleados Ingenieros cuya calidad y competencia poco importan.

b) Organizar racionalmente los estudios de las Ingenierías, adecuándolos a los tiempos que corren y al cúmulo de conocimientos que existen y, principalmente, que se van originando en forma permanente y acelerada, como sugiero hacerlo en el punto 5 siguiente. No desconozco que este camino debe salvar un escollo grave: debe modificarse completamente la forma de acreditar incumbencias profesionales.

c) Hacer conocer al gran público, y en particular a los futuros estudiantes, la importancia que han tenido las Ingenierías en el desarrollo de las civilizaciones humanas. Y esto ocurre desde los mismos orígenes de la hominización, hace unos 2.500.000 de años. Toda la adaptación del medio a las necesidades de hombre, con sus pro y sus contras, es obra de la Ingeniería.

Fundamentalmente en la actualidad, en que la conocida supervivencia del más apto darwiniana, de origen genómico, va siendo sustituida por las posibilidades de acceso a las más modernas tecnologías, es más necesaria que nunca esa difusión.

En su experiencia como docente e investigador, cuáles serían los aspectos más significativos a considerar en el currículo de formación de Ingenieros en Argentina? ¿Qué cambios cree que podrían favorecer la formación de recursos humanos de calidad en áreas críticas de la Ingeniería?

Una primera aclaración imprescindible es que las áreas críticas de las Ingenierías no son siempre las mismas, cambian y se modifican a un ritmo imposible de prever o, al menos, muy difícil de hacerlo. Esto nos lleva a que, cuando aparece la necesidad de contar con un cierto número de Ingenieros bien preparados en un área crítica emergente y bien determinada, ya no hay ninguna posibilidad de formarlos, al menos de formarlos con el sistema actual de estudio de las carreras de Ingenierías y la forma y oportunidad en que estas otorgan incumbencias profesionales.

Tampoco es solución tenerlos ya formados, a la espera que aparezca el área crítica de su especialidad, que además puede no hacerlo nunca. Pues los conocimientos específicos adquiridos durante la carrera de grado seguramente ya han sido superados y la velocidad de esta superación es cada vez mayor. Un ejemplo elemental pondrá este problema en blanco sobre negro. La que podemos considerar primera realización técnica significativa del hombre, la industria lítica "olduvayense", se aplicó casi sin variaciones en muy diversas regiones del mundo durante algo así como 1.500.000 años, cuando fue sustituida progresivamente por la industria lítica "achelense", que duró un poco menos, unos 1.200.000 años. Hoy en día cualquier usuario de artefactos electrónicos (computadoras, celulares, máquinas fotográficas) es testigo directo de lo vertiginoso del cambio y sustitución de conocimientos recientes por otros aun más recientes. A esta velocidad de sustitución de conocimientos es a la que me refiero, que de ningún modo puede ser ignorada por los Planes de Estudio actuales de las Ingenierías.

Mi impresión es que hay que visualizar y realizar cambios. Cambios que hoy son drásticos porque no se los encaró a tiempo. Hay que cambiar tanto la estructura de los Planes de Estudio de las Ingenierías, cuanto la forma de alcanzar las incum-

“ HAY QUE CAMBIAR TANTO LA ESTRUCTURA DE LOS PLANES DE ESTUDIO DE LAS INGENIERÍAS, CUANTO LA FORMA DE ALCANZAR LAS INCUMBENCIAS QUE LAS CORRESPONDIENTES TITULACIONES OTORGAN ”

bencias que las correspondientes titulaciones otorgan. Más aún, posiblemente las titulaciones de base no deban otorgar incumbencias para el ejercicio profesional responsable, en principio deben habilitar para alcanzar nuevos conocimientos vinculados a determinadas especializaciones que él mismo debe decidir cuáles son. Es a partir de todo este aprendizaje posterior a los estudios básicos, que se decidirá qué es lo que cada Ingeniero puede hacer como tarea profesional y la forma de acreditarlo.

Yo pienso que la formación de recursos humanos de calidad en cualquier área de la Ingeniería, no solo en las que hoy son críticas y que muy probablemente cuando se reciban los que hoy están estudiando no lo van a ser, pasa por los siguientes puntos:

a) Una formación básica sólida, completa, de la mejor calidad posible y bien fundada. ¿Qué implica todo esto? Implica que esta formación básica debe ser más que suficiente para que el que la adquiera esté en condiciones de acceder a, y entender, los más nuevos conocimientos y procederes que surjan en la especialidad en la que ha decidido incursionar para luego ejercerla profesionalmente. Y esto, con los complementos necesarios llegado el caso, debería ocurrir durante toda la vida profesional activa del Ingeniero.

En otras palabras, habría una primera titulación que garantice que el titulado está en condiciones, por haber adquirido los conocimientos básicos necesarios, de seguir formándose en la especialidad de su elección.

b) Lo que vendría luego es lo que suele denominarse educación continua durante toda la vida, la existencia de una amplia gama de posibles especializaciones sustentadas por la realización de sucesivos estudios de especialización, de nivel de exigencia y conocimientos creciente, en un área específica. Básicamente estos es-

tudios, más las obras que ellos le hayan permitido realizar con éxito, irán determinando qué trabajos ingenieriles están en condiciones de encara en cada etapa de su vida útil como profesional activo. Estoy hablando de incumbencias variables, en otra oportunidad podemos analizar cómo implementarlas.

Me inclino por pensar que a cada cual se le debe permitir hacer, profesionalmente, lo que efectivamente ha demostrado estar en condiciones de hacer.

No creo en certificados que digan “este señor sabe hacer tal cosa”, aunque nunca la haya hecho ni demostrado que está en condiciones de encararla con éxito. Privilegio el ser cierto por sobre las certificaciones burocráticas.

Cerrando este breve reportaje. ¿Cómo cree que puede mejorarse todo el proceso educativo desde la Escuela a la Universidad para favorecer el aprendizaje y la generación de conocimiento en áreas vinculadas con la Ingeniería?

Educación es formar seres humanos aptos para convivir en una sociedad organizada, es decir que la educación tiene, en todos sus niveles, un sentido social claro, formar para la convivencia y para poder participar en forma activa en la permanente construcción que requieren todas las sociedades.

Los niveles de educación primario y secundario son los encargados de formar el ciudadano útil que indicamos, por lo que todos los habitantes de un país debieran cumplirlos y aprobarlos. Aprobarlos en el sentido de haber alcanzado los saberes y competencias que para el rol señalado se requieren.

Desde mi punto de vista, las “áreas vinculadas con la Ingeniería” solo deben aparecer, al menos de modo específico, en el nivel universitario y de eso hemos hablado en otros puntos de esta entrevista. Por consiguiente en lo que sigue me voy a re-

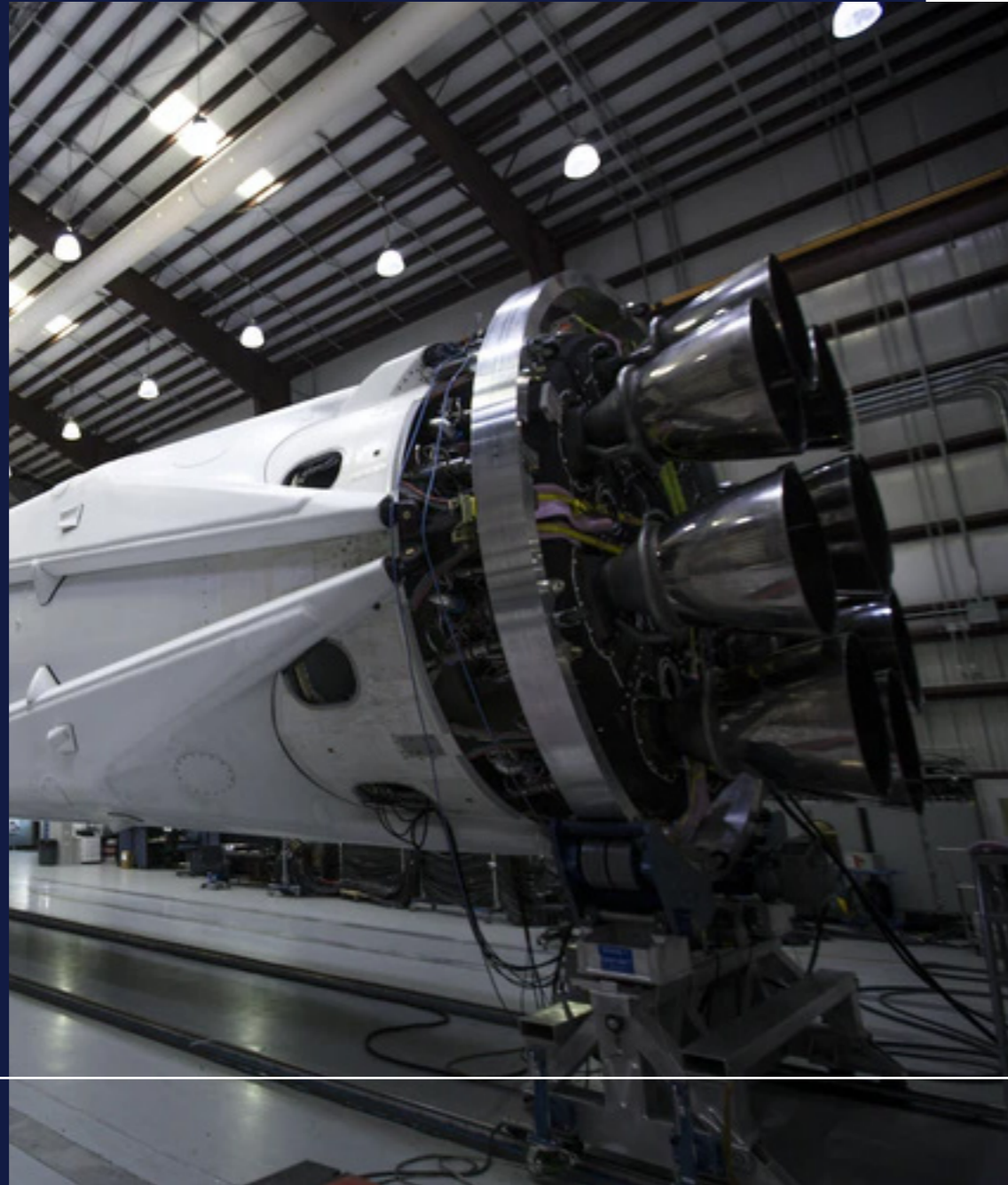
ferir a la educación, en cualquiera de sus niveles, como el proceso de formación de seres humanos integrados a una sociedad determinada.

En estas condiciones, educar es esencialmente enseñar a pensar por uno mismo a partir de datos y experiencias externas. Es enseñar, a todos sin excepciones, a generar pensamiento propio, crítico y original. Nótese que es completamente distinto enseñar a pensar, a generar pensamiento creativo, que enseñar qué pensar. Es solo lo primero lo que entiendo como educación. Lo otro es adoctrinamiento, lo que nunca es aceptable, independientemente de la intención con que se diga que se lo hace.

En los primeros pasos del proceso educativo, los “datos externos” los debe dar el Maestro y, en base a ello, el alumno podrá juzgar la validez de lo que encuentre por sí mismo.

En la realidad actual, este proceso se puede ver seriamente distorsionado debido a que, hoy por hoy, la información disponible es excesiva y en general no está suficientemente verificada ¡pero está al alcance de todos! De todos sin excepciones. Esto nos lleva a una conclusión compleja: la educación ahora no solo consiste en transformar la información en formación como ha ocurrido siempre sino que, previamente a ello, se deberán dar ciertos lineamientos básicos para que quien recibe la información esté en condiciones de evaluarla y valorarla. Lo que no es nada fácil, pero es imprescindible.

Una enseñanza que haga que el estudiante sea capaz de generar pensamiento original y creativo, es sin duda una plataforma inestimable para encarar el estudio de las Ingenierías, cuyo ejercicio profesional es un permanente generar respuestas originales para problemas concretos.



INGENIERÍA
MECÁNICA,
AERONÁUTICA Y
NAVAL

EL PROGRAMA ARTEMISA DE LA NASA Y PROYECTOS PRIVADOS DE EXPLORACIÓN ESPACIAL TRIPULADA

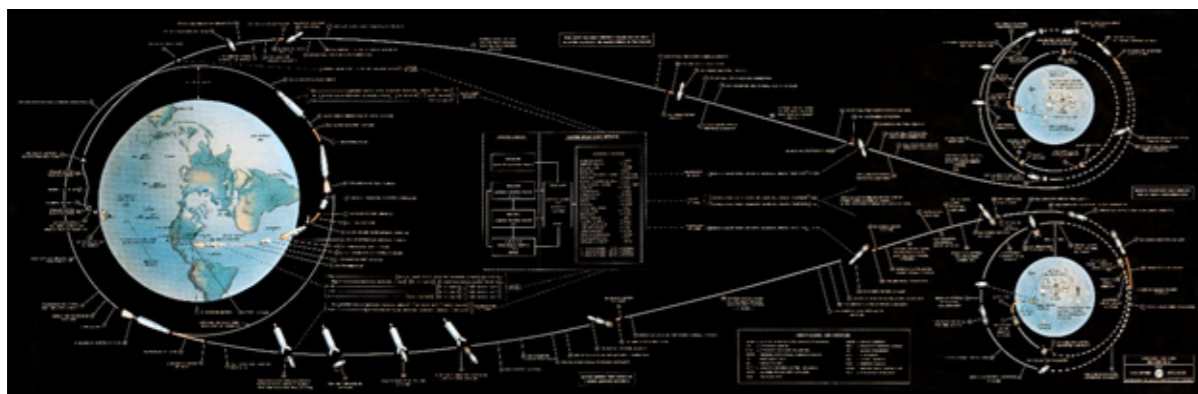
DR. PABLO DE LEÓN

¹ DIRECTOR DEL LABORATORIO DE VUELOS ESPACIALES TRIPULADOS EN LA UNIVERSIDAD DE NORTH DAKOTA, E INVESTIGADOR EXTERNO DE LA NASA. DISEÑADOR DE TRAJES ESPACIALES AVANZADOS PARA LA LUNA Y MARTE.

RESUMEN

La Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio de los Estados Unidos (NASA), se encuentra desarrollando el proyecto Artemisa, que consiste en el retorno a nuestro satélite natural, más de medio siglo después que las misiones Apolo completaran la primera serie de exploraciones tripulada en la luna. Este nuevo proyecto, compromete a la agencia espacial norteamericana y a un conjunto de países asociados, en establecer un programa de exploración lunar extendida, a partir de 2024, hasta el 2030, el cual incluirá el desarrollo de infraestructura permanente que incluirá bases, vehículos de exploración, sistemas de actividad extravehicular y especialmente, instrumentos de prospección para localizar y extraer agua del cráter Shackleton en el polo sur lunar.

Asimismo, varias empresas privadas, entre las que se encuentran SpaceX y Blue Origin, están revolucionando los sistemas de transporte espacial, con el desarrollo de vehículos reutilizables, que han reducido drásticamente los costos de la puesta en órbita de cargas útiles espaciales, lo cual da sustento a los planes de la NASA para un desarrollo continuado del espacio más allá de la órbita baja terrestre, y con el objetivo posterior de la exploración tripulada del planeta Marte.



Trayectoria de las naves espaciales del Programa Apolo (Cortesía NASA).

INTRODUCCIÓN

El programa Apolo, sin ninguna duda, fue el proyecto científico/tecnológico más importante del siglo XX y posiblemente uno de los más relevantes de la historia de la humanidad. El hecho de que doce seres humanos hayan caminado, por primera vez, en la superficie de otro cuerpo celeste diferente al que nos vio nacer, es sin ninguna duda un avance tecnológico que difícilmente podrá volver a ser replicado. Durante el fin del programa Apolo, en 1972, el interés de la opinión pública y los fondos públicos del gobierno de los Estados Unidos, una vez ganada esa porción de la Guerra Fría que se dio en llamar la Era Espacial, giraron hacia intereses más terrestres. Disturbios raciales en los Estados Unidos, la guerra de Vietnam y la crisis del petróleo de los años 70 fueron algunos de los eventos que redireccionaron los objetivos del programa espacial hacia metas más conservadoras. La respuesta de la NASA a esta necesidad de disminuir los costos del programa espacial norteamericano fue el Transbordador Espacial o Space Shuttle. El Transbordador Espacial dominó los presupuestos e intereses científicos de la NASA por los próximos 30 años desde 1981 hasta el 2011, donde un segundo accidente trágico del transbordador Columbia (en 2003) terminó de sellar su destino como una nave espacial extremadamente cara y peligrosa de operar, que no cumplió con

las expectativas de reusabilidad y bajo costo que habían propuesto sus creadores. Después de algunos años con varios proyectos inconclusos, como el recordado X-33 VentureStar de la Lockheed-Martin y otros intentos igualmente fallidos, en el año 2017 se propone un nuevo programa de exploración lunar llamado Artemisa (Artemis). Lo inesperado de este anuncio de los Estados Unidos obedeció a dos elementos; el primero mantener el dominio de los Estados Unidos en el espacio (en particular en el campo de los vuelos espaciales tripulados) y segundo, la aplicación práctica de los avances tecnológicos realizados en las últimas décadas para la realización de misiones extendidas a nuestro satélite natural, que tengan como objetivo ya no puramente la exploración con intereses científicos, sino la explotación de los recursos naturales existentes en la luna. Este nuevo proyecto, llamado Artemisa en referencia a la hermana gemela de Apolo, tenía en un principio el objetivo de volver a poner pies en la luna antes del 2024. La razón específica de acelerar un programa, dando un relativamente breve lapso entre anuncio y ejecución, obedecía a una decisión política asociada con la administración anterior de los Estados Unidos, con lo cual es posible que este plazo para la primera misión de descenso lunar sea movido hasta 2026 al menos.



X-33 VentureStar (Cortesía NASA).

EL PROGRAMA ARTEMISA

Este nuevo programa de la NASA ha sido planeado en dos etapas. Como comentamos anteriormente, la primera tiene como objetivo retornar seres humanos a la luna para el año 2024. Uno de los objetivos concretos era que, en este caso, una mujer sería la primera en volver a poner pie en la luna después de 50 años de paréntesis de misiones tripuladas a ese cuerpo celeste. Recordemos que, durante las primeras décadas del programa espacial norteamericano, sólo los hombres podían formar parte del cuerpo de astronautas y recién para la década del '80, con el advenimiento del Transbordador Espacial, se sumaron astronautas del género femenino.

Esta primera fase de exploración dentro del programa Artemis dependerá de la utilización de un nuevo vehículo portador llamado Space Launch System o sistema de lanza-

miento espacial (SLS) el cual transportará una cápsula cónica similar a la utilizada en el programa Apolo, pero de mayor volumen y prestaciones, llamada Orión. Esta cápsula, una vez en órbita terrestre en una órbita de estacionamiento, en donde se realizarán los chequeos preliminares, realizará una maniobra conocida como Translunar Injection (TLI) la cual la pondrá en una trayectoria de intersección con la luna en un vuelo de aproximadamente 3 días de duración. En este punto la cápsula Orión se acoplará con una estación orbital lunar llamada Gateway. El Gateway será un conjunto de módulos, la cual poseerá dos elementos básicos, uno llamado Power and Propulsión Element (PPE), que provee propulsión y potencia eléctrica, y el segundo llamado Habitation and Logistics Outpost (HALO) que será donde vivirán y trabajarán los astronautas durante el ascenso y descenso en la luna. El HALO es básicamente un módulo habitable de tamaño



Logotipo del Programa Artemisa (Cortesía NASA).

similar a uno de los módulos de la Estación Espacial Internacional, pero con el beneficio de estar conectado al PPE, con su sistema de propulsión que le permitirá estar en una órbita lunar de tipo polar casi-rectilínea. Para el descenso en la superficie de la luna, los astronautas utilizarán otro vehículo que estará acoplado en el Gateway y es llamado Human Landing System (HLS) el cual les permitirá descender suavemente en la superficie lunar de un modo similar al utilizado durante el programa Apolo. Tanto el SLS, como la cápsula Orión son desarrollados por la NASA, mientras que el Gateway y el HLS se encuentran en desarrollo por parte de empresas privadas que le brindarán este servicio a la NASA por el pago un canon determinado. En este momento, tres empresas norteamericanas compiten entre sí, para lograr el mejor, más seguro y más económico sistema de descenso lunar.

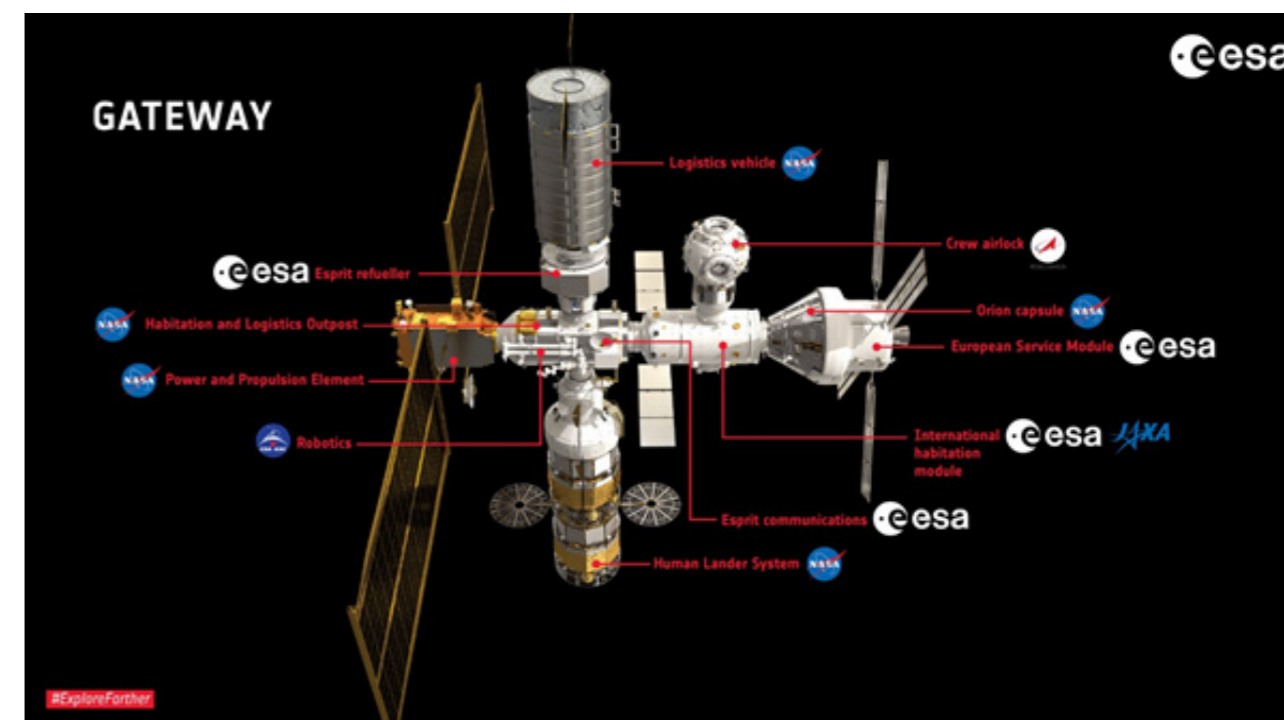
Del Saturno V al SLS

Entre 1968 y 1972 los Estados Unidos lanzaron nueve misiones a la luna en breves mi-

siones de apenas un par de días de duración en la superficie. En el caso de Artemisa, el objetivo no es únicamente el de volver a la luna, sino de permanecer por largo tiempo, a los efectos de realizar misiones tripuladas más complejas, hasta madurar la tecnología de viajes espaciales tripulados de larga duración para a partir del 2030, comenzar a preparar el próximo gran objetivo de la NASA, que es la exploración tripulada del planeta Marte.

La nave espacial Orión tiene una capacidad de cuatro astronautas y la misma está compuesta de un módulo de comando presurizado, donde vivirán los tripulantes durante la travesía hacia y desde la luna, y de forma similar a la del programa Apolo, un módulo de servicio, donde se almacenan los combustibles y otros elementos consumibles necesarios durante el viaje.

Durante el lanzamiento, el conjunto Orión, está protegido por un sistema de escape, que en caso de un mal funcionamiento del SLS, lo alejaría del mismo, e iniciaría una maniobra de desconexión y descenso independiente para proteger a la tripulación.



El Gateway, mostrando las contribuciones de cada país. Cortesía Agencia Espacial Europea.

El cohete lanzador (SLS) es básicamente un derivado del sistema de lanzamiento del Transbordador Espacial. Este posee un tanque externo central, en el cual, a diferencia del Transbordador, tiene cuatro motores RS-25 (los mismos utilizados en el programa del Space Shuttle) de combustible líquido (hidrógeno y oxígeno líquidos) en su primera etapa, acompañados en los laterales de dos motores de combustibles sólidos muy similares también a los utilizados durante el programa del Transbordador. La utilización de hardware que podríamos llamar reciclado del Space Shuttle, fue uno de los requerimientos del programa Constellation, un programa hoy cancelado que existió durante la administración del presidente George W. Bush. Utilizando hardware del programa del Transbordador Espacial, la NASA tenía como objetivo reducir costos de desarrollo y acelerar los tiempos. El SLS se convertiría así en el cohete más poderoso de la NASA, con incluso mayor empuje que el cohete Saturno V que llevó a los astronautas del programa Apolo a la Luna. El SLS ha sido diseñado para colocar en órbita una masa de

carga útil del orden de las 100 toneladas (30 toneladas en la luna). El SLS también se convertiría en el cohete más caro de la NASA, con un costo por lanzamiento cercano a los dos mil millones de dólares. Debido a su costo, tanto la NASA como el Congreso de los Estados Unidos, están estudiando posibles alternativas, entre las cuales se destaca el Falcon Heavy de SpaceX, y otros lanzadores privados.

El Gateway ha sido desarrollado con una arquitectura abierta para que se le puedan incorporar otros módulos en el futuro. El mismo podrá ajustar su órbita, para poder realizar diferentes misiones en apoyo de diferentes descensos lunares. Inicialmente el Gateway será colocado en un tipo de órbita de 1.500 km de perigeo y de 70.000 km de apogeo sobre la luna, pasando por sus polos. Otra de las diferencias con las misiones Apolo, que eran estrictamente ecuatoriales, en el caso de Artemis se va a explorar el polo sur lunar. El interés por esta zona desconocida de la luna es debido a que se ha confirmado la existencia de vastos depósitos de agua congelada en el cráter Shackleton.



Cohetes Saturno V y SLS lado a lado (Cortesía NASA).

ton. Estos grandes depósitos de agua, que fue transportada por asteroides, han permanecido durante millones de años dentro de cráteres que se encuentran en permanente oscuridad. Esta penumbra permanente ha permitido que el agua existente no se evaporara hacia el espacio.

El interés en estos depósitos naturales reside en que los mismos permitirán no solamente el abastecimiento de agua a futuras bases en su superficie, sino potencialmente la producción de combustibles (oxígeno e hidrógeno) para los cohetes que despeguen de la misma.

LOS ACTORES PRIVADOS

Durante los últimos 15 años, una serie de empresas privadas han logrado desarrollar vehículos lanzadores y naves espaciales con intenciones comerciales. Desde ya que estos desarrollos no han sido totalmente privados. La NASA ha financiado durante más de una década el desarrollo experimental de vehículos lanzadores, cápsulas, vehículos de traslado de carga, y toda la infraestructura espacial que hoy está en manos de acto-

res privados. La más importante de las empresas de este renacimiento en la industria espacial es SpaceX, la empresa del multimillonario de origen sudafricano Elon Musk.

SpaceX ha logrado desarrollar el vehículo comercial de lanzamiento de cargas al espacio número uno en rendimiento, costo y prestaciones, el Falcon 9. Este impresionante vehículo espacial ha logrado reducir el costo de lanzamiento múltiples veces, gracias a su tecnología de reutilización de las primeras etapas, que es donde se encuentra gran parte del costo del vehículo lanzador. En el caso del Falcon 9, llamado así por el número de motores cohete que tienen su primera etapa, ha posibilitado una reducción de precios tal que ha acabado con la competencia en vehículos lanzadores. En la actualidad, ni siquiera agencias espaciales como la de la India, China o Rusia pueden competir con los precios que ofrece esta empresa norteamericana, a pesar de las diferencias salariales que separan los unos y los otros. La clave del éxito de SpaceX ha sido la innovación que ha hecho posible la recuperación tanto de sus primeras etapas, tanto en el océano, como en plataformas



Cápsula Orión, Centro Espacial Johnson

fixas ubicadas en cabo Cañaveral, a pocos kilómetros del sitio de lanzamiento. Esto reduce drásticamente los costos de transporte y logística necesarios para volver a poner en funcionamiento estos lanzadores, que en algunos casos han sido reutilizados más de seis veces. Recordemos que hace poco tiempo el segundo satélite argentino de la serie SAOCOM fue puesto en órbita polar por uno de estos cohetes de SpaceX con óptimos resultados.

Otras empresas como Blue Origin, Sierra Nevada Space Corporation, u otras, también están llevando a cabo importantes desarrollos para lograr una reducción de costos en los sistemas de transporte espacial, que facilitarán el desarrollo de proyectos muy ambiciosos en la órbita baja, en la Luna, e inclusive en el planeta Marte.

EL COMPONENTE ARGENTINO

La República Argentina fue el primer país de la región y uno de los primeros del mundo en contar con una agencia espacial nacional. En 1960 y a través de un decreto del presidente Arturo Frondizi se creó la Comisión

Nacional de Investigaciones Espaciales (CNIE), primera agencia espacial de un país latinoamericano, y creada apenas dos años más tarde que la NASA.

Durante los años 60, nuestro país logró cosechar una serie de importantes logros en el campo de la cohetaría, desarrollando una familia de vehículos para la investigación de la alta atmósfera, culminando en 1969 con el cohete Castor, que permitía lanzar una carga de 75 kg a casi 500 km de altura. Desde ya el Castor no era un cohete satelital, sino suborbital, pero el próximo paso iba a estar dado con el desarrollo del Cóndor, un vehículo de usos duales que fue desarrollado por la Argentina en la década del '80 y que fue desmantelado debido a presiones extranjeras en el inicio de los años '90.

A pesar de los vaivenes políticos y económicos de nuestro país, el mismo se posicionó como el país líder en la región en capacidad espacial. Hoy día, a través de una serie de satélites científicos llevados adelante por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE), más los desarrollos en materia de satélites de comunicaciones como los ARSAT 1 y 2, sumados a una serie de em-



Cohete Falcon Heavy (Reuters/Thom Baur)

prendimientos privados tales como la empresa Satellogic y otras iniciativas en donde se encuentran en desarrollo al menos dos programas de lanzadores de bajo costo, podemos asegurar que la industria espacial nacional continúa un desarrollo vigoroso. Si bien desde la década del 90, el programa espacial nacional se ha focalizado más en la observación terrestre, tampoco es necesario descuidar algunos de los grandes programas espaciales que están desarrollando otras naciones. En su momento, la República Argentina fue invitada a participar del programa de la Estación Espacial Internacional junto con Brasil. Lamentablemente en ese momento La Argentina declinó esta invitación. En esta nueva oportunidad, La NASA está buscando nuevos socios internacionales para formar parte del programa Artemisa y varios países ya se han sumado a esta iniciativa. Si bien las posibilidades económicas y técnicas de la Argentina no nos podrían colocar en posición de realizar una participación onerosa en términos económicos, la capacidad lograda en los últimos años en el desarrollo de sistemas espaciales complejos nos pone en una posición muy ventajosa para ofrecer determinados experimentos, propuestas de experimentos, desarrollo de

sensores o subsistemas de gran relevancia técnica que nos permitirían la participación en un proyecto de tanta importancia para la humanidad. Hace pocas semanas Rusia y China anunciaron que se asociarán para la realización de una estación lunar parecida a la que propone la NASA. Debido a la existencia de un acuerdo en materia de cooperación espacial con Rusia, más la participación de la CONAE en lo relativo a la estación de telemetría de espacio profundo china en las cercanías de Neuquén, la Argentina se convierte también en un posible socio natural para este proyecto. La participación nacional en un desarrollo de estas características no solamente servirá para adquirir capacidades y know-how en sistemas avanzados espaciales, sino que también inspirará a miles de jóvenes argentinos en seguir carreras de ingeniería y científicas que propenderán a mejorar el futuro del país.

“ EN UNA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO, LAS POLÍTICAS DE ESTADO TIENEN QUE COMENZAR CON LA FORMACIÓN ACADÉMICA, CON LA FORMACIÓN DE LOS RECURSOS HUMANOS, PENSANDO CÓMO VA A DINAMIZAR EL FINAL DE LA CADENA, O SEA, EL DESARROLLO ECONÓMICO ”



El Dr Vicente Campenni, Gerente General y CEO de INVAP, se refirió a los nuevos desafíos de la empresa y a la importancia de apostar al desarrollo productivo de la Argentina. También reflexionó sobre la formación académica de los ingenieros y acerca de la importancia de saber trabajar en equipos interdisciplinarios.



INVAP es sin duda una empresa argentina, referente en proyectos tecnológicos a nivel mundial y protagonista del desarrollo en el país. En ella se trabaja con ingeniería de calidad aplicada en diferentes áreas y partiendo de Investigación Científica y Tecnológica. En su presentación institucional, INVAP habla de 4 sectores fundamentales de su actividad: nuclear, espacial, defensa/seguridad/ambiente y sistemas médicos. ¿Podría mencionar las áreas de investigación y desarrollo actuales en cada uno de estos sectores y su impacto para el país?

INVAP es una empresa de desarrollo tecnológico que busca ser parte de una cadena de valor uniendo capacidades, para dar respuesta a las necesidades del sistema tecnológico productivo tanto a nivel nacional como internacional.

INVAP nace del grupo de Física Aplicada que surgió dentro del Centro Atómico Bariloche (CAB), dirigido por el Dr. Conrado Varotto a principios de los 70. La idea que surge y madura en este grupo de Física Aplicada era simple: hacer del conocimiento una herramienta para el desarrollo productivo de nuestro país.

El concepto se basaba en generar un instrumento que sirva como puente entre las distintas entidades de generación del conocimiento (academia, institutos, centros de investigación, organismos) y su aplicación en proyectos productivos.

Hablar de proyectos productivos implica hablar de un cliente. Alguien que tiene la necesidad de producir algo en busca de un beneficio, ya sea comercial, social o estratégico. Alguien que define sus requerimientos como datos de entrada para definir un proyecto. Alguien que espera que el proyecto se ejecute en un plazo definido. Alguien que está dispuesto a pagar un precio por la ejecución de este proyecto.

También implica hablar de una organización con capacidad de gestión, no solo tecnológica sino también comercial, financiera, de recursos humanos, etc.

A nosotros nos confunden y nos llaman “ins-

tituto de investigación aplicada” pero INVAP es una empresa. Entonces, en ese sentido nos diferenciamos porque justamente no queremos ocupar este espacio que ya está bien ocupado, de los centros de investigación y desarrollo tecnológico, queremos movernos un poco más adelante en la cadena de valor y hacer de puente entre estos y las necesidades productivas y comerciales, con una visión de aportar al desarrollo productivo del país.

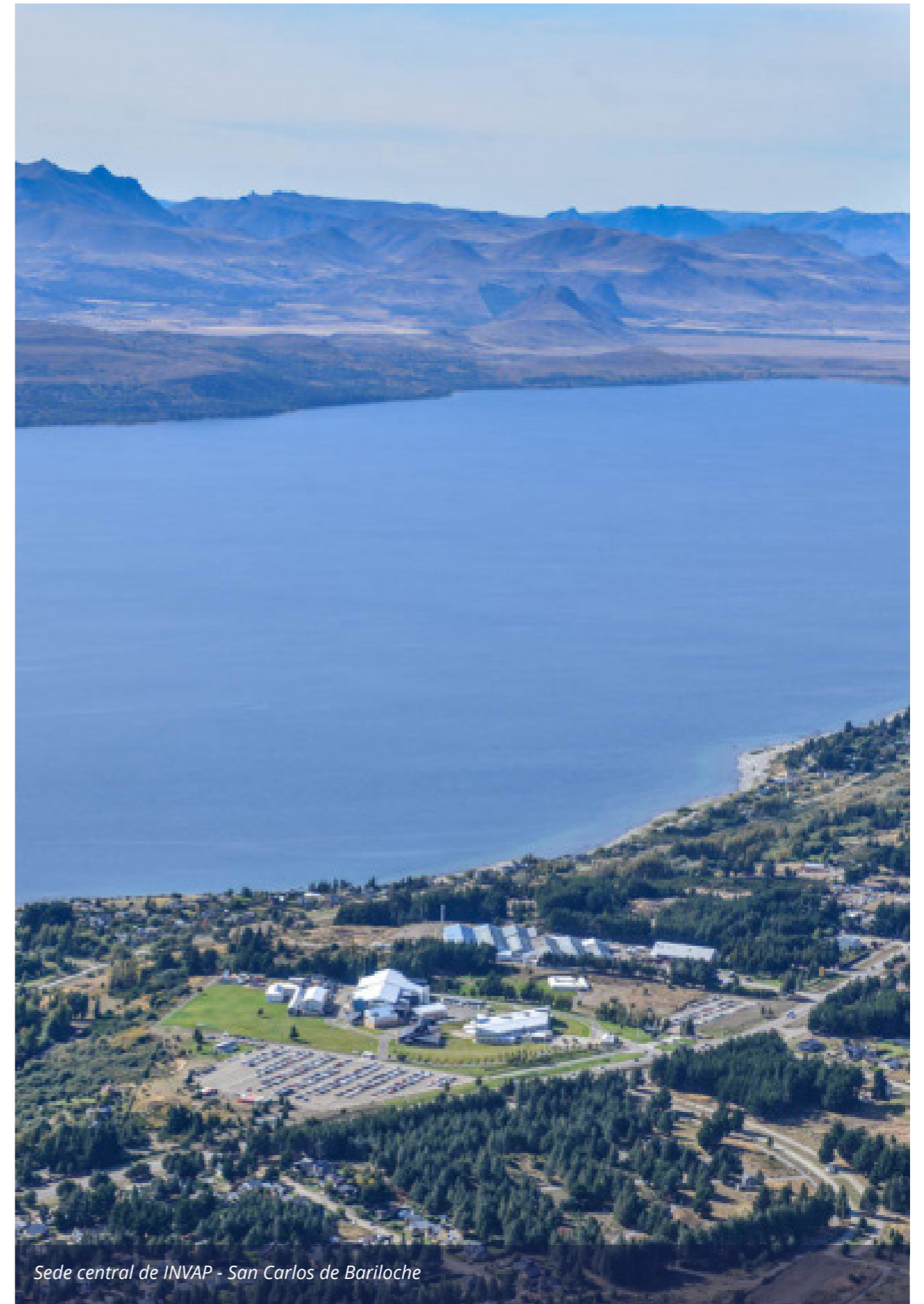
En definitiva, INVAP procura ocupar un lugar en la cadena de valor de la economía del conocimiento, dinamizando la relación entre organismos generadores de conocimiento y las necesidades productivas y exportadoras del país.

Vivimos en una “sociedad del conocimiento” en la cual la competitividad de los países tiene directa relación con los recursos humanos formados que dispone. En este sentido, cuál es su reflexión respecto de la formación de Ingenieros en el país y como es la relación de INVAP con las Universidades y los organismos de promoción de la Ciencia y la Tecnología en Argentina.

De partida ya hay una buena base, un ambiente académico y de investigación muy enriquecedor.

Cuando analizamos los resultados de lo que fue la implementación del conocimiento en los distintos proyectos que tuvo INVAP durante estos 45 años, no queda más que decir que la capacidad de formación académica en Argentina es muy buena. INVAP cuenta con muy buenos profesionales y técnicos/as de todo el país. Si uno está pensando en una Sociedad del Conocimiento, el planteo tiene que ser distinto, debe repensarse de punta a punta. Los tiempos entre el desarrollo del conocimiento y los resultados económicos que los mismos generan se viene acortando dramáticamente.

Las políticas de Estado tienen que ser diseñadas con esta visión de cadena de valor, con esta visión sistémica, y las políticas



Sede central de INVAP - San Carlos de Bariloche

particulares de cada sector que participa de esta cadena de valor tiene que ser coherente con el objetivo sistémico de aportar al desarrollo económico del país.

Por otro lado, tenemos una lógica de formación de competencias profesionales que está muy enfocada en la respuesta del individuo, pero cada vez más lo que se demanda en los proyectos es el trabajo en equipo y en muchos casos el equipo interdisciplinario. Esto implica un cambio de paradigma en la formación de nuestros profesionales.

Podemos afirmar que la dinámica de cambio sobre el tipo de conocimiento o competencias que demandan las nuevas áreas de trabajo es más rápida que la actualización de la currícula.

Nuevamente, ahí el Estado tiene un rol importante promoviendo que los distintos entes que forman la cadena de valor no se piensen como entes separados, sino como parte de un sistema más complejo. Nos queda bastante trabajo para hacer, tenemos buen conocimiento en cada uno de los eslabones, pero necesitamos vernos todos articulados, todos actuando en forma conjunta por un objetivo de país.

Sin duda las aplicaciones de los reactores nucleares desarrollados por INVAP han convertido a Argentina en un referente internacional en el tema. Asimismo, este "Know-How" de tecnología nuclear ha permitido que INVAP desarrolle sistemas médicos para el diagnóstico y tratamiento del cáncer. ¿Cómo visualiza el desarrollo de la energía nuclear en el país? ¿Es posible crecer en exportaciones de tecnología en esta área?

Nuestro modelo de negocio como empresa es satisfacer la necesidad a nivel de país en el área de desarrollo de proyectos tecnológicos productivos, y hacerlo en forma competitiva para después hacer de este conocimiento un capital que pueda ser exportado. En el área nuclear, por ejemplo, se inició este proceso con los reactores de investigación, lograron hacerse algunas exportaciones en

países como Argelia en los años '80. Pero fue a partir de los '90 que comenzamos a competir internacionalmente en licitaciones a la par de otros países del mundo que dominaban el mercado de este tipo de proyectos. Hoy podemos decir que Argentina es un referente internacional en el segmento de los reactores de investigación y producción de radioisótopos.

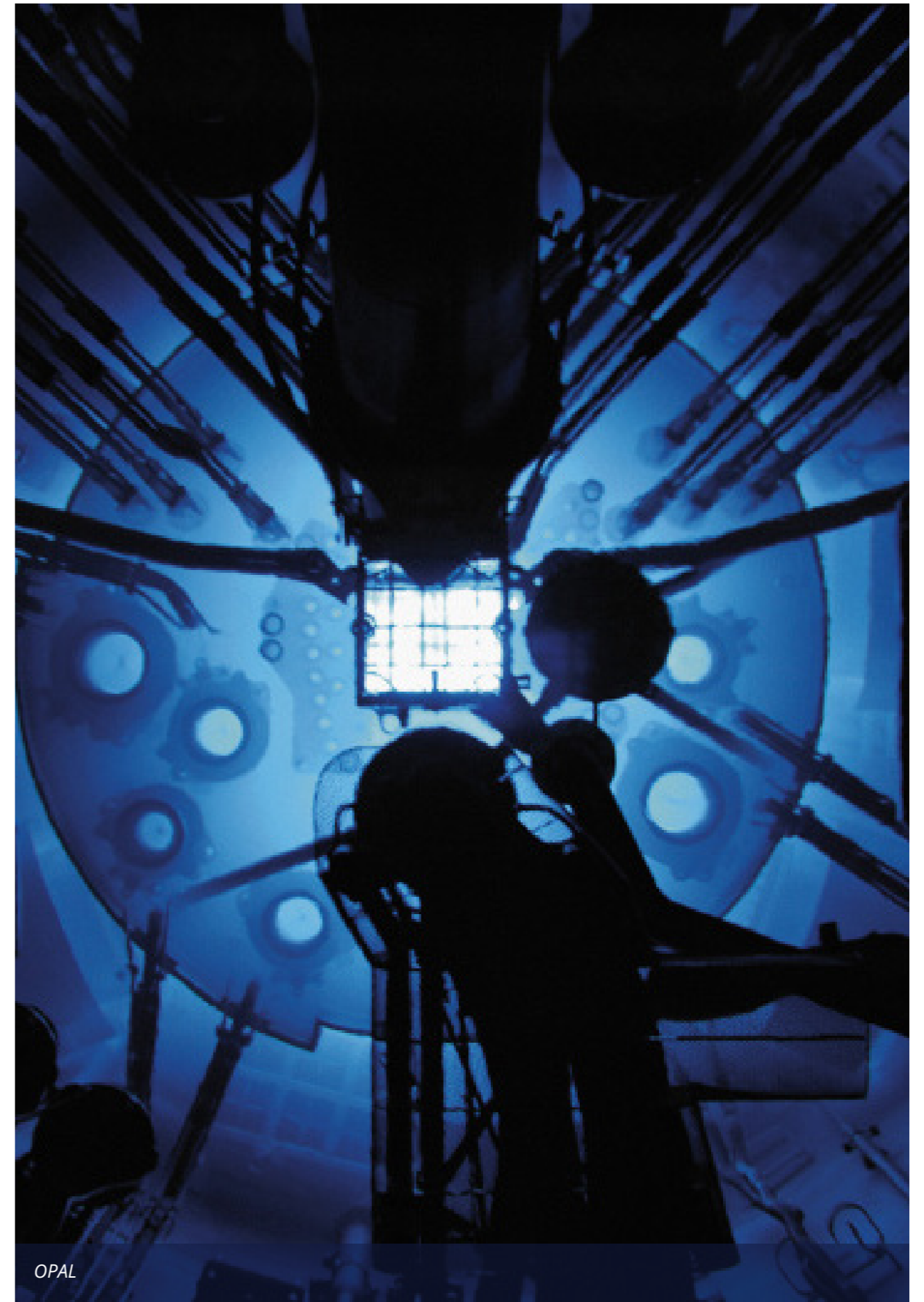
La segunda parte de la pregunta sería ¿podemos crecer? Bueno, este punto es muy importante. Si hablamos de negocio tecnológico tenemos que referirnos a la continuidad, que a su vez significa hablar de evolución. No es posible tener continuidad sin la generación de nuevos contenidos.

El ejemplo de la Energía Nuclear, así como el tratamiento de señales y datos en el área de Defensa, Seguridad y Ambiente requieren trabajo multidisciplinario. ¿Cómo organiza INVAP el manejo de proyectos que involucran tanto Ingenieros como profesionales de muy diferentes áreas como la Física, Informática, Medicina o Meteorología? ¿Qué aptitudes fundamentales se requieren para trabajar en estos proyectos y para liderarlos?

La mayoría de los proyectos de INVAP se organizan basados en el concepto de la Ingeniería de Sistemas.

La ingeniería de sistemas es una aproximación interdisciplinaria de la ingeniería y donde la gestión de los proyectos se enfoca en cómo diseñar, integrar y gestionar sistemas complejos a lo largo de las distintas fases de un proyecto.

Entonces el rol del Ingeniero de Sistemas es definir el aporte óptimo de cada subsistema y lograr la conjunción para hacer el mejor satélite, el mejor radar, el mejor reactor, el mejor centro de medicina nuclear. Este es un proceso que nace desde la concepción del sistema, y su mayor desafío es ir gestionando la visión completa del producto final, desde un principio y a medida que se desarrollan y diseñan las partes que lo componen.



El Ingeniero de Sistemas es casi un artista, porque tiene que tomar decisiones que hablan de la eficiencia de un producto a futuro, visualizando la interacción de distintos subsistemas, garantizando que las modificaciones de uno, no impacte sobre el funcionamiento de otro y por ende del sistema.

Si bien hay un responsable de la Ingeniería de Sistema, en realidad estamos hablando de un equipo donde cada uno aporta desde una perspectiva particular para, entre todos, ir construyendo esa visión sistemática única. Una de las características más valiosas que veo en la formación de recursos humanos, académicos y técnicos, es que en la Argentina hay una muy buena base de conocimientos básicos. Esto es esencial para que un ingeniero mecánico se pueda comunicar con un ingeniero en software o de proceso, lo puede hacer porque terminan entendiendo el lenguaje del otro, comienzan a entender las necesidades de las especialidades y están atentos a ese impacto a nivel de sistemas.

Por eso al principio remarcaba que esta es una de nuestras mayores fortalezas, la capacidad de poder ver y gestionar un sistema complejo desde el inicio de la concepción del proyecto.

Sin duda el desarrollo de satélites tanto para aplicaciones científicas como para comunicaciones es uno de los puntos que más se han resaltado de la labor de INVAP en los últimos años. ¿Cuál es la dimensión en recursos humanos, inversión y tiempo de un proyecto como el SAOCOM1B? ¿Cómo cree que seguirá evolucionando el tema en el país y cuáles son los planes de INVAP para los próximos años en esta área?

El tema de los satélites es muy paradójico. Por un lado, el diseño y construcción de un satélite, significa el trabajo de muchas personas, entre 400 y 500, a lo largo de 5 años o más de trabajo. De repente se lleva el satélite a un lugar y se lo pone arriba de un lanzador que no es otra cosa que una enorme bomba que explota de forma controlada para poner

en pocos minutos en órbita su carga útil, el satélite. Esa espectacularidad que tiene el lanzamiento y el acceso al espacio hace que todo lo satelital tenga mucho marketing, que sea mucho más sensacionalista, pero la verdad es que la pasión que genera cualquier otro tipo de proyecto es similar y lo vivimos de la misma forma.

En el área satelital estamos recorriendo del desarrollo nacional para luego exportar esas capacidades. Ya hicimos algunas exportaciones, por ejemplo, a Brasil que fue un convenio que se hizo entre INVAP y el Instituto Nacional de Pesquisas Espaciales (INPE) de Brasil. Pero ahora ya estamos un poco más agresivamente buscando mercados internacionales, por ejemplo, con los satélites de comunicación.

La idea es seguir cubriendo la necesidad de la Argentina, pero también buscar que ese capital de conocimiento ganado a nivel país se convierta en capacidad exportadora.

Por otro lado, vemos que también un enorme potencial para el desarrollo de la región. A partir de políticas regionales se podría trabajar para generar desarrollos, que generen impacto regional en base a la capacidad de desarrollo en Latinoamérica, que tiene un gran potencial.

Cuando incorporan profesionales al plantel, ¿buscan a quienes ya poseen título de postgrado (Doctorado) o prefieren que realicen su formación de postgrado perteneciendo ya a la empresa?

Ambas cosas. Por un lado, se necesita el especialista, súper experto que va a proveer una visión distinta a un problema específico, pero también el recurso formado en alguna especialidad, mecánica, ingeniería electrónica que aprenda a interactuar con las otras especialidades y empiece a ganar una visión sistémica. Ambos recursos son buscados.

Quisiéramos cerrar esta nota con una reflexión suya, como Gerente General de un organismo que simboliza la investigación y desarrollo en Ingeniería, tanto para los Inge-

nieros jóvenes del país como para los jóvenes que quieren ser Ingenieros en el futuro.

Es difícil ser objetivo en esto, porque yo viví toda mi vida tratando de aplicar lo que aprendí y uno se va comprometiendo cada vez más. Cualquier carrera que se siga, se elige porque uno ve un desafío en cómo aplicar un determinado conocimiento. Lo que sí puedo decir es que existe una gran posibilidad, en caso de la ingeniería, en Argentina, para aportar en el desarrollo del país.

Hoy se destaca lo que es la innovación, el emprendedurismo, los unicornios...que está bien, pero no es la única manera de desarrollar una carrera. La otra manera es hacerlo en proyectos, que son mucho más complejos, que requieren mucha gente y que tienen objetivos no solamente comerciales y de ganar plata sino también de desarrollarnos como sociedad. Si están buscando esa oportunidad nosotros en INVAP les podemos dar un lugar.

INGENIERÍA HIDRÁULICA, SANITARIA Y AMBIENTAL



APLICACIÓN EN LÍNEA PARA EL MAPEO EN ARGENTINA DE INFORMACIÓN DE LLUVIAS EXTREMAS PARA DISEÑO HIDROLÓGICO

CARLOS GASTÓN CATALINI¹, NICOLÁS FEDERICO GUILLÉN², CARLOS MARCELO GARCÍA², FLAVIA BAZZANO³, MARÍA MAGDALENA BARAGUET²

¹ INSTITUTO NACIONAL DEL AGUA — CENTRO DE LA REGIÓN SEMIÁRIDA Y UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA — FACULTAD DE INGENIERÍA GRUPO DE ESTUDIOS HIDROLÓGICOS EN CUENCAS POBREMENTE AFORADAS AV. ARMADA ARGENTINA 3555, CÓRDOBA, ARGENTINA. E-MAIL: CGCATALINI@HOTMAIL.COM

² INSTITUTO DE ESTUDIOS AVANZADOS EN INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA (IDIT CONICET/UNC) Y CETA — FCEFYN, AV. VÉLEZ SANSFIELD 1611, CÓRDOBA, ARGENTINA Y CONSEJO NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TÉCNICAS, CONICET. E-MAIL: CGARCIA2MJC@GMAIL.COM

³ INSTITUTO DE FÍSICA DEL NOROESTE ARGENTINO (INFINDA CONICET/UNT) FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y TECNOLOGÍA. UNIVERSIDAD NACIONAL DEL TUCUMÁN. TUCUMÁN. ARGENTINA.

RESUMEN

Este trabajo presenta una aplicación en línea que permite visualizar de una manera directa e intuitiva, los mapas de valores de lluvias extremas requeridas para el diseño hidrológico de obras hidráulicas de pequeña y mediana envergadura en la porción continental de la República Argentina. La información que se mapea no pretende ser un reemplazo de las técnicas clásicas de análisis y procesamiento hidrológico sino un valor de referencia a nivel regional. En esta aplicación, se visualizan los valores estimados de Precipitación Máxima Diaria (PMDT) para diferentes periodos de retorno, y el Valor Límite Estimado de Precipitación (VELP) denominado habitualmente como Precipitación Máxima Probable (PMP), empleándose para la estimación de este último valor, una adaptación local generada por los autores de este trabajo a la metodología propuesta por Hershfield, (1961,1965), la cual optimiza la estimación

del factor de frecuencia PMP.

Para generar la información de base se emplearon registros históricos de precipitación diaria máxima anual de 1.564 estaciones, y la técnica de interpolación universal de Kriging fue utilizada para la estimación local, en el área de estudio (República Argentina Continental) la cual presentan diferentes regiones topográficas y climáticas. (Andinas y Subandinas, planicies subtropicales y pampeanas, así también como patagónicas).

Los mapas de PMD y PMP, los cuales se realizaron mediante una grilla de 25 km², muestran una clara tendencia creciente oeste-este, aunque valores de PMD de recurrencia mayor a 50 años, así como el mapa de PMP muestran una cierta uniformidad espacial. Los mapas de varianza de Kriging muestran mayores incertidumbres en regiones donde la densidad espacial de las estaciones pluviométricas no es abundante, principalmente aquellas localizaciones con elevaciones significativas sobre

el nivel del mar, las cuales no fueron incluidos en los mapas.

INTRODUCCIÓN

Los datos de precipitaciones extremas máximas, son requeridos por proyectistas para el diseño de obras de infraestructura hidráulica, control de excedentes, desagües pluviales, planificación del riesgo hidrológico y el ordenamiento territorial. La magnitud del valor seleccionado para este diseño hidrológico depende en gran medida de cuán relevante es la infraestructura que se esté diseñando. En el diseño de estructuras menores (desagües urbanos, alcantarillas, puentes, etc.) se emplean recurrencias de entre 2 y 100 años, siendo los valores extremos de precipitación (Valor Límite Estimado de Precipitación, VLEP o Precipitación Máxima Probable, PMP), empleados para obras de gran envergadura (por ejemplo, Presas y Reservorios) (Chow, et al., 1999). Mientras que el registro hidrológico es específico para cada lugar de medición, los mapas de Precipitación Máxima Diaria asociados a varias recurrencias (PMDT), así como los mapas de PMP, son un aporte significativo para ser empleados de referencia en vastas regiones, donde no existe disponibilidad de información hidrológica. La fuente de información para confeccionar estos mapas proviene de datos locales de PMDT dispersos en una región, por lo cual técnicas de interpolación espacial son requeridas.

Existen en la bibliografía varias aproximaciones respecto al procesamiento, uno de ellos es la generación de grillas interpoladas de precipitación sobre el área de estudio, las cuales tienen un gran potencial cuando las condiciones para el mapeo sean favorables; este es el caso cuando existe una buena distribución de estaciones, tanto más si además de esta información se complementa con otras fuentes de información, como ser observaciones radar (Szolgay, et al., 2009). También, la in-

terpolación espacial para estimaciones en el emplazamiento ha sido ampliamente utilizada para propósitos hidrológicos. Algunos ejemplos son: los mapas de estimación de precipitación asociados a varios periodos de retorno en Cataluña (Casas, et al., 2007; Casas, et al., 2007) y Colombia (González-Álvarez, et al., 2019), el mapeo de los tres parámetros de la distribución GEV en Bélgica (Van de Vyver, 2012), el mapeo de la precipitación mensual anual en Bolivia (Vicente-Serrano, et al., 2015), Brasil (Alves da Silva, et al., 2019) y China (Zhang, et al., 2015). Alternativamente, en los Estados Unidos de Norteamérica (NOAA, 2004), Reino Unido (Prudhomme, 1999) y Australia (Ball, et al., 2019) se ha realizado un análisis de frecuencia regional, en donde las series locales son escaladas utilizando un índice de crecida y cuantiles representativos son estimados para cada región.

En cuanto a la interpolación espacial de variables climáticas diferentes modelos matemáticos son empleados, tal como análisis de superficies tendenciales (Alves da Silva, et al., 2019), polígonos de Thiessen, "spline" (Blanchet, et al., 2019), inverso ponderado de la distancia (Rahman, et al., 2013) y técnicas basadas en regresiones (Vicente-Serrano, et al., 2015). Sin embargo, técnicas geoestadísticas, basadas en la teoría de regionalización de variables (Journel & Huijbregts, 1978), es frecuentemente seleccionado al emplear la correlación espacial entre observaciones vecinas para predecir valores de atributos en localizaciones no muestreadas (Goovaerts, 2000). Kriging es el algoritmo principal en geoestadística, el cual ha sido probado para generar predicciones adecuadas cuando son contrastados contra otras técnicas, lo cual ha sido validado en muchos casos de estudios (Vicente-Serrano, et al., 2003; Mair & Fares, 2011; Keskin, et al., 2015; Boyina, et al., 2017).

Mapas interactivos en línea (denominados web-mapping en inglés) se han extendido

en las décadas pasadas, probablemente por la simplicidad de las consultas las cuales se realizan por medio de cualquier explorador web, sin el empleo ni instalación de ninguna aplicación específica. El término "web-mapping" es utilizado en general para definir tecnologías que surgen de la convalidación de funcionalidades de geoprocesamiento y sistemas de información geográfica (SIG), datos geoespaciales e interfases en línea que proveen a los usuarios la capacidad de almacenar, procesar y visualizar datos utilizando protocolos web. Herramientas de este tipo están disponibles para Bélgica, Estados Unidos de Norteamérica, Canadá y Australia, entre otros ejemplos. Bélgica tiene disponible herramientas para visualizar precipitaciones extremas con un rango de duraciones que abarca desde los 10 minutos hasta 30 horas, y periodos de retorno desde 2 meses hasta 200 años, basados en modelos de regionalización espacial regresivos (Van de Vyver, 2012). Estados Unidos de Norteamérica, a través de la Administración Nacional de Oceanografía y Atmosfera (NOAA, por sus siglas en inglés), ha desarrollado un atlas así como la documentación oficial para lluvias de diseño (hdsc.nws.noaa.gov/hdsc/pfds/) (NOAA, 2004). También, el Departamento de Ambiente del gobierno de Canadá posee una aplicación en línea, para estimaciones de precipitaciones máximas de corta duración, comprendidas entre los 2 y 100 años de tiempo de retorno (open.canada.ca/data/en/dataset/). Finalmente Australia, publica las relaciones intensidad, duración, recurrencia (i-d-T) encontrándose disponibles en www.boom.gov.au/water/desingRainfalls/idf (Ball, et al., 2019). En Argentina, las estimaciones de las lluvias de diseño están condicionadas por la escasez de registros históricos de precipitaciones, además de la falta de homogeneidad en la distribución espacial de estos, los cuales tienden a concentrarse alrededor de áreas metropolitanas y de

producción agropecuaria. También, por la falta de procesos estandarizados para la estimación de valores de lluvias de diseño, cada proyectista emplea directrices metodológicas estadísticas basadas en criterios variables dependientes de su localización y experiencia personal. Incluso aun, profesionales de la ingeniería comúnmente emplean el método propuesto por Rühle (1966), basado en un mapa en papel de precipitaciones extremas desarrollado hace más de 50 años para todo el territorio Nacional, considerando algunas pocas estaciones pluviométricas disponibles en aquel entonces y no habiendo sido actualizado desde su confección.

Veinticinco años atrás, el grupo de trabajo a cargo de este estudio, comenzó el análisis regional de PMDT para la provincia de Córdoba, el cual fue el primer paso de este estudio (Caamaño Nelli & Dasso, 2003; Catalini, et al., 2011). Con el tiempo se avanzó, en un proceso para la estimación de precipitaciones extremas constando de una aproximación regional la cual fue desarrollada y optimizada para su empleo ingenieril. Estos análisis se extendieron a otras provincias argentinas (Zamanillo, et al., 2008; Olmos, et al., 2010; Bazzano, 2019, entre otros)

En este artículo, el mapeo de PMDT y PMP es presentado para la integralidad del territorio Nacional, extendiendo significativamente los análisis previos y empleando técnicas homogéneas. Concretando un análisis espacial sobre la evolución de los datos, incluyendo diferentes regiones climáticas y topográficas. Los mapas elaborados se encuentran accesibles mediante una interfase en línea amigable y fueron incorporados al Sistema de Gestión de Amenazas Hidrológicas (SGA) del Instituto Nacional del Agua (INA). El INA-SGA, desarrollado en primera instancia, para la evaluación hidrológica ante el riesgo de crecidas repentinas en las Sierras de Córdoba. Incorpora, la herramienta aquí presentada, proveyendo valores de precipita-

ciones extremas (PMDT y PMP) para cada localización del área de estudio, lo cual representa una importante innovación en Argentina.

Las secciones subsiguientes resumirán los datos empleados, la metodología empleada así como los análisis realizados para el desarrollo de esta herramienta.

INFORMACIÓN Y MÉTODOS

Área de estudio

En este trabajo, el área de estudio incluye la totalidad de la superficie del territorio continental de la República Argentina (2.792.600 km²) con una población aproximada de 45.000.000 de habitantes. Las herramientas de Lluvias de Diseño, son altamente demandadas para ser empleadas en infraestructura urbana, la planificación territorial, el control de excedentes y la mitigación de las inundaciones de áreas densamente pobladas. Excepto por la región montañosa occidental, Argentina es, para la mayor parte de su territorio un país de predominancia de llanuras. El territorio puede ser dividido en cuatro grandes áreas topográficas y sus variantes, a saber: la región Andina, hacia el oeste, la planicie Subtropical hacia el norte, las Pampas en el centro y la Patagonia hacia el sur. El clima es subtropical en la región Central, aunque tiende a tropical hacia el norte. En la región norteña Argentina, los veranos son muy calidos y húmedos, con inviernos levemente secos, y sugetos a sequías recurrentes. La región central del país presenta veranos cálidos con eventos de precipitación intensas, con inviernos frios. En los niveles bajos de la atmosfera, cerca de la superficie, la predominancia de vientos circulando a causa del sistema de alta presión del Atlántico Sur, brinda humedad y en ocasiones aire caliente desde el este y el norte (Barros, et al., 2015). La región Andina y otros sistemas montañosos favorecen las lluvias orograficas, produciendo climas húmedos localmente y a

su vez impiden el desarrollo de eventos frontales en otras regiones. Estas últimas foman una amplia zona de climas áridos y semiáridos, que pertenecen a la diagonal árida de América del Sur que atraviesa el país del noroeste al sudeste.

A los efectos de las precipitaciones, el país se puede dividir en dos grandes regiones en función de la masa de aire marítima predominante, las cuales aportan la humedad necesaria para estas. El límite se puede ubicar en el río Colorado; al norte, las precipitaciones se deben a la masa de aire del Atlántico y al sur del Pacífico. En la región influenciada por el régimen del Atlántico, el promedio anual de precipitación varía desde un máximo de 2.300 mm (en la provincia de Misiones) hasta unos 100 mm en las planicies del suroeste. Mientras que en la región influenciada por el régimen del Pacífico, las máximas precipitaciones se registran en la frontera con la República de Chile en la provincia de Río Negro con casi 3.500 mm, hacia el este las precipitaciones disminuyen dejando amplias zonas de la Patagonia extra andina con menos de 200 mm al año, lo descrito puede ser apreciado en la *Figura 1*.

Datos de Lluvias analizados

Los datos empleados en el presente estudio incluyen 1.564 estaciones pluviométricas (en donde el registro diario es realizado entre las 9:00 y las 9:00 del día siguiente) recolectadas por distintas instituciones públicas y privadas, aunque la compilación de la información fue realizada principalmente por Instituciones científicas, tecnológicas y universitarias (*Tabla 1*). Algunos de los datos son de libre disponibilidad tal como los publicados por la Secretaría de Infraestructura y Políticas Hídricas de la Nación (<https://snih.hidricosargentina.gob.ar/>), el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) (<http://siga2.inta.gob.ar/#/data>) y el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación (<https://geoportail.agroindustria.gob.ar/visor/>).

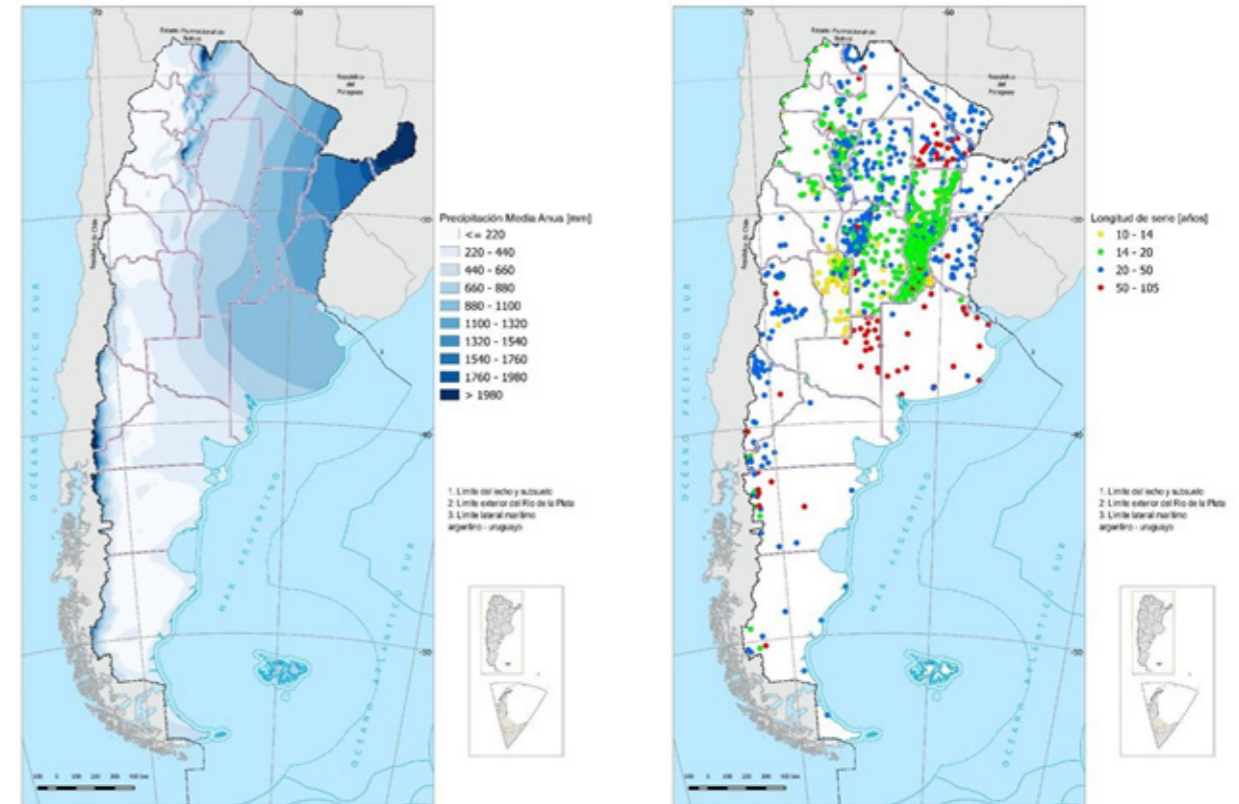


Figura 1. Izquierda: Precipitación media anual [mm], en el territorio Argentino (Bianchi & Cravero, 2010). Derecha: Emplazamiento de estaciones utilizadas, indicando su longitud de serie en escala de colores.

Así como, muchas instituciones relativas al manejo de los recursos hídricos de las distintas provincias que conforman el territorio Nacional, las cuales contribuyeron con registros históricos de precipitación. Además, bases de datos adicionales fueron recolectadas en países limítrofes, como es el caso de la República Oriental del Uruguay, con la finalidad de mejorar las estimaciones en las regiones limítrofes, y obtener mejores resultados en el análisis espacial.

Respecto a la distribución espacial de las estaciones pluviométricas, existe una alta densidad de estaciones en proximidades a las áreas urbanas, sobre todo aquellas zonas de mayor desarrollo agropecuario, como es en Buenos Aires, Santa Fe, Córdoba, Tucumán, Entre Ríos, Corrientes, Santiago del Estero, el área central de Salta y Jujuy, el noreste de San Luis, este de Catamarca, Chaco y Formosa. Por otra parte, muy pocas estaciones fueron identificadas

en grandes elevaciones (por encima de los 3.000 m snm), la Puna y Patagonia (*Figura 1, derecha*).

Las series de PMD fueron conformadas para cada localización de estación disponible, para cada año hidrológico de registros, definiendo este al correspondiente entre el 1 de julio hasta el 30 de junio del año siguiente, considerando el ciclo estacional de precipitaciones (donde los mayores registros se dan usualmente entre los meses de octubre y abril). Los registros cubren mayormente el periodo 1940-2020, aunque las series presentan algunos años faltantes (un año completo era descartado en el análisis si existía una interrupción en los datos durante el periodo húmedo). Con respecto a la longitud de serie, un estudio reciente, el cual mediante el empleo series sintéticas (Baraguet, 2018) recomienda disponer al menos 20 años de registros para estimar de manera apropiada recurrencias de 100 años. Siguiendo esta

recomendación, es posible observar en la *Tabla 2*, que más del 50% de la información disponible debería ser descartada, lo cual es demasiado para una adecuada cobertura del territorio Nacional; por lo tanto, basado en estudios previos (Caamaño Nelli & Dasso, 2003; Catalini, et al., 2010 y Casas, et al., 2007) se decidió adoptar como mínimo una longitud de 14 años de registros. Esta decisión genera incertidumbres

en la predicción del orden del 25% para periodos de retorno de 100 años (Guillén, 2014), el cual es un resultado aceptable para ser empleado con fines hidrológicos. De acuerdo a este criterio 1.216 estaciones pluviométricas fueron seleccionadas (77% del total, aunque luego algunas tuvieron que ser descartadas por no superar las pruebas estadísticas). La *Tabla 2* muestra de los lugares seleccionados para cada

Provincia	Institución a cargo de la compilación y análisis	Cantidad de estaciones
Jujuy	Universidad Católica de Salta (UCASAL)	10
La Pampa	Universidad Nacional de Córdoba - FCEFYN / Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)	18
La Rioja	Universidad Tecnológica Nacional (UTN) Facultades Regionales Córdoba - La Rioja	33
Entre Ríos	Universidad Tecnológica Nacional (UTN) Facultad Regional Entre Ríos	33
Buenos Aires Santa Cruz Tierra del Fuego	Servicio Meteorológico Nacional	37
Mendoza	Instituto Nacional del Agua - Subgerencia Centro de la Región Andina (INA-CRA)	38
Río Negro Neuquén	Universidad Nacional de Córdoba - FCEFYN / Autoridad Interjurisdiccional de Cuenca (AIC)	43
Catamarca	Universidad Nacional de Córdoba - FCEFYN / Secretaría de Recursos Hídricos de Catamarca	52
Salta	Universidad Católica de Salta (UCASAL)	60
San Luis	Universidad Católica de Córdoba (UCC)	77
Santiago del Estero	Universidad Nacional de Santiago del Estero	78
Tucumán	Universidad Nacional de Tucumán (UNT)	92
Corrientes Misiones Chaco Formosa La Pampa San Juan Chubut	Universidad Nacional de Córdoba - FCEFYN	134
Córdoba	Universidad Católica de Córdoba (UCC) / Instituto Nacional del Agua - Subgerencia Centro de la Región Semiárida (INA-CIRSA)	150
Santa Fe	Universidad Católica de Córdoba (UCC)	340
Emplazamientos con error en su identificación (no utilizados)	Universidad Católica de Córdoba (UCC) / Universidad Nacional de Córdoba - FCEFYN	369

Tabla 1. Institución a cargo de la compilación y análisis de la información disponible en cada Provincia.

Longitud de serie	Número de estaciones	Porcentaje
menos de 14 años	348	22,3%
entre 14 y 19 años	528	33,8%
entre 20 y 50 años	595	38,0%
más de 50 años	93	5,9%

Tabla 2. Análisis de frecuencia de estaciones pluviométricas disponibles en función de su longitud de serie.

clase de longitud de registro seleccionado (menos de 14 años, entre 14 y 19 años, entre 20 y 50 años y más de 50 años), lo cual permite apreciar la importancia de establecer este criterio (14 años de longitud de registro mínima). Dado que el 33,8% de los sitios poseen registros entre 14 y 19 años (528 estaciones pluviométricas), remover esta información significaría una importante pérdida de cobertura espacial de la información lo que muy valiosa a los fines de este estudio.

Análisis de Frecuencia para la PMDT

Las PMD esperadas para 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años de tiempo de retorno (PMD2, PMD5, PMD10, PMD25, PMD50 y PMD100) fueron estimadas realizando el análisis de frecuencia para cada sitio seleccionado. Las hipótesis básicas de la estadísticas requeridas para el análisis de frecuencia fueron verificadas en cada emplazamiento (detección de datos atípicos, independencia, estacionalidad y homogeneidad) utilizando para ello pruebas estándar, como son prueba de datos atípicos altos y bajos (Chow, 1951); la independencia fue explorada, siguiendo el procedimiento propuesto por Wald & Wolfowitz, 1943; la estacionalidad fue evaluada utilizando una prueba no paramétrica comúnmente utilizada para detectar tendencias de largo plazo en variables hidrológicas (Mann, 1945; Kendall & Stuart, 1967); Finalmente, la prueba de Wilcoxon, (1945) fue empleada para evaluar la homogeneidad de las

series. Luego de estas pruebas, 72 series temporales fueron removidas del grupo de datos, permaneciendo 1.144 series. La *Figura 1* muestra la distribución espacial de las estaciones pluviométricas seleccionadas con sus respectivas longitudes de serie.

La función de distribución de probabilidades Lognormal (FDP) fue ajustada sobre las series seleccionadas para estimar los valores máximos de precipitación para los periodos de retorno comprendido entre los 2 y 100 años (PMDT), así como sus intervalos de confianza asociados a cada predicción. El método de máxima verosimilitud (MLE por sus siglas en inglés) fue utilizado para la estimación de los parámetros de la FDP. Un análisis de sensibilidad a la FDP seleccionada fue realizado abarcando otras 5 FDP usuales en hidrología, a saber: Valores Extremos Generalizados (GEV por sus siglas en inglés) ajuste MLE, Gumbel ajuste MLE; GEV ajuste por el método de los momentos; Gumbel ajuste por el método de los momentos y Log Pearson III ajuste por método de los momentos. Todas las FDP ajustadas verificaron la bondad de ajuste de Chi-cuadrado (Nikulin, 1973) empleando la comparación con la distribución de probabilidades empírica de Weibull. El análisis de sensibilidad mostró que la selección de la FDP Lognormal no causa efectos significativos de la estimación de la PMDT, donde el resultado de la predicción realizado con otras FDP con una significancia del 95% en el inter-

valo de confianza del valor estimado en la mayoría de los casos (97,4% del total de series analizadas). Debido a la magnitud del intervalo de confianza, se afirma que este depende fuertemente de la longitud de serie empleada, demostrando que la incertidumbre es mayor a causa de la longitud de serie, y en menor medida por la FDP empleada en la predicción del valor requerido.

Estimación de la Precipitación Máxima Probable (PMP)

La PMP, junto con otros valores como la Tormenta Máxima Probable (TMP) y la Creciente Máxima Probable (CMP), constituyen Valores Límites Estimados (VLE), usualmente utilizados en el diseño de estructuras para el control de excedentes que por su vulnerabilidad o implicancia demandan una seguridad mayor. El concepto de PMP tiene sus orígenes a fines de la década de 1970, luego de que numerosas presas fallarían en distintos lugares del Mundo, lo que llevó a revisar las normas de diseño y, en particular, el sentido probabilístico del componente pluvial de dimensionamiento (Hershfield, 1981). Muchos organismos dedicados a la seguridad de presas aconsejan hoy explícitamente la PMP, como lámina de tormenta de diseño para grandes obras, cuya rotura involucre riesgos importantes (Sugai & Fill, 1990).

La PMP es definida usualmente como el Valor Límite Estimado de Precipitación (VLEP), por lo que se puede definir como la mayor altura de lámina estimada analíticamente para una duración dada que sea físicamente probable considerando las particularidades de una región geográfica.

• De la definición anterior resaltan dos conceptos claves que dan lugar al surgimiento de dos corrientes de estudio de dicho valor, a saber:

Máxima: surge de la idea de una barrera física insuperable, que resulta de considerar la constancia de la masa atmosférica terrestre, debido a que el ciclo hidrológico

es cerrado, por lo cual, el monto de lluvia tiene en cada sitio un tope resultante de la interacción de factores meteorológicos. De esta manera la PMP es el límite superior racional de la tasa de precipitación, que se justifica climatológicamente (Mc Kay, 1973; Chow, et al., 1999).

Probable: asume a la PMP como un evento de probabilidad finita, aunque sumamente baja, de ser excedido (Hershfield, 1981; Bertoni & Tucci, 1993).

Esta es la vía en la que se fundan las estimaciones estadísticas, que utilizan distribuciones asintóticas, pues admiten la probabilidad tendiente a cero de sobrepasar la PMP. En el presente trabajo se utilizará el método estadístico, ya que en aquellos casos en los cuales se dispone de suficiente información de lluvia, suele existir consenso en qué esta metodología es más adecuada, sobre todo cuando la información climática que se necesita para el método climatológico, como ser el punto de rocío, vientos dominantes y efectos orográficos, es escasa o bien solo se disponen de datos puntuales que invalidan su aplicación regional.

Se debe tener presente que al momento de determinar la PMP serán muy influyentes la calidad de la información, el conocimiento técnico y la exactitud del análisis. A medida que mejora la información, el conocimiento técnico y el análisis, la PMP se aproximara más al valor de umbral, disminuyendo el rango de incertidumbre asociado a su determinación.

Para estimar la PMP, se utilizó la expresión basada en la ecuación general de frecuencia (Chow, 1951), a saber:

$$PMP = \mu_n + \Phi_{PMP} \cdot \sigma_n \quad (1)$$

Expresada en forma dimensional

$$\frac{PMP}{\mu_n} = 1 + \Phi_{PMP} \cdot COV_n \quad (2)$$

Donde μ_n , es la media de una serie temporal precipitación máxima diaria de una localización determinada, σ_n , es el desvío estandar de la misma, COV_n es el coefi-

ciente de variación ($COV_n = \sigma_n / \mu_n$), y Φ_{PMP} es un factor de frecuencia maximizado, que representa el número máximo de desviaciones estándar en las que la PMP supera la media de la serie.

Para calcular Φ_{PMP} se puede aplicar la técnica regional (Hershfield, 1961; 1965), ó continuando con la línea de investigación de la cual forma parte el presente trabajo, se adopta, manteniendo los lineamientos iniciales de la técnica de Hershfield, una nueva alternativa para realizar la estimación del Φ_{PMP} , mediante el empleo de una metodología "sintética" basada en el análisis de series sintéticas generadas de extensa longitud (10 mil años), independizando de esta manera la envolvente resultante de los registros locales disponibles.

Las series sintéticas generadas presentan distribución de frecuencia Lognormal, escogida por su probada representatividad en la pluviometría de la región (Bazzano & Caamaño Nelli, 2015; Bazzano, 2019), en donde se proponen 75 conjuntos de 1000 series de 10 mil años de longitud cada uno condicionando los valores de la media y desvío estándar. Para cada conjunto de datos se toman distintos μ_n y σ_n , considerando combinaciones que generan valores de coeficientes de variación entre 0 y 1. Para cada serie se calcula el valor de Φ_{n-1} .

A posteriori, para cada conjunto de 1000 series (con idénticos parámetros estadísticos) se determina el valor máximo, medio y los correspondientes a los percentiles 95 y 99 de la estimación de Φ_{n-1} . Aquí se utilizó el valor del percentil 99 % de los 1000 valores de Φ_{n-1} al igual que para Φ_{PMP} .

Analizando la variación de estos valores del Φ_{PMP} con la media de máximos anuales y el desvío estándar se propone un modelo en función del coeficiente de variación. Se observa que los valores de Φ_{PMP} estimado, tanto la media como los percentiles 95 y 99, presentan una variación suave con el coeficiente de variación (C_v) con un buen ajuste de un modelo exponencial; mien-

tras que en el caso del máximo el grado de ajuste entre las variables graficadas disminuye. En el caso del percentil 99, este buen ajuste se encuentra representado por un coeficiente de determinación múltiple R^2 mayor a 0,99, lo que indica que el modelo exponencial representa adecuadamente dicha variación. La ecuación que ajusta entre el percentil 99 y C_v responde a la expresión analítica:

$$\Phi_{PMP} = 5,23e^{1,96C_v} \quad (3)$$

Involucrar el desvío estándar en el modelo en forma indirecta a través de coeficiente de variación permite trabajar con una variable mucho más robusta, que se presenta en forma más uniforme en el territorio en un rango de valores comprendido entre 0,25 a 0,375 en la mayor parte del sistema de estudio (Figura 2).

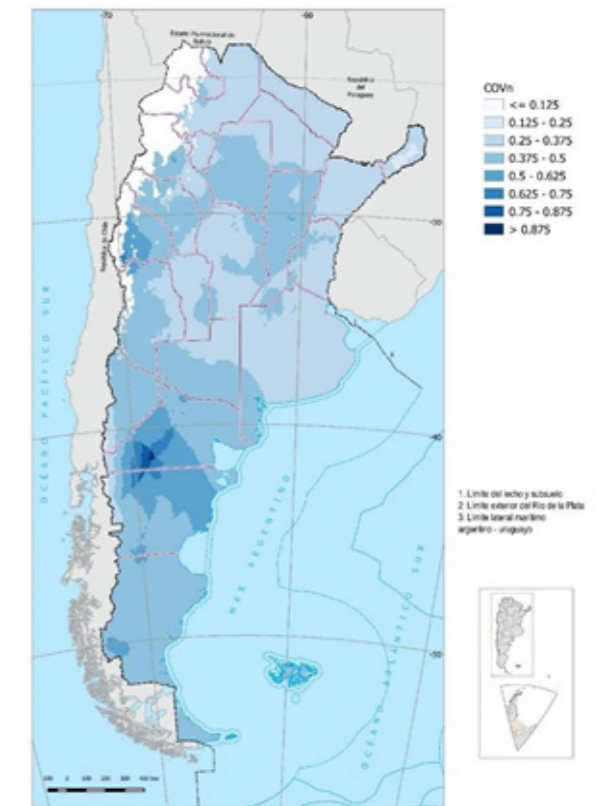


Figura 2. Distribución del coeficiente de variación de los máximos diarios de lluvia anual en la República Argentina

Análisis espacial de PMD y PMP

Una vez, que fueron estimados los valores de PMDT y el valor diario de PMP, la actividad siguiente consiste en el empleo de dicha información local para generar el mapeo en todo el territorio Nacional. Los valores de PMDT y PMP fueron mapeados en una grilla uniforme de 25 km², aplicando para tal fin técnicas geoestadísticas, las cuales requieren el ajuste de un semivariograma adecuado a la información local disponible (definiendo de esta forma la correlación espacial), el cual permitirá obtener una adecuada estimación espacial, de no realizarse dicho análisis la interpolación realizada tendrá poca o ninguna validez (Oliver & Webster, 2015).

Análisis exploratorio de datos

Se realizó un análisis exploratorio con objeto de detectar factores que podrían afectar la confiabilidad del semivariograma para cada PMDT y PMP consideradas en forma individual, en las cuales distintos factores pudieron ser detectados para cada grupo de datos. Este procedimiento se realizó mediante el empleo de aplicativos desarrollados en "R", mediante el empleo de la librería "spdep" (Bivand, R., 2014). A pesar de que, el análisis geoespacial no requiere que los datos se distribuyan siguiendo una distribución normal, los semivariogramas pueden ser inestables cuando los datos se encuentren fuertemente sesgados (Oliver & Webster, 2015). Por lo que, se verificó la suposición de normalidad en todas las variables. El semivariograma también es susceptible a los datos atípicos "outliers", por lo que su detección y eliminación dentro de la distribución media es recomendada (Oliver & Webster, 2015). En este estudio, aquellos registros locales que excedían en $\pm 3\sigma$ fueron removidos. La detección de "inliers", definidos como valores que difieren notoriamente de sus vecinos fueron removidos, también realizado empleando el índice local del Moran (ILM) (Anselin, 1995) el cual cuantifica el grado de similitud y diferencia entre las observaciones y sus registros vecinos. ILM fue determinado para cada localización aplicando la función local de Moran la cual solo considera valores vecinos de acuerdo a una distancia Euclidiana de 150 km. Los inliers seleccionados fueron evaluados a través de la significancia estadística individual siguiendo el procedimiento de límites de Bonferroni (Bland & Altman, 1995) con un nivel general α de 0,05. Para cuantificar la estructura espacial de las variables, se empleó el índice global de Moran (IGM) (Moran, 1948). Un IGM próximo a ± 1 indica alta autocorrelación (positiva o negativa) mientras tanto valores próximos a 0 corresponden a la no existencia de un patrón espacial. El IGM fue calculado con la función moran.mc. Para evaluar la significancia del IGM se realiza una simulación de Monte Carlo, donde el p-valor es calculado a través de una prueba de permutación bootstrap, en donde para las localizaciones se realizan 999 permutaciones obtener la distribución del índice bajo la hipótesis nula de la distribución aleatoria.

Modelado del variograma
El siguiente paso es el modelado del semivariograma para cada grupo de datos. Inicialmente se calcula del semivariograma empírico, el cual, es ajustado siguiendo funciones teóricas, utilizando mínimos cuadrados ponderados (WLS por sus siglas en inglés); exponencial (EXP), esférica (SPH) y gaussiano (GAU) (Oliver & Webster, 2015). Considerando la presencia de tendencias especiales en las variables, tres situaciones diferentes fueron evaluadas, a saber: la no existencia de tendencia, la presencia de tendencias de primer y segundo orden. El modelo más adecuado fue seleccionado por medio de los residuos medios cuadráticos (RMS) y el criterio de información de Akaike (Akaike, 1973).

Interpolación espacial

El algoritmo de Kriging fue seleccionada para concretar la interpolación espacial de valores locales, dado que es un estimador lineal insesgado con mínima varianza espacial. La incertidumbre de la estimación puede ser cuantificada por la varianza de Kriging, acorde al variograma adoptado y a la localización del dato puntual. Conociendo la distribución y magnitud de las incertidumbres es la mayor ventaja respecto a otros modelos matemáticos utilizados en la interpolación espacial, porque esto habilita el análisis de calidad de la estimación, lo cual da soporte a la aceptabilidad de los resultados obtenidos. Existen diferentes opciones de Kriging, aunque solo se empleó en este trabajo la metodología universal de Kriging. Los estudios de antecedentes no encontraron diferencias significativas entre las geoestadísticas más complejas y los métodos Kriging más simples (Vicente-Serrano, et al., 2003; Goovaerts, 2000). Además, correlaciones significativas no fueron encontradas entre las observaciones y su elevación respecto al nivel del mar, que hubiera habilitado la incorporación de esta como variable auxiliar en los mapeos realizados, y se rechazó el suavizado que proporciona el método de Kriging por bloques, dado el interés en representar localmente las variables PMD.

Análisis de validación espacial
Finalmente el análisis espacial es validado usando la validación cruzada, la cual es la metodología más comúnmente empleada para evaluar la bondad de la predicción realizada por medio de Kriging (Blanchet, et al., 2019; Zhang, et al., 2015). La estrategia consiste en excluir una observación de n muestras puntuales y, con las remanentes n-1 valores y el semivariograma modelado por Kriging y su valor. El procedimiento se repite para cada punto, obteniendo un grupo de n errores de la predicción. Si el variograma representa adecuadamente la estructura de la autocorrelación espacial, entonces la predicción residual será menor (Oliver & Webster, 2015). Para evaluar los resultados, una evaluación visual se realiza graficando la predicción versus los valores observados y examinando cuanto se alejan los mismos de la recta de pendiente unitaria. Además, los siguientes estadísticos fueron calculados: error medio (EM), error medio cuadrático (ME), radio de la desviación media cuadrática (MSDR) calculada a partir de los errores cuadráticos y la varianza de Kriging, error medio cuadrático normalizado (NMSE) y el coeficiente de correlación de Pearson con su significancia estadística (p-valor), determinado utilizando la distribución t para n-2 grados de libertad.

Aplicación en línea de mapeo
La aplicación en línea interactiva de mapeo fue desarrollada, con la finalidad de permitir la libre disponibilidad de los resultados para los valores de diseño hidrológico para la República Argentina. Esta aplicación fue incorporada a una aplicación preexistente diseñada para la gestión de amenazas de origen hidrológico, INA-SGA. Esta aplicación permite la visualización y manipulación de la información. El mayor beneficio de este formato es la libre disponibilidad sin la necesidad del usuario de conocer el empleo de paquete computacional alguno (Boyina, et al., 2017). Para acceder al valor de la lluvia de diseño, el usuario solo requiere conocer las coordenadas geográficas de su interés o simplemente navegar sobre el mapa del territorio Nacional (<http://sgainacirsa.ddns.net/cirsa/mapas/pmpd.xhtml>).

RESULTADO Y DISCUSIÓN
Análisis exploratorio de datos
La suposición de normalidad fue verificada espacialmente tanto para los datos PMDT y PMP para toda el área bajo estudio, encontrándose similitudes entre la media y la mediana en todos los casos con una diferencia absoluta comprendida entre el 0,3% y 2,0%, tendiendo a decrecer mien-

tras que el periodo de retorno aumenta. Los coeficientes de asimetría son muy bajos para la mayoría de las series, afirmando la suposición de normalidad (Tabla 3). La Tabla 3, resume los estadísticos básicos para cada variable luego de haber removido los "outliers" e "inliers". Se filtraron entre 81 y 122 localizaciones, lo cual representa entre un 7% y 10% del total de información disponible.

Respecto a la detección de outliers, un comportamiento diferenciado se observa para recurrencia menores o iguales a 10 años, en donde la mayoría de los datos atípicos identificados son bajos, mientras que para recurrencias altas ocurre lo contrario. La mayoría de las estaciones emplazadas sobre la región Andina se detectaron datos atípicos, particularmente en aquellas emplazadas sobre los 3.000 m snm. La escases de estaciones pluviométricas sobre dicha elevación no permite un correcto modelado de la variación de los regímenes hidroclimáticos generados por los efectos orográficos. Por esta razón, el

análisis geoestadístico se vio limitado hasta elevaciones de 3.000 m snm para asegurar la confiabilidad de los resultados obtenidos. IMG indica una positiva y significativa autocorrelación de todas las variables, demostrando la presencia de una estructura de autocorrelación espacial, inliers y outliers excluidos del modelado del variograma fueron re-incorporados para la interpolación de Kriging.

Selección del modelo de variograma

Considerando la posible presencia de tendencia espacial en la modelación del variograma, tres diferentes situaciones fueron evaluadas, la no existencia de tendencia, tendencia de primer orden y de segundo orden. Por lo tanto, en total 3 funciones teóricas fueron comparadas, nueve variogramas se obtuvieron para cada variable. La Tabla 4, presenta el AIC obtenido para cada situación, y la función seleccionada correspondiente a cada variable. Considerar la existencia de tendencia de segundo orden mostro el mejor ajuste para recu-

rrencias de diseño bajas (de 2 a 25 años), mientras que la contemplar tendencia de primer orden prevaleció para recurrencias mayores (de 50 años a la PMP).

Mapeo de PMD_r y PMP

Los mapas obtenidos mediante la aplicación de Kriging para PMD con recurrencias de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años así como la PMP son presentados en la Figura 4, en función de mejorar la visualización de la distribución espacial de las variables, los mismos se han clasificado en 8 clases. Los mapas de recurrencia 2 a 10 años muestran un muy pronunciado gradiente de precipitación orientado con dirección suroeste-noreste, con máximos concentrados en la región noreste del país. Una distribución similar de precipitaciones se observa para recurrencias entre 25 y 100 años, aunque se aprecia un desplazamiento desde la región oriental del país hacia la región central, más precisamente sobre las provincias litoraleñas al río Paraná. Este desplazamiento es gradual con el incremento de la recurrencia, aunque es más evidente esta distribución espacial para la PMP, en donde la zona de máximas precipitaciones predichas se encuentra predominantemente en el centro de la planicie Chaco-pampeana, sobre la provincia de Santa Fe, en donde la mayoría de

los valores superan los 615 mm por día. Se observa también una mayor uniformidad de las precipitaciones extremas a medida que la recurrencia aumenta, aunque para 25 años la distribución espacial presenta anomalías más marcadas que para el resto de las recurrencias, pero manteniendo la tendencia antes descripta. Siendo la PMP, la variable analizada que presenta una distribución espacial más marcada para las predicciones extremas. Este comportamiento puede ser explicado en parte, por la uniformidad espacial en la evolución del coeficiente de variación de las series de tiempo de precipitación diaria máxima (Figura 2).

Es de destacar, que la distribución espacial de extremos es muy similar a lo observado en los mapas de precipitación media anual para toda el área de estudio (Figura 1). Barros, et al., (2015) indica que el aumento del gradiente marcado por las isohietas alineadas de norte a sur, se debe al hecho de que el aire húmedo tanto del continente tropical como del Océano Atlántico llega al este de la región con más frecuencia que al oeste. También, altos valores predichos de precipitaciones extremas son esperables en el norte Argentino debido al efecto orográfico de la cordillera de los Andes, lo cual también se aprecia en los Andes Patagónicos. La sequedad

	PMD ₂	PMD ₅	PMD ₁₀	PMD ₂₅	PMD ₅₀	PMD ₁₀₀	PMP
n	1055	1059	1064	1063	1056	1054	1073
Media	82,38	110,22	127,55	149,00	165,30	180,67	492,50
Desv. Est.	21,45	30,09	36,95	45,17	51,27	58,22	215,67
Var(n-1)	460,15	905,13	1365,30	2040,34	2628,75	3389,44	46511,44
Var(n)	459,71	904,27	1364,02	2038,42	2626,26	3386,22	46468,09
Mínimo	25	33	35	40	48	52	66
Máximo	124	180	217	256	283	322	1058
Mediana	84,70	112,00	128,17	149,00	164,25	179,00	447,65
Asimetría	-0,53	-0,28	-0,19	-0,09	0,00	0,07	0,55
Kurtosis	-0,32	-0,45	-0,46	-0,55	-0,60	-0,60	-0,34
ILM	0,55	0,54	0,51	0,49	0,47	0,45	0,28
p-valor	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
IGM	0,42	0,45	0,48	0,50	0,53	0,55	0,72
p-valor	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,0001
Datos filtrados	89	85	80	81	88	90	122
% filtrados	7,8%	7,4%	7,0%	7,1%	7,7%	7,9%	10,2%

Tabla 3. Estadísticos descriptivos luego del análisis exploratorio de datos, para la Precipitación Máxima Diaria (PMD_r) para 2 a 100 años de tiempo de retorno y Precipitación Máxima Probable (PMP).

Función	Tendencia	PMD ₂	PMD ₅	PMD ₁₀	PMD ₂₅	PMD ₅₀	PMD ₁₀₀	PMP
EXP	No	-68,3	-79,2	-68,3	-53,0	-41,9	-33,0	44,3
	1°	-113,7	-96,7	-81,4	-76,3	-74,6	-64,6	18,8
	2°	-138,5	-99,5	-80,7	-80,4	-68,8	-57,4	32,7
SPH	No	-58,3	-82,5	-72,7	-60,2	-52,4	-42,4	32,3
	1°	-53,7	-93,5	-81,2	-66,1	-61,6	22,3	30,2
	2°	-135,7	-103,5	-85,7	-75,6	-65,9	16,7	32,1
GAU	No	-87,8	-66,7	-49,0	-39,2	-35,2	-24,4	40,4
	1°	-51,1	-20,5	-74,0	-61,6	-58,6	-51,9	36,7
	2°	-52,6	-24,2	-64,7	1,5	-62,1	-42,8	36,5

Tabla 4. Criterio de Información de Akaike (AIC), calculado para la Precipitación Máxima Diaria (PMD) con recurrencia asociada y para la Precipitación Máxima Probable. Series ajustadas, exponencial (EXP), esférica (SPH) y gaussiana (GAU). Se resalta aquellas de mínimo AIC

característica de las latitudes medias occidentales también se refleja bien, donde se observan intensidades de precipitación más bajas.

Varianza espacial y validación cruzada

En cuanto a la varianza de predicción, se observa mayor incertidumbre en aquellas áreas con menor cantidad de registros de precipitación: en el centro-oeste del área de estudio, en el sur de Buenos Aires, en la frontera norte con Brasil y en la región Patagónica. Se observa que las varianzas de Kriging aumentan con el período de retorno: entre 7 a 10 mm, lo que representa una incertidumbre de aproximadamente

el 10% en la estimación de precipitación para un período de 10 años, la varianza predominante varía de 200 a 400 mm, lo que representa una similar incertidumbre (aproximadamente del 15%) de la predicción extrema. Es de destacar, que en los mapas de 100 años de recurrencia, existe una expansión de áreas con mayores incertidumbres, alcanzando alrededor del 30% del valor estimado para algunas regiones. Estos casos deben ser considerados para calcular la lluvia de diseño para los proyectos que se emplacen en dichas regiones. A pesar de esto, los resultados obtenidos en este trabajo son aceptables para uso ingenieril, ya que incluso en el

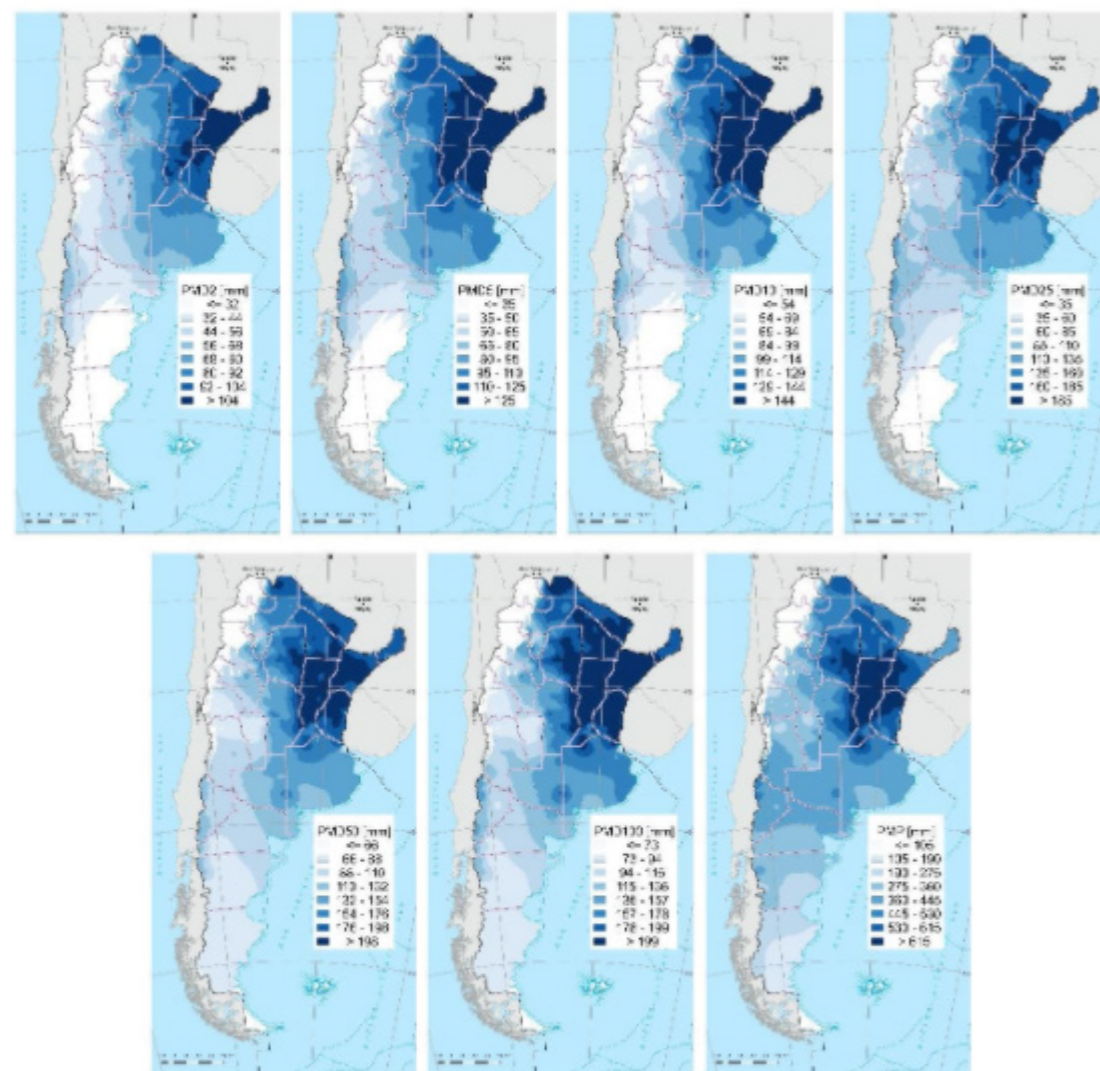


Figura 4. Mapeo de PMDi y PMP para el territorio Nacional.

caso más desfavorable aquí registrado, los errores de predicción espacial representan en promedio el 10% de la estimación, aunque siempre que se disponga de información local de calidad la misma puede ser incorporada y contrastada con las predicciones regionalizadas.

Aplicación de visualización

Una vez que los mapas han sido validados, ellos fueron incorporados para generar un sistema de visualización de los mismos el cual está disponible en <https://sga.ina.gov.ar/cirsa/mapas/pmpd.xhtml>. La disponibilidad de esta información puede ser utilizada principalmente para dos propósitos, a saber: a) para el diseño hidrológico de medidas estructurales y no estructurales requeridas para la mitigación del riesgo hidrológico, y b) para analizar la severidad de eventos observados en los Sistemas de Gestión de Amenazas Hidrológicas. En el primer caso, la herramienta reporta para un emplazamiento dado, ambas variables PMDT y PMP, el cual puede ser empleado en una cuenca de interés para determinar los escurrimientos de diseño o crecidas de proyecto, con los cuales se podrá realizar el diseño hidráulico de la infraestructura que sea requerida. Para el segundo caso, los valores observados por el SGA durante un evento de tormenta severa, puede ser comparado con valores de lluvia de referencia para diferentes tiempos de retorno y la PMP cuantificando con ellos la severidad del evento y su posible amenaza hidrológica para la cuenca en cuestión.

CONCLUSIONES

El mapeo en línea de valores de lluvias extremas para la República Argentina constituye una innovación sin precedentes para el País, la cual puede ser utilizada para diseño hidrológico y evaluación de severidad de eventos extremos de precipitación a lo largo de todo el territorio continental argentino. Los datos de 1.564 estaciones

pluviométricas fueron recolectados y sujetos a un exhaustivo control y análisis de calidad. La recopilación de esta cantidad de información histórica de precipitación representa un verdadero desafío, ya que esta información es generada por muchas organizaciones públicas y privadas (y por propietarios) y no es de acceso libre como en otras regiones del mundo.

Los reportes de información sobre precipitaciones extremas consisten de ambos, PMD para diferentes periodos de retorno y PMP. Valores locales de PMD para diferentes periodos de retorno en el rango de 2 a 100 años fueron estimados usando la FDP Lognormal y se realizó un análisis de sensibilidad para otras 5 funciones.

Los valores de PMP para cada sitio de medición seleccionado fueron estimados utilizando el método regional de Hershfield con un desarrollo del grupo de trabajo en la estimación del factor de frecuencia.

El análisis geoestadístico fue realizado generando mapas con grillas de 25 km² de resolución tanto para los valores de PMDT y PMP, interpolando estimaciones locales utilizando el método universal de Kriging, el cual requiere un modelado previo de la estructura espacial de correlación y ploteo de las variables.

Un análisis sobre la evolución espacial de los valores extremos de precipitación diaria fue realizado en todo el territorio continental argentino, en donde, los registros de láminas de lluvias precipitadas anualmente varían con máximos superiores a los 2.000 mm a menos de 100 mm en otras regiones. Este análisis muestra que las lluvias extremas son más espacialmente más uniformes a medida que el periodo de retorno aumenta, siendo la PMP, la variable analizada que posee una mayor uniformidad espacial.

Los mapas en línea tanto de PMDT y PMP brindan un acceso simple y directo a los resultados de este estudio, pudiendo obtener predicciones de las lluvias de diseño en regiones carentes de registro, con un

grado de incertidumbre aceptable para fines ingenieriles usuales.

La disponibilidad de mapas de precipitación extrema de alta calidad y actualizados es fundamental para el manejo hidrológico, especialmente en áreas donde se asientan poblaciones de alta vulnerabilidad, ya que permite desarrollar las acciones necesarias para mitigar el impacto de las amenazas hidrológicas, a través de una estimación confiable de magnitud de la precipitación esperada en eventos futuros según la relevancia del proyecto.

Se recomienda seguir trabajando en estudios futuros con el fin de incorporar nueva información de países vecinos que permita una mejor caracterización bajo las condiciones de los límites.

Los mapas generados deben actualizarse periódicamente (se recomienda un período de 5 años), incluidos los nuevos sitios y el actualizado de registros existentes.

Por último, la información que se mapea no pretende ser un reemplazo de las técnicas clásicas de análisis y procesamiento hidrológico sino un valor de referencia a nivel regional.

BIBLIOGRAFÍA

- AKAIKE, H., 1973. INFORMATION THEORY AND AN EXTENSION OF THE MAXIMUM LIKELIHOOD PRINCIPLE. 2ND INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INFORMATION THEORY AND CONTROL, p. 267.
- ALVES DA SILVA, A., STOSIC, B., MENEZES, S. & SINGH, V., 2019. COMPARISON OF INTERPOLATION METHODS FOR SPATIAL DISTRIBUTION OF MONTHLY PRECIPITATION IN THE STATE OF PERNAMBUCO, BRAZIL. JOURNAL OF HYDROLOGY ENGINEERING, 24(3).
- ANSELIN, L., 1995. LOCAL INDICATORS OF SPATIAL ASSOCIATION - LISA. GEOGRAPHICAL ANALYSIS, 27(2), pp. 93-115.
- BALL, J. ET AL., 2019. AUSTRALIAN RAINFALL AND RUNOFF - A GUIDE TO FLOOD ESTIMATION. S.L.:COMMONWEALTH OF AUSTRALIA (GEOSCIENCE AUSTRALIA).
- BARAGUET, M., 2018. EFECTOS DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN LA PREDICCIÓN DE LLUVIAS PARA DISEÑO EN LA PROVINCIA DE CÓRDOBA. CÓRDOBA: TESIS DE MAESTRIA MENCIÓN EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA - UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA.
- BARROS, V. ET AL., 2015. CLIMATE CHANGE IN ARGENTINA: TRENDS, PROJECTIONS, IMPACTS AND ADAPTATION. WIRES CLIMATE CHANGE, 6(2), pp. 151-169.
- BAZZANO, F., 2019. PREDICCIÓN DE LLUVIAS MÁXIMAS PARA DISEÑO HIDROLÓGICO. DESARROLLO EXPERIMENTAL EN LA PROVINCIA DE TUCUMÁN. TESIS DOCTORAL ED. SAN MIGUEL DE TUCUMÁN: UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUCUMAN.
- BAZZANO, F. & CAAMAÑO NELLI, G., 2015. PREDICCIÓN DE LLUVIAS MÁXIMAS EN TUCUMÁN CON EL MODELO DIT. PARANÁ, S.N.
- BERTONI, J. & TUCCI, C., 1993. CAPITULO 5. PRECIPITAÇÃO.. IN: C. TUCCI, ED. HIDROLOGIA, CIÊNCIA E APLICAÇÃO.. PRIMERA ED. SAO PAULO: EDITORA UNIVERSIDADE DE SAO PAULO. UFRGS, pp. 177-231.
- BIANCHI, A. & CRAVERO, S., 2010. ATLAS CLIMÁTICO DIGITAL DE LA REPÚBLICA ARGENTINA. PRIMERA ED. SALTA: INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA (INTA).
- BIVAND, R., 2014. SPDEP:SPATIAL DEPENDENCE: WEIGHTING SCHEMES, STATISTICS AND MODELS. R PACKAGE VERSION 0.5-75/r559. [ONLINE]
- AVAILABLE AT: [HTTP://R-FORGE.R-PROJECT.ORG/PROJECTS/SPDEP](http://R-FORGE.R-PROJECT.ORG/PROJECTS/SPDEP)
- BLANCHET, J., PAQUET, E., AYAR, P. & PENOT, D., 2019. MAPPING RAINFALL HAZARD BASED ON RAIN GAUGE DATA: AN OBJETIVE CROSS-VALIDATION FRAMEWORK FOR MODEL SELECTION. HYDROLOGY AND EARTH SYSTEM SCIENCES (HESS), 23(2), pp. 829 - 849.
- BLAND, J. & ALTMAN, D., 1995. MULTIPLE SIGNIFICANCE TESTS: THE BONFERRONI METHOD.. BJM, 310(6973), p. 170.
- BOYINA, R., CATTS, G., SMITH, S. & DEVINE, H., 2017. HYDROLOGIC WEB-MAPPING APPLICATION OF HOFMAN FOREST - GIS APPROACH: CASE STUDY. JOURNAL OF HYDROLOGIC ENGINEERING, 22(5), pp. 1 - 11.
- CAAMAÑO NELLI, G. & DASSO, C., 2003. LLUVIAS DE DISEÑO: CONCEPTOS, TÉCNICAS Y EXPERIENCIAS. PRIMERA ED. CÓRDOBA(-CÓRDOBA): UNIVERSITAS.
- CASAS, M. ET AL., 2007. ANALYSIS AND OBJETIVE MAPPING OF EXTREME DAILY. INTERNATIONAL JOURNAL CLIMATOLOGY, ISSUE 27, pp. 399 - 409.
- CATALINI, C., CAAMAÑO NELLI, G. & DASSO, C., 2011. DESA-

- ROLLO Y APLICACIONES SOBRE LLUVIAS DE DISEÑO EN ARGENTINA.. PRIMERA ED. SAARBRÜCKEN: EDITORIAL ACADÉMICA ESPAÑOLA.
- CATALINI, C., MAIDAH, A., GARCÍA, C. & CAAMAÑO NELLI, G., 2010. MAPAS DIGITALES DE ISOHIETAS DE LLUVIAS MÁXIMAS DIARIAS PARA LA PROVINCIA DE CÓRDOBA. AZUL, IHLL.
- CHOW, V., 1951. A GENERAL FORMULA FOR HYDROLOGIC FREQUENCY ANALYSIS. EOS TRANS AGU, 32(2), pp. 231-237.
- CHOW, V., MAIDMENT, D. & MAYS, L., 1999. HIDROLOGÍA APLICADA. SANTA FE DE BOGOTA: MC GRAW-HILL BOOK COMPANY.
- GONZÁLEZ-ÁLVAREZ, A. ET AL., 2019. ISOHYETAL MAPS OF DAILY MAXIMUM RAINFALL FOR DIFFERENT RETURN PERIODS FOR THE COLOMBIAN CARIBBEAN REGION. WATER, ISSUE 11Ç, p. 258.
- GOOVAERTS, P., 2000. GEOSTATISTICAL APPROACHES FOR INCORPORATING ELEVATION INTO THE SPATIAL INTERPOLATION OF RAINFALL. JOURNAL OF HYDROLOGY, 228(1 - 2), pp. 113 - 129.
- GUILLÉN, N., 2014. ESTUDIOS AVANZADOS PARA EL DISEÑO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DE INFRAESTRUCTURA HÍDRICA, CÓRDOBA: UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA.
- HERSHFIELD, D., 1961A. ESTIMATING THE PROBABLE MAXIMUM PRECIPITATION. PROCEEDINGS AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. JOURNAL OF HYDRAULIC DIVISION 87 (HY5), pp. 99-106.
- HERSHFIELD, D., 1965. METHOD FOR ESTIMATING PROBABLE MAXIMUM PRECIPITATION. JOURNAL AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, 57(8), pp. 965-972.
- HERSHFIELD, D., 1981. THE MAGNITUDE OF THE HYDROLOGICAL FREQUENCY FACTOR IN MAXIMUM RAINFALL ESTIMATION. HYDROLOGICAL SCIENCES BULLETIN, 26(2), pp. 171-177.
- JOURNEL, A. & HUIJBREGTS, C., 1978. MINING GEOSTATISTICS. 1 ED. S.L.:ACADEMIC PRESS.
- KENDALL, M. & STUART, A., 1967. THE ADVANCE THEORY OF STATISTICS. SEGUNDA ED. NEW YORK: HAFNER.
- KESKIN, M., DOGRU, A., BALCIK, F. & GOKSEL, C., 2015. COMPARING SPATIAL INTERPOLATION METHODS FOR MAPPING METEOROLOGICAL DATA IN TURKEY. ENERGY SYSTEMS AND MANAGEMENT, pp. 32 - 42.
- MAIR, A. & FARES, A., 2011. COMPARISON OF RAINFALL INTERPOLATION METHODS IN A MOUNTAINOUS REGION OF A TROPICAL ISLAND. JOURNAL OF HYDROLOGIC ENGINEERING, 16(4), pp. 371 - 383.
- MANN, H., 1945. NON PARAMETRIC TEST AGAINST TREND. ECONOMETRICA, 13(3), pp. 245-259.
- MC KAY, G., 1973. SECTION II PRECIPITATION. IN: HANDBOOK OF THE PRINCIPLES OF HYDROLOGY. NEW YORK: NATIONAL RESEARCH COUNCIL OF CANADA. WATER INFORMATION CENTER.
- MORAN, P., 1948. THE INTERPRETATION OF STATISTICAL MAPS. JOURNAL OF THE ROYAL STATISTICAL SOCIETY. SERIES B (METHODOLOGICAL), 10(2), pp. 243-251.
- NIKULIN, M. S., 1973. CHI-SQUARE TEST FOR CONTINUOUS DISTRIBUTIONS WITH SCALE AND SHIFT. THEORY OF PROBABILITY AND ITS APPLICATIONS, 18(3), pp. 559-568.
- NOAA, 2004. ATLAS 14: PRECIPITATION-FREQUENCY ATLAS OF THE UNITED STATES.. S.L.:NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NATIONAL WEATHER SERVICES).
- OLIVER, M. A. & WEBSTER, R., 2015. BASIC STEPS IN GEOSTATISTICS: THE VARIOGRAM AND KRIGING. NEW YORK, DORDRECHT,

LONDON: SPRINGERBRIEFS.

OLMOS, L., IBAÑEZ, J. & FARIAS, H., 2010. ESTUDIO REGIONAL DE LAS LLUVIAS MÁXIMAS DIARIAS. APLICACIÓN A LA LLANURA CHAQUEÑA ARGENTINA. PUNTA DEL ESTE, CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA.

PRUDHOMME, C., 1999. MAPPING A STATISTIC OF EXTREME RAINFALL IN A MOUNTAINOUS REGION. PHYSICS AND CHEMISTRY OF THE EARTH, PART B: HYDROLOGY, OCEANS AND ATMOSPHERE, 24(1 - 2), pp. 79 - 84.

RAHMAN, M., SARKAR, S., NAJAFI, M. & RAI, R., 2013. REGIONAL EXTREME RAINFALL MAPPING FOR BANGLADESH USING L-MOMENT TECHNIQUE. JOURNAL OF HYDROLOGIC ENGINEERING, 18(5), pp. 603 - 615.

RÜHLE, F., 1966. DETERMINACIÓN DEL DERRAME MÁXIMO SUPERFICIAL DE LAS CUENCAS IMBRÍFERAS. LA INGENIERÍA, VOLUME 987.

SUGAI, M. & FILL, H., 1990. TEMPO DE RECORRÊNCIA ASSOCIADO À PRECIPITAÇÃO MÁXIMA PROVÁVEL NA REGIÃO SUL DO BRASIL. REVISTA BRASILEIRA DE ENGENHARIA CADERNO DE RECURSOS HIDRICOS, 8(1), p. 110.

SZOLGAY, J., PARAJKA, J., KOHNOVÁ, S. & HLA, K., 2009. COMPARISON OF MAPPING APPROACHES OF DESIGN ANNUAL MAXIMUM DAILY PRECIPITATION. ATMOSPHERIC RESEARCH, ISSUE 92, pp. 289-307.

VAN DE VYVER, H., 2012. SPATIAL REGRESSION MODELS FOR EXTREME PRECIPITATION IN BELGIUM.. WATER RESOUR. RES, 48(9), pp. 1-17.

VICENTE-SERRANO, S. ET AL., 2015. AVERAGE MONTHLY AND ANNUAL CLIMATE MAPS FOR BOLIVIA. JOURNAL OF MAPS, 12(2), pp. 1 - 16.

VICENTE-SERRANO, S., SAZ-SANCHEZ, M. & CUADRAT, J., 2003. COMPARATIVE ANALYSIS OF INTERPOLATION METHODS IN THE MIDDLE EBRO VALLEY (SPAIN): APPLICATION TO ANNUAL PRECIPITATION AND TEMPERATURE. CLIMATE RESEARCH, 24(2), pp. 161 - 180.

WALD, A. & WOLFOWITZ, J., 1943. AN EXACT TEST FOR RANDOMNESS IN THE NON-PARAMETRIC CASE BASED ON SERIAL CORRELATION. THE ANNALS OF MATHEMATICAL STATISTICS, 14(4), pp. 378-388.

WILCOXON, F., 1945. INDIVIDUAL COMPARISONS BY RANKING METHODS. BIOMETRIC BULLETIN, VOLUME 1, pp. 80 - 83.

ZAMANILLO, E. ET AL., 2008. TORMENTAS DE DISEÑO PARA LA PROVINCIA DE ENTRE RÍOS. CONCORDIA: FACULTAD REGIONAL CONCORDIA. UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL.

ZHANG, F., ZHONG, S., SUN, C. & HUANG, Q., 2015. SPATIAL ESTIMATION OF MEAN ANNUAL PRECIPITATION (1951-2012) IN MAINLAND CHINA BASED ON COLLABORATIVE KRIGING INTERPOLATION. GEO-INFORMATICS IN RESOURCE MANAGEMENT AND SUSTAINABLE ECOSYSTEM. GRMSE 2015. COMMUNICATIONS IN COMPUTER AND INFORMATION SCIENCE, VOLUME 569, pp. 663 - 672.

CONFERENCIAS DICTADAS EN 2020

INTELIGENCIA DE DATOS Y BIG DATA

Fecha: 3 de junio de 2020

Disertante Dra. Laura Lanzarini:

Dra. en Ciencias Informáticas. Profesora Titular Facultad de Informática UNLP. Secretaria de Ciencia y Técnica Fac. de Informática-UNLP. Es miembro del Instituto de Investigación en Informática LIDI (III-LIDI) con responsabilidades de dirección de proyectos nacionales e internacionales, becarios e investigadores



Dra. Laura Lanzarini

Conferencia publicada en:

<http://163.10.22.82/postgrado/Conferencia-sobre-INTELIGENCIA-DE-DATOS-y-BIG-DATA-20200603.mp4>

Resumen:

Los avances tecnológicos han incrementado vertiginosamente las capacidades para generar y procesar datos facilitando la automatización de todo tipo de transacciones (comerciales, financieras, gubernamentales, industriales, educativas, etc.). En los últimos años, ha crecido considerablemente el interés por analizarlos con el objetivo de ayudar a la toma de decisiones. La Inteligencia de Datos reúne estrategias capaces de extraer patrones o relaciones a partir de la información disponible y ya ha dado muestras concretas de su valor en diversos contextos convirtiéndose en un claro ejemplo de la evolución de la informática. Por su intermedio, las aplicaciones pueden, por ejemplo, anticipar fallas en un proceso industrial, detectar las preferencias de compras de un cliente o iden-

tificar operaciones comerciales fraudulentas. Estas situaciones tan disímiles tienen un punto en común: el análisis inteligente de los datos. El crecimiento del volumen de información a procesar incrementa notablemente el tiempo de ejecución de los algoritmos para la Inteligencia de Datos. Contar con herramientas capaces de analizar grandes volúmenes de datos en tiempos aceptables resulta de mucho interés. Para procesar grandes volúmenes de información es necesario contar con hardware y software específico (tecnología Big Data). El hardware involucra múltiples computadoras capaces de procesar la información en forma paralela, mientras que el software debe ocuparse de administrar todo el hardware disponible manejando los recursos de manera óptima. Existen varios frameworks que pueden utilizarse para la ejecución de aplicaciones en entornos Big Data. Uno de los frameworks más utilizados por las empresas, para encontrar el valor de los nuevos datos que se almacenan a diario, es Apache

Spark. Por su intermedio es posible analizarlos para generar una ventaja competitiva al momento de tomar decisiones. Hoy en día, la información se ha convertido en el capital más importante de cualquier organización. Esto hace que exista

en el mercado laboral una fuerte demanda de profesionales capacitados para operar con ella. En las universidades se está incorporando este perfil tanto en el grado como en el posgrado.

CIUDADES INTELIGENTES Y SOSTENIBLES

Fecha: 2 de julio de 2020

Disertante Dra. Elsa Esteves:

Titular de la Cátedra UNESCO de Sociedades del Conocimiento y Gobernanza Digital de la Universidad Nacional del Sur; Profesora Titular de la Facultad de Informática de la Universidad Nacional de La Plata, e Investigadora Independiente del CONICET. Es consultora del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) en materia de gobierno digital, particularmente en América Latina.

Conferencia publicada en:

<http://163.10.22.82/postgrado/Conferencia-Ciudades-Inteligentes-y-Sostenibles-20200702.mp4>

Resumen:

Las tecnologías digitales constituyen una herramienta poderosa que contribuyen al desarrollo humano. La masificación de su uso por parte de las sociedades produce importantes transformaciones, desde la forma de relacionarse entre las personas, pasando por cómo los ciudadanos interactúan con el gobierno para acceder a servicios públicos y hacer



Dra. Elsa Esteves

conocer sus opiniones, hasta de qué manera se utilizan para promover el desarrollo socio-económico.

Esta Conferencia presenta y compara las transformaciones digitales lideradas por los gobiernos en el ámbito de la administración pública y cómo dichas transformaciones son impulsadas por los gobiernos locales en el contexto del desarrollo urbano, en particular, en el desarrollo de ciudades inteligentes sostenibles y sociedades del conocimiento.

EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA EDIFICACIÓN: SISTEMAS Y TECNOLOGÍAS SUSTENTABLES

Fecha: 10 de septiembre de 2020

Disertante Ing. José Luis Larrégola Ferrer:

Ingeniero en Telecomunicaciones, Experto en Auditorías Energéticas, Auditor Jefe certificado por TÜV NORD y Capacitador en Sistemas de Gestión de la Energía ISO 50001. Actualmente ocupa el cargo de Experto Principal en el proyecto de Cooperación Europea "Eficiencia Energética en Argentina" en la parte de programas piloto demostrativos de ahorros en industria, edificios y transporte.

Conferencia publicada en:

https://www.youtube.com/watch?v=ud-ljuZiwRjo&t=6518s&ab_channel=AcademiadelIngenier%C3%ADa-PBA



Ing. José Luis Larrégola Ferrer

Resumen:

En la conferencia se presentaron las ventajas de un sistema de gestión de la energía en actividades y procesos constructivos, versus el sistema típico que no se encuentra orientado a construir edificios sustentables.

Se propuso a la audiencia pautas para comprender, mediante experiencias prácticas, las claves en la implementación de las herramientas de gestión, y conocer los Sistemas y las Tecnologías Sustentables.

LA ENERGÍA DESPUÉS DE LA PANDEMIA. EL FUTURO DE LA ENERGÍA EN ARGENTINA Y EL MUNDO

Fecha: 8 de octubre de 2020

Disertante Ing. Hugo Carranza:

Ingeniero Electricista, egresado de la UTN, donde es docente de Sistemas Eléctricos de Potencia; Generación, Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica. Docente de postgrado (ITBA, UBA, UTN). Académico de Número en la Academia del Mar (desde 2013). Fue Gerente Técnico en TOTAL Gas y Electricidad Argentina. Actualmente es Consultor Independiente. Autor de libros y de artículos y presentaciones sobre temas energéticos en Argentina, Brasil, Colombia, Chile, Perú y EEUU. Participa en Instituciones como el IAPG, CIGRE, SPE.



Ing. Hugo Carranza

Conferencia publicada en:

https://www.youtube.com/watch?v=-3CAwoulav-0&t=182s&ab_channel=AcademiadelIngenier%C3%ADa-PBA

Resumen:

En la conferencia se destaca que la crisis causada por el coronavirus nos recuerda la importancia del acceso a la energía que posee la sociedad moderna.

Ha sido significativo el impacto de la pandemia en la matriz energética global. Se plantearon reflexiones sobre el pasado y futuro de la producción y demanda de energía en Argentina y el mundo

LA PETROQUÍMICA COMO AGREGADORA DE VALOR AL GAS NATURAL DE VACA MUERTA

Fecha: 9 de noviembre de 2020

Disertante Ing. Jorge de Zavaleta:

Ingeniero Químico de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Litoral, ha desarrollado una carrera de más de 36 años en Dow Argentina, ocupando posiciones Gerenciales y Ejecutivas en Manufactura, Investigación y Desarrollo, Supply Chain, Gerencia de Proyectos y Director Comercial de Hidrocarburos y Energía. Desde 2015 es Director Ejecutivo de la CIQYP



Ing. Jorge de Zavaleta

Conferencia publicada en:

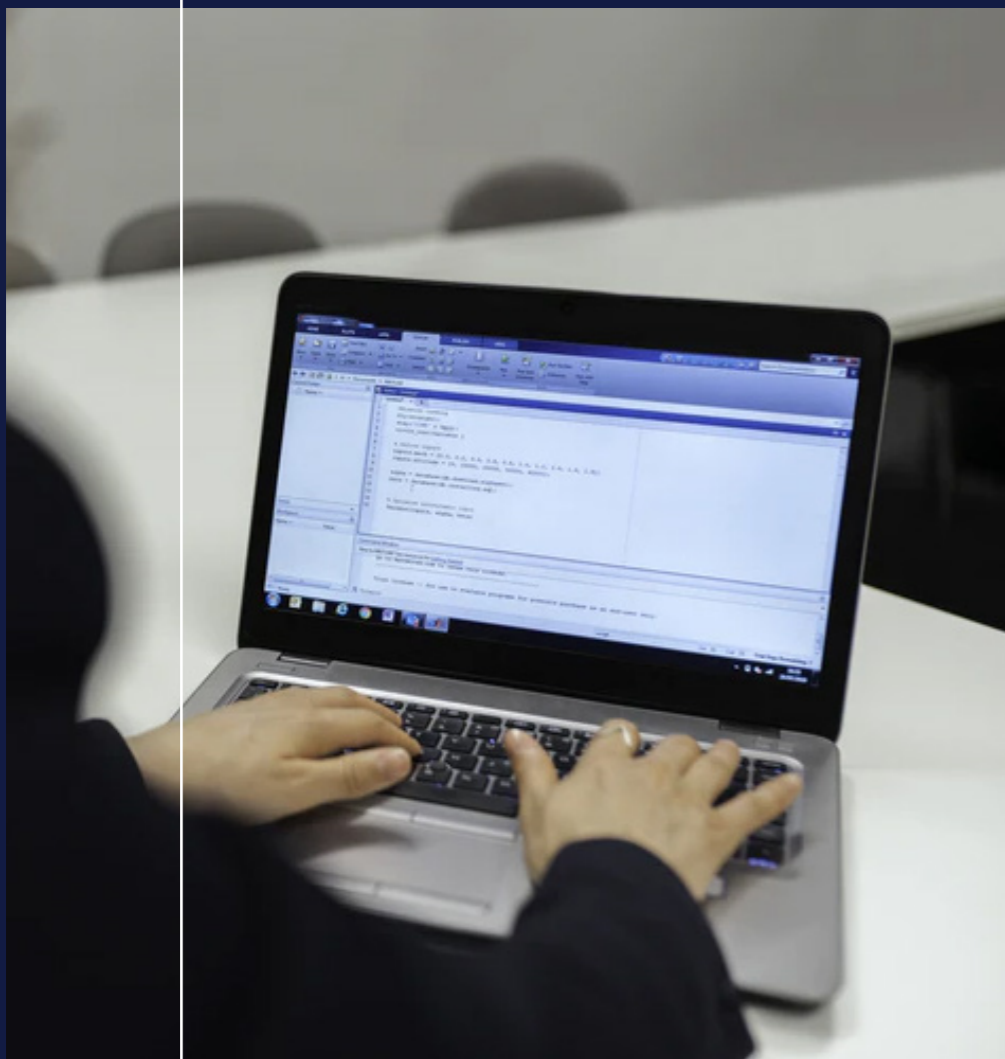
https://www.youtube.com/watch?v=30u-6mW8Tfcg&t=5s&ab_channel=AcademiadelIngenier%C3%ADa-PBA

Resumen:

La conferencia fue un resumen de un estudio realizado por la Cámara de la Industria Química y Petroquímica – CIQYP.

Ya no se discute la calidad de la roca madre de Vaca Muerta la productividad de los pozos horizontales para extracción de hidrocarburos, son similares a los mejores de la cuenca de Permian de USA.

Argentina está frente a una nueva oportunidad de convertirse en un productor de primer nivel de Petróleo y Gas natural. La petroquímica se perfila como una alternativa de agregación de valor a los hidrocarburos de Vaca Muerta.-



INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA E INFORMÁTICA

SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL A DISTANCIA DE GLUCEMIA EN PACIENTES HOSPITALIZADOS O AISLADOS CON COVID-19

FABRICIO GARELLI¹, LEANDRO MENDOZA¹, DELFINA ARAMBARRI¹, NICOLÁS ROSALES¹

¹ GRUPO DE CONTROL APLICADO (GCA), INSTITUTO LEICI (UNLP-CONICET), FACULTAD DE INGENIERÍA, UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA, ARGENTINA

CONTACTO: FABRICIO@ING.UNLP.EDU.AR

Abstract: En este trabajo se presenta el desarrollo tecnológico y el funcionamiento de una plataforma para el monitoreo remoto y continuo de la glucemia en pacientes aislados u hospitalizados. La plataforma tiene su origen en un desarrollo para ensayos clínicos de sistemas de páncreas artificial, denominado InsuMate, que permite la conexión de forma inalámbrica entre un teléfono inteligente, sensores continuos de glucosa y bombas de infusión continua de insulina, como así también ejecutar en tiempo real un algoritmo de control glucémico. Como herramienta de supervisión, y en el contexto de la pandemia de COVID-19, se desarrolló un módulo de Monitoreo Remoto (MR) que permite visualizar en cualquier navegador la excursión glucémica, suministro de insulina, estadísticas, entre otras herramientas de diagnóstico. Dado que los sensores subcutáneos de glucosa fueron aprobados para su uso hospitalario recién durante la pandemia, la plataforma desarrollada constituye una de las primeras herramientas de monitoreo

El proyecto fue seleccionado para recibir financiación en el marco del Programa de Articulación Federal COVID-19 del MinCyT, y declarado de interés por el Concejo Deliberante de la Ciudad e La Plata (Decreto N.99, 26/6/2020).

Durante 2020 se completaron más de 1000hs de monitoreo continuo en UTIs-COVID con la plataforma, permitiendo estabilizar a todos los pacientes tratados. Los resultados obtenidos fueron publicados por la revista Diabetes Technology and Therapeutics.

compatibles con m´ múltiples sensores, m´ múltiples terapias (insulina endovenosa, subcutánea, m´ múltiples dosis) y para m´ múltiples pacientes. Al estar basada en desarrollos de código abierto, la plataforma cuenta con la versatilidad necesaria para adaptarse a los requerimientos de diferentes tipos de estudios y/o centros médicos. En particular, en el marco de la pandemia de Covid-19, la plataforma está permitiendo monitorear y estabilizar metabólicamente a pacientes en unidades de terapia intensiva COVID-19 en hospitales de nuestro país. Index Terms—diabetes, telemedicina, telemetría, monitoreo remoto, glucemia, COVID-19.

I. INTRODUCCIÓN

La diabetes es una enfermedad crónica caracterizada por una deficiencia absoluta o relativa de insulina (Diabetes Mellitus Tipo 1 (DMT1) y tipo 2, respectivamente), y constituye uno de los principales factores de riesgo frente al coronavirus, en particular cuando no está bien controlada. Se estima que el número total de diabéticos en el mundo ha superado los 450 millones, y en nuestro país los 4,5 millones. Si bien la infusión via bomba de insulina (SCII) ha demostrado ser efectiva para mejorar el control glucémico comparada con las múltiples inyecciones diarias de insulina (Multiple Daily Injections, MDI), esta última sigue siendo la terapia más utilizada en nuestro país. Por otro lado, en las últimas décadas surgieron los sensores continuos de glucosa (Continuos Glucose Monitor, CGM) a nivel subcutáneo, y con ellos el concepto de Páncreas Artificial (PA), el cual consiste en lograr el control automático de la glucemia mediante un lazo cerrado entre un CGM, una bomba de insulina y un algoritmo de control.

El grupo de trabajo al que pertenecen los autores inició la línea de investigación en el control y la tecnología para la diabetes a finales de 2011, a partir de una estancia del primer autor en la Universidad de Girona, España. Desde entonces se propusieron algoritmos de control de lazo abierto [1], [2], lazo cerrado [3] y variantes adaptativas [4], [5]. La estrategia SAFE [3], desarrollada para limitar la concentración de insulina en el espacio subcutáneo y evitar así eventos de hipoglucemia severos, fue evaluada satisfactoriamente mediante ensayos clínicos posprandiales en hospitales públicos de Valencia y Barcelona [6], [7]. Posteriormente, se evaluó su desempeño ante ejercicio físico aeróbico y anaeróbico en el Hospital Clinic de Barcelona. Luego de la aprobación de ANMAT, en 2016-2017 se logró realizar en el Hospital Italiano de Buenos Aires el primer ensayo clínico de un PA en nuestro país. En la segunda fase del ensayo se evaluó un algoritmo puramente argentino y sin requerimien-

to de conteo de carbohidratos denominado ARG [8], que conmuta entre dos controladores (uno agresivo para períodos postprandiales y otro conservador para períodos de ayuno) y utiliza la capa SAFE anteriormente mencionada [9], [10]. Este ensayo fue realizado utilizando la plataforma de hardware más avanzada hasta la fecha, denominada Diabetes Assistant (DiAs), propiedad de la Universidad de Virginia (UVA) [11]. Lamentablemente, la posterior falta de disponibilidad de la plataforma DiAs impidió entre otras cosas la realización de un segundo ensayo clínico del algoritmo ARG programado para la población pediátrica junto con el Hospital Garrahan.

A raíz de ello el grupo comenzó a trabajar en el desarrollo de una plataforma de hardware y software propia. Se buscó que la plataforma fuese de código abierto para que los pacientes diabéticos puedan disponer de la misma una vez probados y aprobados los algoritmos de control [12]. Se registró el nombre InsuMate para identificar la plataforma. Luego de varios meses de desarrollo, programación y pruebas de simulación, se comenzaron las pruebas preliminares. Así, entre 2019 y 2020 la conectividad con sensores y bombas fue validada experimentalmente en 6 pacientes durante aproximadamente 1300 horas, arrojando resultados del orden de los obtenidos en ensayos anteriores con la plataforma DiAs, o superiores. A su vez, se implementaron distintas versiones del controlador ARG y se contrastaron con su implementación en MATLAB [13], un entorno de programación con herramientas de uso general, muy utilizado para simular modelos, probar algoritmos y establecer su desempeño. Finalmente, se realizaron comparaciones de lazo abierto con los vectores de glucemia e insulina de los ensayos clínicos previos, obteniendo también resultados muy satisfactorios [14].

Si bien el siguiente paso era la realización de los primeros ensayos clínicos de páncreas artificial (lazo cerrado) ambulatorios con la plataforma InsuMate en abril de 2020, los mismos se suspendieron por el inicio del

aislamiento. En ese contexto, los médicos de los hospitales con los que se venía trabajando plantearon la necesidad del monitoreo remoto de pacientes críticos con COVID, dada la imposibilidad de indicarles insulina a pacientes que la requerían por no poder hacerle los controles de glucemia capilar (se deben realizar cada una hora máximo) debido a las restricciones de ingreso a las salas. Luego, ante la aprobación en mayo de 2020 del uso de los CGM en pacientes críticos, se reorientó el proyecto de páncreas artificial hacia el monitoreo de pacientes COVID tanto aislados como en salas de terapia intensiva (UTI), a fin de mejorar el control de los pacientes en áreas restringidas y de reducir la exposición del personal de salud. En este marco, se presentó un proyecto al Programa de Articulación Federal COVID-19 del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Nación, el cual fue adjudicado, y se desarrolló un nuevo módulo de monitoreo continuo y diagnóstico para múltiples pacientes y múltiples sensores (de distintas marcas), el cual se encuentra operativo y ya ha efectuado más de 1000hs de monitoreo en pacientes en UTI-COVID. A continuación, la sección II describe la plataforma desarrollada, sus principales componentes y modos de funcionamiento, con particular énfasis en el monitoreo remoto (MR). En la sección III se presentan las pruebas preliminares y los resultados del uso del MR en pacientes en UTI-COVID de los Hospitales Italiano de Buenos Aires y Garrahan (pediatría). Finalmente, en las secciones IV y V se describen los desarrollos actuales y el trabajo futuro, junto con las conclusiones obtenidas de las pruebas realizadas.

II. PLATAFORMA INSUMATE

El sistema InsuMate es una marca registrada de la UNLP [15]. En su versión completa está compuesto por una aplicación móvil alojada en un teléfono inteligente, donde a su vez reside el algoritmo de control, un sensor de glucosa subcutáneo o CGM y una bomba de insulina, como se muestra en la Fig. 1. A esto



Fig. 1. Componentes principales de la plataforma InsuMate.

se debe adicionar las aplicaciones necesarias para la conexión de los dispositivos: Ruffy en el caso de la bomba AccuChek Spirit Combo y xDrip+ para la transmisión de las medidas de glucosa. La transmisión de datos hacia la nube se efectúa primero hacia el utilitario NightScout [16], software de código abierto desarrollado bajo la consigna DIY ("Do It Yourself") [17], y luego hacia un servidor y sitio web propio en el dominio registrado www.insumate.com.ar. La figura 1 muestra esquemáticamente a los principales componentes de la plataforma.

A. Aplicación móvil

Insumate-App está basada en el sistema AndroidAPS [18],[19], corre en dispositivos móviles con sistema operativo Android (versión 7.1 en adelante), y se programó en lenguaje Java. La misma fue adaptada y programada para fines de investigación en estrategias de control de PA. Permite ejecutar un algoritmo de control con tiempo de muestreo y actuación de 5 minutos, y cuenta con una interfaz gráfica acorde para la visualización de variables y datos de interés durante ensayos clínicos. En particular, en la pantalla principal se grafica la evolución temporal no solo de la glucemia, sino también de la infusión continua de insulina y de la insulina activa o Insulina a Bordo (IOB), una variable clave

en los sistemas de PA para evitar eventos de hipoglucemia inducidos por el exceso de insulina en el organismo. A su vez, brinda la posibilidad de ver en detalle las gráficas y desplazarse temporalmente, y presenta otros datos relevantes para las pruebas clínicas: el valor actual de glucemia, su tendencia y su tasa de cambio, el valor actual de IOB, el modo del control glucémico (ver subsección siguiente), el nombre (perfil) del paciente asociado a sus parámetros clínicos, el rango deseado de glucemia y botones configurables para la carga de ingestas, notas y calibraciones del sensor.

Con el objetivo de garantizar el funcionamiento continuo del sistema con bomba de insulina, se incorporó a la aplicación una estrategia para el tratamiento de las eventuales desconexiones del CGM. Para este fin se realizan estimaciones de la glucemia futura cada 5 minutos, las cuales son utilizadas por el algoritmo de control en caso que la muestra del CGM no llegue a tiempo, con un límite de veinte minutos de muestras faltantes (utilización de 3 valores estimados). Una vez reconectado el CGM, la muestra real se superpone a la estimada para el procesamiento y análisis posterior. Por otro lado, antes de la ejecución del controlador se verifica que el bolo de insulina (infusión o dosis de insulina aplicada en un instante dado) calculado en la muestra anterior haya sido suministrado. En caso de desconexión con la bomba o de falla de suministro del bolo, se actualizan los estados del controlador y la estimación de IOB considerando que no se suministró el bolo correspondiente.

B. Modos de operación

La aplicación móvil de InsuMate tiene funcionalidades básicas comunes a todos los modos de operación. Entre ellas, las ya mencionadas de monitoreo continuo de la glucemia e insulina a bordo, la posibilidad de hacer anotaciones, registrar ingestas y efectuar calibraciones del sensor. A su vez, cuenta con tres modos de operación dependiendo del paciente y la tecnología asociada:

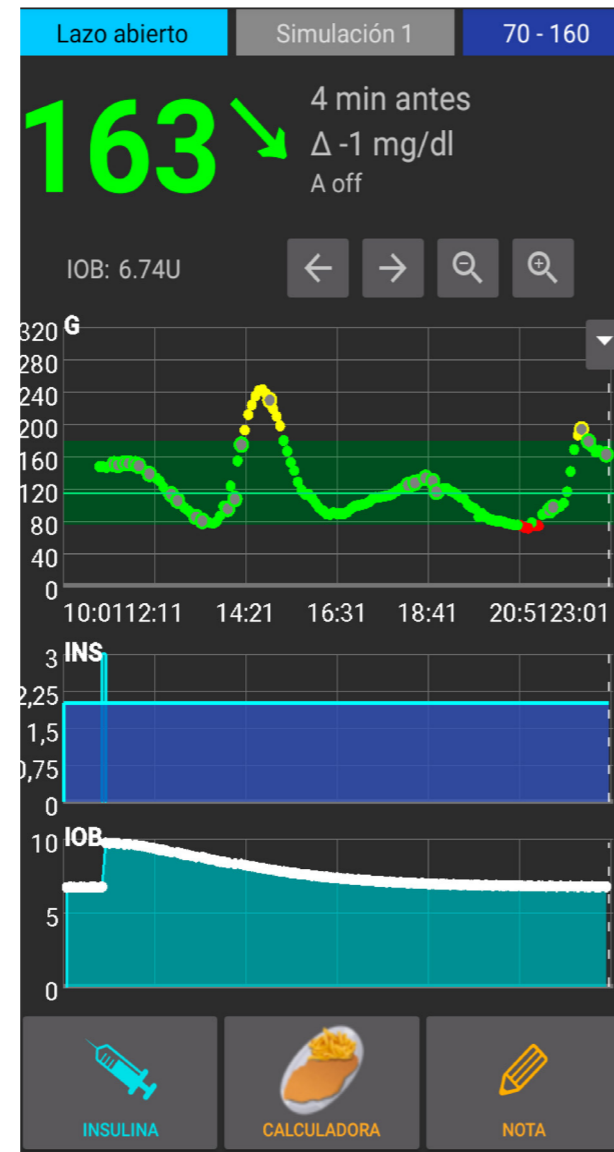


Fig. 2. Captura de pantalla en modo Lazo Abierto, con DIA=8hs.

MDI, Lazo Abierto y Lazo Cerrado. En modo MDI el sistema opera en lazo abierto y sin conexión con bomba, es decir, la insulina se la infunde el paciente mediante lapicera de insulina. Se pueden registrar inyecciones de insulina rápida y lenta (se las diferencia en color), y efectuar cálculos de bolos a partir de medidas de glucosa, insulina a bordo y cantidad de carbohidratos. Es decir, la plataforma funciona como un registro del tratamiento pudiendo utilizarse también como sistema de soporte de decisiones terapéuticas. En modo Lazo Abierto el funcionamiento es similar al modo MDI, con la salvedad de que al existir conexión a una bomba de

insulina se pueden ajustar los niveles de insulina basal (infusión continua) y comandar bolos prandiales y de corrección (infusiones puntuales de mayor magnitud), recibiendo confirmación del suministro de bolos. Asimismo, los parámetros clínicos de configuración de la bomba, como el Factor de Corrección (CF) y la relación insulina-carbohidratos (CR), pueden ajustarse tanto remotamente como dentro de la aplicación, siendo confirmados por el paciente. Cabe destacar que al tratarse de una terapia CSII solo se utiliza insulina rápida. La Figura 2 muestra una captura de pantalla de la aplicación en modo lazo abierto considerando una Duración de Insulina Activa (DIA) de 8hs para el cálculo del IOB.

Por último, se encuentra el modo Lazo Cerrado o lo que se denomina Páncreas Artificial. En este caso el sistema comanda en forma automática la infusión de insulina cada 5 minutos mediante el suministro de micro-bolos, de acuerdo a la evolución de las muestras del CGM. Este modo incorpora la ejecución forzada del algoritmo de control ante la pérdida de muestras mediante estimaciones de glucemia, tal como se comentó anteriormente.

En el modo Lazo Cerrado se ha implementado y programado el algoritmo ARG [8], el cual consiste en la conmutación de dos controladores LQG (uno conservador para períodos de ayuno y uno agresivo para compensación de ingestas) y la capa de seguridad SAFE para limitación de la IOB (con módulos para tratamiento de hipo e hiper-glucemia). Aquí el sistema muestra en qué estado se encuentra el controlador (conservador o agresivo) a cada momento. Actualmente se dispone de dos versiones del algoritmo ARG. Por un lado la versión con anuncio de comidas, donde al momento de la ingesta se debe ingresar el tamaño de la misma, diferenciando entre chica (menor o igual a 35g), mediana (entre 35 y 65g) o grande (mayor o igual a 65g). Este anuncio, cabe destacar, no se utiliza para infundir un bolo de insulina sino que simplemente permite ajustar el límite del IOB, con lo cual el controlador res-

ponde agresivamente únicamente si confirma una tendencia creciente en la glucemia (ante el anuncio entra en listening mode). Por otro, se implementó también la versión de ARG sin anuncio de comidas, en el cual se detectan las ingestas automáticamente a partir de las medidas de glucosa utilizando un algoritmo de detección basado en filtro de Kalman [20]. Ambas versiones fueron validadas comparando los resultados obtenidos en MATLAB.

Los distintos controladores pueden correrse de forma independiente en módulos con formato de plug-in, coexistiendo en la plataforma y dando la posibilidad al usuario de seleccionar qué controlador usar, ya sea una versión del ARG u otro controlador desarrollado por otro equipo de trabajo.

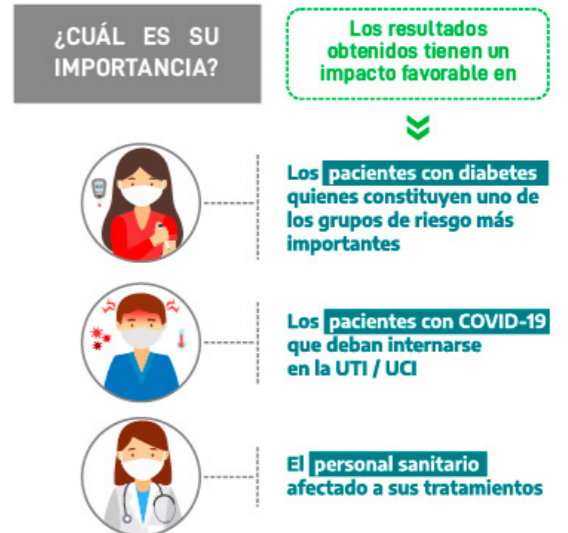


Fig. 3. Infografía del sistema desarrollado (diseño realizado por el Dpto. de Comunicación y Difusión Científica de CICpBA).



Fig. 4. Infografía del sistema desarrollado (diseño realizado por el Dpto. de Comunicación y Difusión Científica de CICpBA).

C. Monitoreo Remoto Múltiples Pacientes

Insumate-MR es un módulo del sistema InsuMate que puede utilizarse independientemente de la aplicación en Android empleada tanto para terapia MDI como para lazo abierto y cerrado. Las infografías de las figuras 3 y 4 describen la relevancia, el funcionamiento y los objetivos de este módulo en el contexto COVID-19. La conexión del CGM con el sitio de monitoreo se hace a través de la aplicación móvil xDrip+, aunque puede realizarse con otras aplicaciones específicas, como por ejemplo Tomato, una aplicación destinada al sensor NFC Freestyle Libre de Abbot junto al adaptador Bluetooth MiaoMiao. En el caso de usar únicamente el módulo de monitoreo para hacer un seguimiento de la glucemia, en los dispositivos de lectura (notebook, celular de médico o familiar, etc.) se puede la evolución de la glucemia, incluyendo la medida actual con su tendencia y tasa de cambio, la indicación del tiempo calibraciones realizadas y una tabla de métricas por día (ver Fig. 5). Si además se utiliza la aplicación móvil de InsuMate, se puede monitorear el registro de ingestas, la infusión de insulina y su concentración en el organismo, el modo de funcionamiento del sistema, entre otros datos de interés. El sistema de MR está alojado en un servidor web (www.insumate.com.ar/remoto) que permite operar hasta 40 individuos conectados en simultáneo, accesible mediante usuario y contraseña por cada centro de salud. En la Figura 6 se visualiza un ejemplo de la pantalla principal para 6 pacientes en simultáneo (cuatro de ellos en UTIs-COVID, uno en sala y uno ambulatorio). Se encuentra programado en Javascript/HTML y utiliza los datos subidos vía NightScout a un servidor propio. Se puede utilizar en cualquier navegador, ya sea de una computadora, celular o tablet. Brinda una interfaz simple para visualizar en una única pantalla a todos los pacientes/usuarios, o la opción de vista detallada de uno en particular. De cada sujeto se muestran los datos anteriormente mencionados de las últimas 4 horas (vista general) y 8 días (vista detallada).

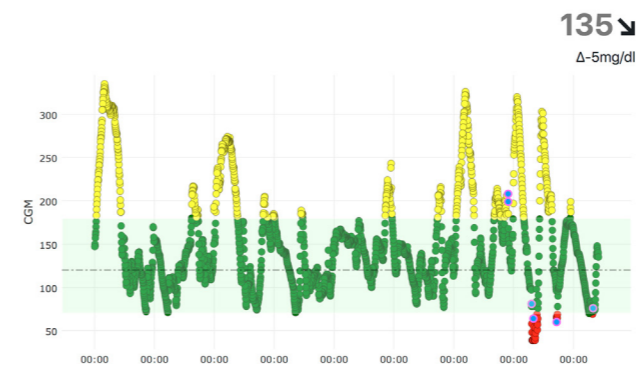


Fig. 5. Vista detallada del Monitoreo Remoto de 8 días completos de un usuario en modo ambulatorio con terapia MDI.

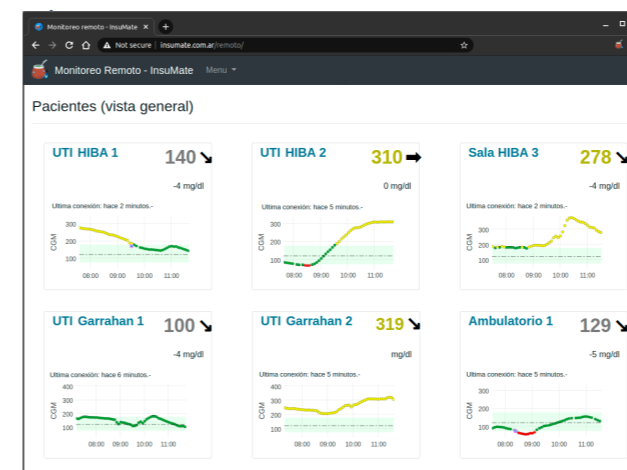


Fig. 6. Vista general del Monitoreo Remoto de Múltiples Usuarios con terapia MDI (ambulatorio), en salas y UTIs de Hospitales.

Métricas: Al ingresar a la sección de vista detallada de cada paciente, se carga el historial de glucosa de los últimos 8 días y se procesa para obtener las siguientes métricas para los días que tengan al menos un 60% de muestras capturadas:

- 1) Desviación estándar
- 2) Media
- 3) Intervalo entre cuartiles 1 y 3
- 4) Tiempos en rango: > 250mg/dl, entre 180 y 250mg/dl, entre 110 y 180mg/dl, entre 70 y 110mg/dl, <70mg/dl y <54mg/dl.
- 5) Porcentaje de muestras totales recibidas respecto a las esperadas por el CGM
- 6) Máxima tasa de crecimiento y máxima tasa de decrecimiento
- 7) Excursión máxima.

En la Fig. 7 se puede observar un ejemplo de las métricas recientemente obtenidas para un paciente en UTI-COVID.

III. PRUEBAS REALIZADAS

Para el desarrollo progresivo del sistema con el objetivo final enfocado en realizar ensayos a lazo cerrado, se efectuaron múltiples pruebas de conectividad. En un comienzo estas se hicieron en personas sin diabetes para evaluar la estabilidad de la conexión con el CGM y la bomba. En paralelo se desarrollaba el sistema de MR. Una vez garantizada tanto la estabilidad de las conexiones como la respuesta del sistema de MR se procedió a la prueba en personas con diabetes o con hiperglucemia causada por una alteración producida a raíz del COVID-19. A continuación se describen estas experiencias.

A. Pruebas ambulatorias

En noviembre de 2019 se iniciaron las pruebas ambulatorias con un sujeto con terapia MDI y uso regular de FreeStyle Libre I, mediante un transmisor MiaoMiao I. La misma tuvo una duración de 313hs llevando vida normal, con un 98,77% de conexión con el CGM y un 91,90% de ejecuciones del sistema. En la Fig. 8 se muestran 12 días de evolución de la glucosa y las correspondientes dosis de insulina. Esta prueba prolongada permitió lograr una importante mejora tanto en la conexión del CGM como en la ejecución continua del sistema, pudiendo ajustar el tratamiento ante desconexiones con el uso de estimaciones anteriormente mencionado.

Métrica	13/9/2020	14/9/2020	15/9/2020	16/9/2020	17/9/2020	18/9/2020	19/9/2020	20/9/2020
Media (mg/dl)	186.4	129.8	173.7	119.7	153.1	128.9	179.9	169.8
STD (mg/dl)	85	31.6	63.1	27.3	25.8	28.2	61.3	74.2
IQR (mg/dl)	165	38	120	41	21.5	33	88	110
Max. tasa de crecimiento (mg/dl/min)	5	8.6	4	3.8	5.2	3.1	4.8	6.8
Min. tasa de decrecimiento (mg/dl/min)	-3.2	-2.8	-5.6	-3	-5.7	-5.2	-3.6	-6.5
Max. excursión (mg/dl)	263	146	200	118	143	139	235	281
TIR >250 mg/dL (%)	31.6	0	18.1	0	0	0	15.8	19.3
TIR 180-250 mg/dL (%)	10.3	9.2	25.2	3.5	11	6.5	31.5	19.6
TIR 110-180 mg/dL (%)	37.6	62.4	32.6	54.9	85.9	69.1	42.1	37.1
TIR 70-110 mg/dL (%)	20.6	28.4	24.1	41.5	3.2	24.5	10.6	12.9
TIR <70 mg/dL (%)	0	0	0	0	0	0	0	11.1
TIR <54 mg/dL (%)	0	0	0	0	0	0	0	5.7
Porcentaje de muestras esperadas (%)	97.9	97.9	97.9	98.6	98.3	96.5	94.8	97.2

Fig. 7. Métricas para cada día, ubicadas en la vista detallada del paciente.

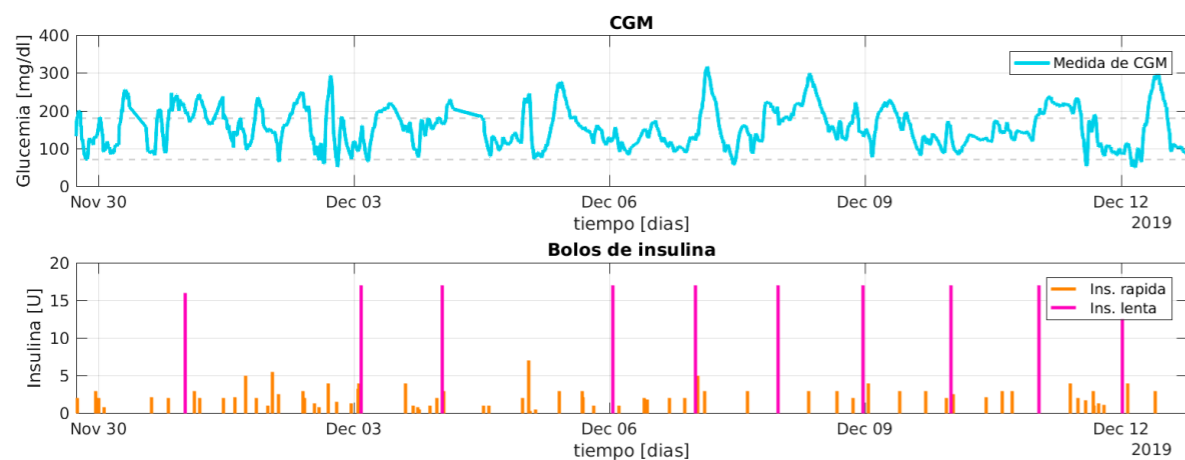


Fig. 8. Ensayo terapia MDI en un paciente ambulatorio. Arriba medidas de glucemia y abajo infusiones de insulina rápida (naranja) y lenta (fucsia)

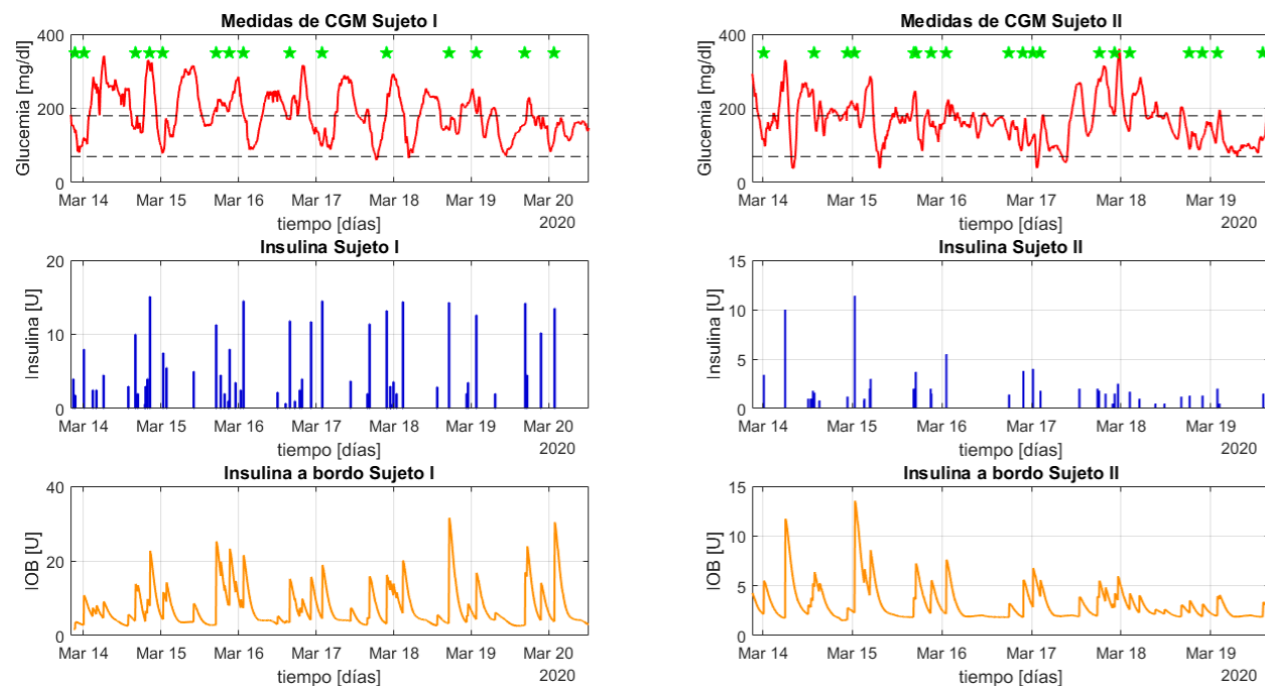


Fig. 9. Ensayos Lazo Abierto en sujetos I y II. Arriba medidas de CGM (línea roja) y anuncio de carbohidratos (estrellas verdes); medio bolos de insulina (barras azules) y abajo estimación de IOB (línea naranja).

Se evaluaron también el monitoreo remoto y la carga de bolos de insulina rápida y lenta e ingestas. Respecto a la devolución del usuario, se presentó la necesidad de tener alarmas ante hipo- e hiperglucemia configurables, centralizadas y sencillas de silenciar. Actualmente, en contexto de pandemia, el usuario sigue monitoreando su glucosa (Ambulatorio 1 en Fig. 6) con el transmisor

MiaoMiao versión 2. Entre el 13 y el 20 de marzo de 2020, se realizó una prueba a lazo abierto con dos personas con DMT1. La misma fue configurada por el equipo de diabetes del Hospital Italiano de Buenos Aires (HIBA) con dos celulares Motorola One XT1941-5, CGM DexCom G6 y bombas AccuChek Spirit Combo. La duración fue de 140 y 160hs, siendo la prue-

ba interrumpida por el inicio de la cuarentena. En ambos casos la conexión con el CGM fue del 100%, mientras que las ejecuciones del sistema fueron del 97,11% y 97,95%. La figura 9 muestra la evolución temporal de las variables, permitiendo observar para ambos individuos un mejor control glucémico en los últimos días debido a la adaptación al uso de la herramienta y la posibilidad de monitorear continuamente la glucemia. Esta prueba fue clave para valorar el impacto del módulo de MR independientemente de la terapia que cada usuario siga.

B. Pruebas en UTIs COVID-19

En el mes de julio se enviaron sensores y transmisores Dexcom G6 y celulares Motorola One XT1941-5 previamente configurados a los Hospitales Garrahan e Italiano de Buenos Aires. También se otorgó un usuario y contraseña para cada hospital, de modo de ingresar y tener precargados sus pacientes. La instalación remota fue probada y es posible siempre y cuando haya una señal de internet considerablemente buena.

Al tener problemas de conectividad estable en los Hospitales, las conexiones se efectuaron con asistencia técnica por video llamada. El 24 del mismo mes se puso en marcha el primer Monitoreo Remoto en el Hospital Garrahan a un sujeto de 10 años con diagnóstico COVID-19, completando un seguimiento de cinco días. En agosto se colocó el segundo, llegando a los nueve días de monitoreo. En el HIBA la primera colocación se efectuó el 27 de julio, completando alrededor de cinco días de monitoreo continuo. En agosto siguieron otros tres pacientes que completaron diez días, seis y cinco días de monitoreo continuo. Todos los pacientes monitoreados se encontraban en estado crítico y tenían otras patologías además de diabetes y COVID-19.

En todos los casos el MR permitió infundir insulina endovenosa y controlar metabólicamente a los pacientes, lo cual no hubiese sido posible de otra manera debido a la imposibilidad de hacer los controles capilares

requeridos cada hora en forma presencial. También se redujo considerablemente la exposición del personal de salud. Los resultados obtenidos fueron publicados en [21], donde se destaca que la plataforma constituye la primera herramienta para monitoreo continuo de múltiples pacientes empleada en áreas COVID, y la primera en utilizarse en pacientes pediátricos con coronavirus. En total se completaron más de 1000hs de monitoreo remoto, lo que ha permitido adquirir una vasta experiencia en la colocación de CGMs al equipo médico y en el armado de planes de contingencia ante eventualidades por parte del equipo técnico.

IV. TRABAJO ACTUAL Y FUTURO

Al establecerse en el mes de marzo de 2020 el Aislamiento Social Preventivo y Obligatorio (ASPO) para combatir la pandemia de coronavirus, se tuvo que suspender el primer ensayo clínico ambulatorio del algoritmo ARG corriendo en InsuMate, cuya realización había sido aprobada por el Comité de Ética del Hospital Italiano de Buenos Aires para el 20-25 de abril. Esto, junto con la experiencia obtenida en las pruebas de lazo abierto de marzo, provocaron un cambio de prioridades en la línea de investigación y el equipo de trabajo. Se obtuvo así un proyecto COVID-19 Federal del MinCyT centrado en el monitoreo remoto de la glucemia para pacientes hospitalizados y/o aislados. Su primera fase ya ha sido completada, encontrándose operativo y validado el módulo Insumate-MR. Como culminación de dicha fase, se comunicaron los resultados obtenidos a las autoridades del MinCyT y los ministerios de Salud nacional y provincial, solicitando junto con los jefes de las UTIs y de las secciones de Diabetes de los hospitales participantes la adquisición de nuevos sensores para poder continuar y extender el uso de la plataforma en nuestro sistema de salud.

En la segunda fase se espera incorporar al sistema nuevas herramientas de diagnóstico y de soporte de decisiones terapéuticas

tanto para el equipo médico en áreas críticas como para pacientes aislados. A su vez, a la fecha de redactar este trabajo se están terminando de ajustar los detalles para el ensayo clínico de lazo cerrado pospuesto en 2020, a realizarse entre marzo y abril de 2021 si la situación epidemiológica lo permite. Finalmente, se espera también poder llevar adelante un ensayo clínico pediátrico junto con la sección de Diabetes del Hospital Garrahan, cuyo protocolo se encuentra en evaluación en ANMAT.

V. CONCLUSIONES

El desarrollo de la plataforma Insumate y su módulo de Monitoreo Remoto ha resultado de gran utilidad en el contexto de emergencia generado por la pandemia de coronavirus, habiéndose validado su correcto funcionamiento tanto para uso ambulatorio como hospitalario. El módulo Insumate-MR permite la recepción y el acceso remoto de medidas de glucemia provenientes de distintos dispositivos y marcas de CGM (los cuales recién fueron aprobados para uso hospitalario en mayo de 2020), así como el análisis de la evolución del paciente mediante el cálculo periódico de métricas de uso clínico. Al ser una plataforma de código abierto, brinda la posibilidad de adaptar el sistema en forma gratuita a los requerimientos de cada centro médico. Las pruebas realizadas en pacientes con COVID-19 fueron satisfactorias, sumando las horas de monitoreo continuo necesarias como para concluir que la plataforma es lo suficientemente estable para ser empleada de forma asistencial para el MR de pacientes hospitalizados críticos. Cabe remarcar que el sistema sirve tanto para personas con diabetes como sin ella, ya que el COVID-19 puede alterar el control metabólico en personas sin patologías previas.

AGRADECIMIENTOS

La investigación en esta área es financiada por los proyectos MinCyT Federal COVID-19 BS AS 28, UNLP I253, CONICET PIP0837,

PICT 2017-3211 y una beca de la Facultad de Ingeniería de la UNLP. Queremos agradecer a Jorge Damiani por la donación de seis celulares, los cuales fueron utilizados tanto para la programación y depuración del código, como para las pruebas, ensayos clínicos y monitoreos realizados.

REFERENCIAS

- [1] F. GARELLI, H. DE BATTISTA, J. VEHÍ, AND F. LEÓN-VARGAS, "MÉTODO Y PROGRAMA DE ORDENADOR PARA LA DETERMINACIÓN Y DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE UNA DOSIS DE INSULINA A UN USUARIO," 2015.
- [2] N. ROSALES, H. DE BATTISTA, J. VEHÍ, AND F. GARELLI, "OPENLOOP GLUCOSE CONTROL: AUTOMATIC IOB-BASED SUPER-BOLUS FEATURE FOR COMMERCIAL INSULIN PUMPS," *COMPUTER METHODS AND PROGRAMS IN BIOMEDICINE*, VOL. 159, PP. 145–158, JUN 2018. [ONLINE]. AVAILABLE: [HTTPS://LINKINGHUB.ELSEVIER.COM/RETRIEVE/PII/S0169260716314146](https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169260716314146)
- [3] A. REVERT, F. GARELLI, J. PICO, H. DE BATTISTA, P. ROSSETTI, J. VEHÍ, AND J. BONDIA, "SAFETY AUXILIARY FEEDBACK ELEMENT FOR THE ARTIFICIAL PANCREAS IN TYPE 1 DIABETES," *IEEE TRANSACTIONS ON BIOMEDICAL ENGINEERING*, 2013.
- [4] F. LEÓN-VARGAS, F. GARELLI, H. DE BATTISTA, AND J. VEHÍ, "POSTPRANDIAL RESPONSE IMPROVEMENT VIA SAFETY LAYER IN CLOSEDLOOP BLOOD GLUCOSE CONTROLLERS," *BIOMED. SIGNAL PROCESS CONTROL*, VOL. 16, PP. 80–87, 2015. [ONLINE]. AVAILABLE: [HTTP://WWW.SCIENCEDIRECT.COM/SCIENCE/ARTICLE/PII/S1746809414001529](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809414001529)
- [5] E. FUSHIMI, N. ROSALES, H. DE BATTISTA, AND F. GARELLI, "ARTIFICIAL PANCREAS CLINICAL TRIALS: MOVING TOWARDS CLOSED-LOOP CONTROL USING INSULIN-ON-BOARD CONSTRAINTS," *BIOMEDICAL SIGNAL PROCESSING AND CONTROL*, 2018.
- [6] [HTTPS://CLINICALTRIALS.GOV/CT2/SHOW/NCT02100488](https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT02100488), ACCESO: 2020-07.
- [7] S. TREVITT, S. SIMPSON, AND A. WOOD, "ARTIFICIAL PANCREAS DEVICE SYSTEMS FOR THE CLOSED-LOOP CONTROL OF TYPE 1 DIABETES," *JOURNAL OF DIABETES SCIENCE AND TECHNOLOGY*, VOL. 10, NO. 3, PP. 714–723, 2016. [ONLINE]. AVAILABLE: [HTTP://DX.DOI.ORG/10.1177/1932296815617968](http://dx.doi.org/10.1177/1932296815617968)
- [8] P. COLMEGNA, F. GARELLI, H. DE BATTISTA, AND R. SÁNCHEZ-PEÑA, "AUTOMATIC REGULATORY CONTROL IN TYPE 1 DIABETES WITHOUT CARBOHYDRATE COUNTING," *CONTROL ENGINEERING PRACTICE*, VOL. 74, PP. 22–32, 2018.
- [9] R. SÁNCHEZ-PEÑA, D. GARCÍA-VIOLINI, M. MOSCO-SO-VÁSQUEZ, P. COLMEGNA, F. GARELLI, H. DE BATTISTA, E. FUSHIMI, M. BRETON, N. ROSALES, E. CAMPOS-NÁÑEZ, V. BERUTO, P. SCIBONA, C. RODRIGUEZ, J. GIUNTA, V. SIMONOVICH, W. H. BELLOSO, D. CHERÑAVVSKY, AND L. GROSEMBACHER, "ARTIFICIAL PANCREAS: CLINICAL STUDY IN LATIN AMERICA WITHOUT PREMEAL INSULIN BOLUSES," *JOURNAL OF DIABETES SCIENCE AND TECHNOLOGY*, VOL. 12, NO. 5, PP. 914–925, 2018.
- [10] [HTTPS://CLINICALTRIALS.GOV/CT2/SHOW/NCT02994277](https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT02994277), ACCESO: 2020-07.
- [11] P. KEITH-HYNES, B. MIZE, A. ROBERT, AND J. PLACE, "THE DIABETES ASSISTANT: A SMARTPHONE-BASED SYSTEM FOR REAL-TIME CONTROL OF BLOOD GLUCOSE," *ELECTRONICS*, VOL. 3, NO. 4, PP. 609–623, 2014.
- [12] D. LEWIS, "HISTORY AND PERSPECTIVE ON DIY CLOSED LOOPING," *JOURNAL OF DIABETES SCIENCE AND TECHNOLOGY*, VOL. 13, NO. 4, PP. 790–793, JUL 2019. [ONLINE]. AVAILABLE: [HTTP://JOURNALS.SAGEPUB.COM/DOI/10.1177/1932296818808307](http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1932296818808307)
- [13] [HTTPS://LA.MATHWORKS.COM](https://la.mathworks.com).
- [14] D. ARAMBARRI, L. MENDOZA, N. ROSALES, AND F. GARELLI, "GLUCONTROL: IMPLEMENTATION AND TESTING OF OPEN SOURCE PLATFORM FOR APS CLINICAL TRIALS," IN 13TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED TECHNOLOGIES & TREATMENTS FOR DIABETES. MADRID, ESPAÑA, 2020.
- [15] F. GARELLI, "INSUMATE. TIPO D-DENOMINATIVA. PROTECCIÓN CLASE 9. NRO. REFERENCIA: 827774. TITULARIDAD: UNLP. SOLICITANTE: FABRICIO GARELLI. INSTITUTO NACIONAL DE LA PROPIEDAD INTELECTUAL," 13/12/2019.
- [16] [HTTP://WWW.NIGHTSCOUT.INFO/](http://www.nightscout.info/).
- [17] M. NG, E. BORST, A. GARRITY, E. HIRSCHFELD, AND J. LEE, "EVOLUTION OF DOITYOURSELF REMOTE MONITORING TECHNOLOGY FOR TYPE 1 DIABETES," *JOURNAL OF DIABETES SCIENCE AND TECHNOLOGY*, VOL. 14, NO. 5, PP. 854–859, JAN 2020.
- [18] [HTTPS://ANDROIDAPS.READTHEDOCS.IO/EN/LATEST/EN/](https://androidaps.readthedocs.io/en/latest/en/).
- [19] J. KESAVADEV, S. SRINIVASAN, B. SABOO, M. K. B, AND G. KRISHNAN, "THE DO-IT-YOURSELF ARTIFICIAL PANCREAS: A COMPREHENSIVE REVIEW," *DIABETES THERAPY*, VOL. 11, NO. 6, PP. 1217–1235, APR 2020.
- [20] E. FUSHIMI, P. COLMEGNA, H. D. BATTISTA, F. GARELLI, AND R. SÁNCHEZ-PEÑA, "ARTIFICIAL PANCREAS: EVALUATING THE ARG ALGORITHM WITHOUT MEALANNOUNCEMENT," *JOURNAL OF DIABETES SCIENCE AND TECHNOLOGY*, VOL. 13, NO. 6, PP. 1035–1043, JUL 2019.
- [21] F. GARELLI, N. ROSALES, E. FUSHIMI, D. ARAMBARRI, L. MENDOZA, H. DE BATTISTA, R. SÁNCHEZ-PEÑA, J. GARCÍA ARABEHETY, S. DISTEFANO, C. BARCALA, J. GIUNTA, M. LAS HERAS, C. MARTINEZ MATEU, M. PRIETO, E. SAN ROMÁN, G. KROCHIK, AND L. GROSEMBACHER, "REMOTE GLUCOSE MONITORING PLATFORM FOR MULTIPLE SIMULTANEOUS PATIENTS AT CORONAVIRUS DISEASE 2019 INTENSIVE CARE UNITS: CASE REPORT INCLUDING ADULTS AND CHILDREN," *DIABETES TECHNOLOGY & THERAPEUTICS*, 2021. [ONLINE]. AVAILABLE: [HTTPS://DOI.ORG/10.1089/DIA.2020.0556](https://doi.org/10.1089/dia.2020.0556)

LA ACADEMIA FIRMÓ ACUERDOS DE COOPERACIÓN CON TRES UNIVERSIDADES NACIONALES



RELACIONES INSTITUCIONALES DE LA ACADEMIA

En el transcurso del 2020, la Academia de la Ingeniería de la Provincia de Buenos Aires, firmó una serie de convenios con universidades nacionales para trabajar de manera conjunta. Los acuerdos se sellaron con tres prestigiosas casas de estudios: la Universidad Nacional de La Plata (UNLP), la Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires (UNNOBA) y la Universidad Nacional del Sur (UNS).

La rúbrica de estos tratados por parte de la Academia con cada una de las universidades, establece acciones de cooperación. Entre otros lineamientos, se propone impulsar actividades conjuntas y programas de trabajo para la generación, difusión y aplicación de conocimiento científico y tecnológico a los sectores productivos y sociales tanto del ámbito privado como público.

En este marco, el Presidente de la UNLP, Dr. Fernando Tauber, sostuvo que “nuestra Universidad se caracteriza por trabajar de manera articulada con otras instituciones.

En este caso, el acuerdo de cooperación firmado con la Academia de la Ingeniería de la PBA, no hace más que formalizar un vínculo que nos une desde hace mucho tiempo”.

“Estoy convencido que juntos podemos hacer valiosos aportes en materia de investigación científica y tecnológica, que podrían materializarse en mejoras concretas en el territorio bonaerense”, agregó Tauber.

Además remarcó que “históricamente la UNLP mantiene un fuerte compromiso en implementar acciones en pos del desarrollo de la Argentina, y sin lugar a dudas, este tipo de acuerdos, en este caso con un organismo especializado en ingeniería, es un impulso para continuar por el mismo camino”.

Por su parte el Rector de la UNNOBA, Dr. Guillermo R. Tamarit, afirmó que “nos permiten impulsar actividades conjuntas, principalmente en el área de las ingenierías, carreras

prioritarias para nuestra Universidad y el desarrollo del país. Producto de la pandemia, en el mundo hay una reconfiguración de la educación, del mundo del trabajo y de los modelos productivos”.

También detalló que “la innovación y la generación de ideas, serán la revolución que nos demandará el futuro, y aquí que la formación y desarrollo de profesionales de las diferentes carreras de Ingeniería ocupa un rol trascendental”.

Por último dijo que “la firma de este acuerdo, donde se congregan las personalidades destacadas en la temática, es una gran oportunidad para impulsar la investigación y promover las vocaciones en estudiantes, graduados y docentes de la UNNOBA, para generar respuestas a los desafíos actuales de la provincia y el país”.

En este sentido el Rector de la UNS, Dr. Daniel Vega, señaló que “la Universidad Nacional del Sur ha nacido fuertemente vinculada a la Ingeniería, siendo una de sus grandes fortalezas”.

“Para nosotros es extremadamente importante avanzar en acuerdos con distintos organismos públicos y en este caso particular debemos decir que es un enorme honor colaborar y trabajar junto a la Academia de la Ingeniería de la Provincia de Buenos Aires”, agregó Vega.

ENTREGA DEL PREMIO

“MATERIALIZACIÓN DE OBRAS DE INGENIERÍA 2020 ING. JORGE MARCELO LOCKHART”

ENTREVISTA AL ING. GUSTAVO JORGE BASSO

La Academia de la Ingeniería de la Provincia de Buenos Aires, ha instituido en el año 2020 el premio “Materialización de Obras de Ingeniería”, el cual tiene como objetivo reconocer y valorar las tareas de los ingenieros al frente de obras a las que deben llevar adelante en su materialización en el marco del mejor resultado posible técnico y económico. Busca reconocer la participación de los ingenieros dedicados a la materialización de obras de cualquiera de las ramas de la ingeniería de significativa importancia que hayan sido realizadas en nuestro país.

En esta primera edición, la Academia ha querido rendirle homenaje al Ing. Jorge Marcelo Lockhart, poniendo su nombre a la edición 2020 de este Premio. El Ing. Lockhart fue un referente indiscutido en la especialidad de pavimentos y a propuesta de la Facultad de Ingeniería fue nombrado Profesor Emérito de la Universidad Nacional de La Plata.

El día 2 de diciembre de 2020, la Academia de la Ingeniería de la Provincia de Buenos Aires, otorgó el premio “Materialización de Obras de Ingeniería- Ing. Jorge Marcelo Lockhart” al Ing. Gustavo Jorge Basso. Pueden mirar su registro en:

<https://www.youtube.com/watch?v=xlrnSsioPTg>



El Ing. 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 como así también puestas en valor de otras como ser el propio Teatro Colón de Buenos Aires. 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.



Podemos decir que en los últimos 25 años la creación y restauración de teatros y auditorios en Argentina han recibido mucha atención. Cabe recordar que la puesta en valor del Teatro Colón despertó el interés de toda la comunidad melómana y acústica internacional, pues se tenían muchas dudas de que se pudiera preservar la excelente acústica que el teatro poseía originalmente ¿Cuáles fueron los principales desafíos de la puesta en valor del Teatro Colón? ¿En qué otras restauraciones han participado y cuáles fueron sus desafíos?

Cada proyecto, cada obra, es diferente. Lo mismo se aplica a las restauraciones y puestas en valor acústico de teatros y auditorios. En general, cuando se decide in-

tervenir una sala de valor patrimonial, lo primero que se hace es un diagnóstico de funcionamiento acústico al momento de la intervención. Si resulta posible, el diagnóstico tiene una parte física, a partir de mediciones de campo y del desarrollo de modelos digitales, y otra perceptual, obtenida de consultas a artistas y habituéss sobre los problemas acústicos que habían encontrado y cuyas respuestas son analizadas con métodos estadísticos. Lo ideal es que en la restauración se mejore la acústica de las salas, corrigiendo los defectos que se hubiesen detectado. Las medidas correctivas, por supuesto, se deciden de común acuerdo con los arquitectos a cargo y los especialistas en patrimonio. Veamos un par de ejemplos.

El teatro Coliseo Podestá de La Plata fue

modificado varias veces desde su inauguración. La más notable fue, quizá, la transformación en 1887 en teatro-circo: Pepe Podestá le agregó una pista ecuestre circular y acomodó la planta de la sala a esa geometría. Aunque después volvió a transformarse en un teatro a la italiana, conservó muchas de las características circenses hasta su última gran restauración a mediados de la década de 1980. Luego de un análisis similar al comentado más arriba, se decidieron varios cambios de gran importancia acústica, como el cierre del vínculo entre los deambulatorios y la platea, el reemplazo de ciertos materiales interiores y el redireccionamiento de algunas superficies reflectantes. Los arquitectos y patrimonialistas aceptaron estas modificaciones a condición de que fueran

claramente visibles: lo original se pintó de marrón claro/beige y lo nuevo de marrón oscuro.

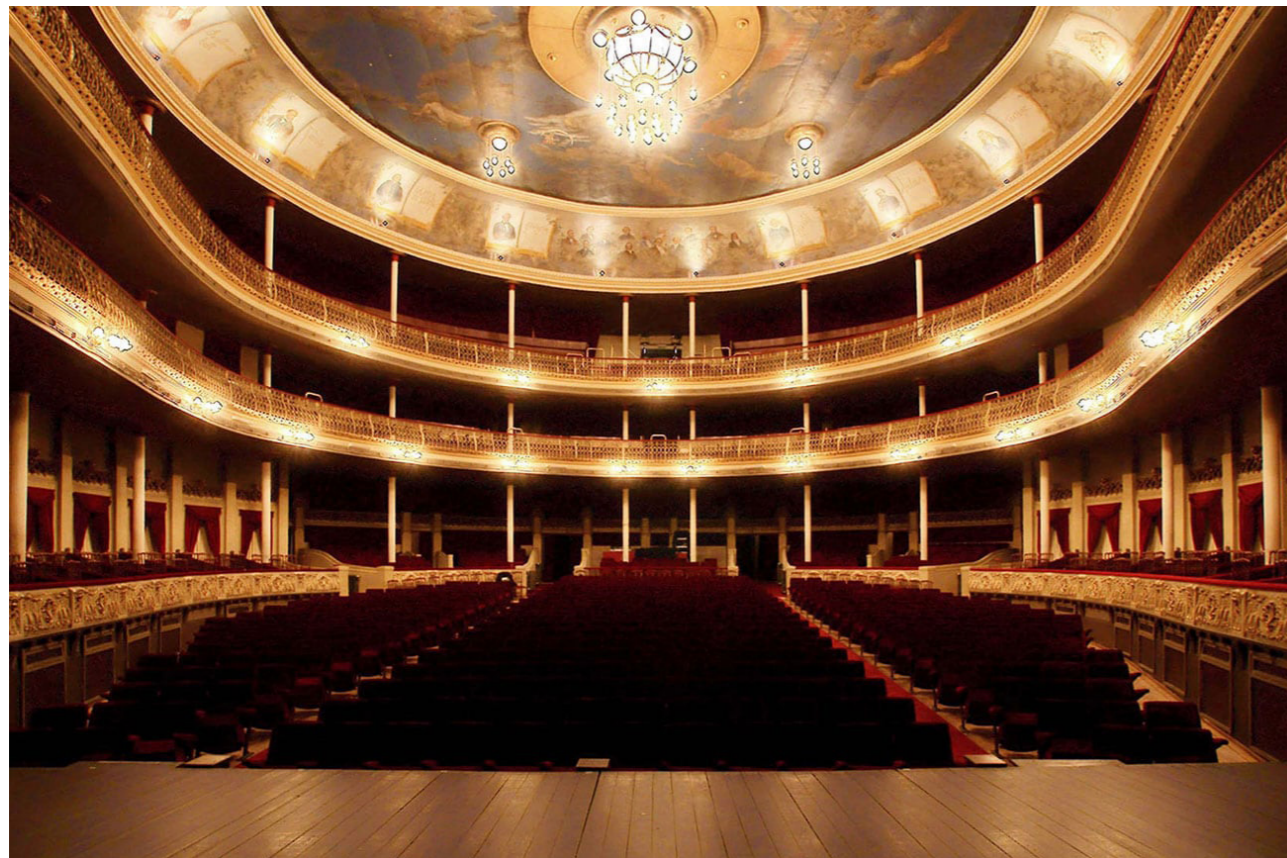
Otro caso interesante fue el de la sala Casacubierta del Teatro General San Martín de Buenos Aires. Esa sala, por su planta casi circular, presentaba fuertes focalizaciones de sonido que aparecieron tanto en los análisis físicos como en las encuestas de opinión. Casi todos los actores y músicos consultados destacaron la despereja distribución espacial del sonido: un actor que se oía perfectamente en una butaca en la mitad de la platea resultaba casi inaudible si el espectador se corría cinco butacas a la izquierda. Se decidió colocar unos deflectores para corregir las focalizaciones, pero en este caso la protección patrimonial era muy estricta por tratarse de una obra con

la firma del Arq. Mario Roberto Álvarez. Costó bastante encontrar un diseño que pasara el filtro de los patrimonialistas del equipo.

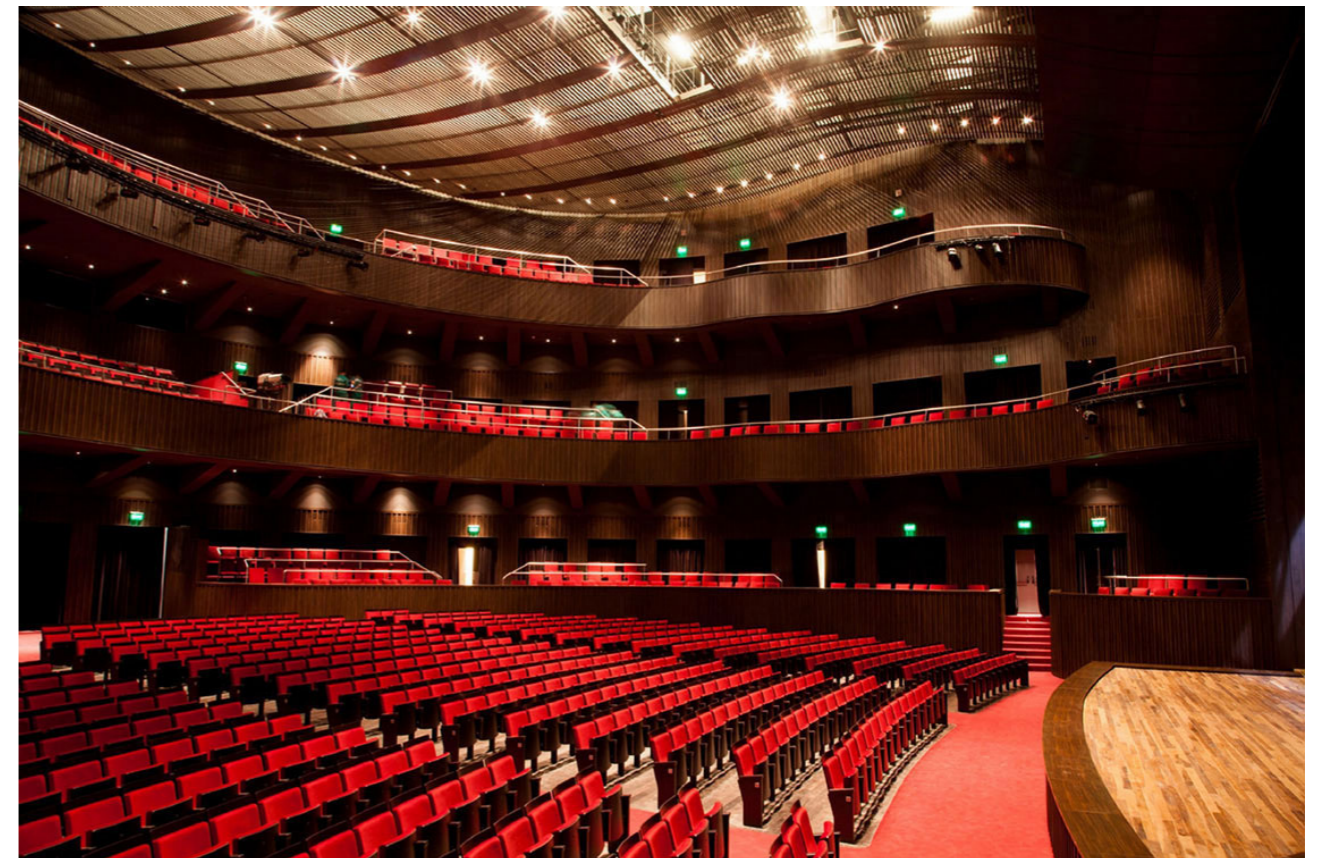
El caso del Teatro Colón fue especial pues había que preservar un comportamiento acústico de excepción, era impensable proponer alguna corrección o mejora en su acústica. El tema aquí era no arruinar lo que había. Como no encontramos una metodología adecuada, desarrollamos una ad-hoc que nos permitió controlar cada etapa en el proceso a fin de detectar cualquier cambio, por mínimo que fuese, que nos apartase del programa establecido. Es curioso ver que esta metodología se está aplicando a la restauración de otras salas, cuando en realidad fue concebida solo para el Teatro Colón.

Considerando los nuevos auditorios... ¿cuáles han sido los mayores desafíos de cada uno de ellos (CCK, Usina del Arte, Teatro de San Juan)?

Como comentamos en la respuesta anterior, cada obra es diferente. Para mencionar tres de ellas, la Ballena Azul del CCK fue una sala concebida desde cero, sin grandes restricciones externas, lo que nos permitió diseñar su campo acústico con gran libertad. La Sala Sinfónica de la Usina del Arte, por el contrario, tuvo que acomodarse en la gran nave de calderas de la vieja usina eléctrica de la Boca, con sus estrictos condicionantes geométricos, en especial el ancho máximo disponible para la platea. En el Centro del Bicentenario de San Juan, por último, el desafío fue el de



Teatro Coliseo Podestá - La Plata



Teatro del Bicentenario de San Juan

conseguir un campo acústico contemporáneo en una sala con reminiscencias de teatro italiano en herradura, una tipología arquitectónica relativamente tradicional. Siguiendo un consejo de Leo Beranek, uno de los grandes acústicos del siglo XX, cada vez que enfrentamos el diseño de una nueva sala tratamos de pensarla desde cero, como si no supiésemos nada de acústica. De esta manera evitamos usar preconceptos y repetir fórmulas conocidas. Cada diseño aporta información, permite incorporar nuevos elementos, revisar las teorías de base y, si tenemos suerte, construir un espacio de calidad para hacer música.

La construcción y restauración de las salas de música lleva consigo la participación de equipos de trabajo multidisciplinarios. ¿Cuáles han sido las experiencias de esa interacción? ¿Tiene alguna anécdota para compartir de su participación en grupos interdisciplinarios?

Nosotros hemos tenido mucha suerte porque, salvo en algunas pocas excepciones, hemos trabajado en excelentes equipos donde lo que importaba era la obra y no el ego de tal o cual integrante. Los arquitectos saben que un teatro o un auditorio que no suena no sirve, y nosotros sabe-

mos que la buena arquitectura predispone al público para disfrutar de un buen concierto. Por este motivo nos conviene trabajar de forma sinérgica.

Un ejemplo de un buen trabajo en equipo se puede ver al comparar dos etapas durante el proceso de diseño iterativo de la Ballena Azul. Los cambios en la forma, el volumen, las relaciones entre el adentro y el afuera, son sustanciales. Aunque fueron generados por necesidades acústicas, producen un gran impacto arquitectónico. Hubiera sido imposible desarrollar ese programa de diseño de no haber existido un excelente diálogo entre acústicos y arquitectos.

Anécdotas hay mil... va una: luego de más de un año de trabajo en el diseño de la sala sinfónica de la Usina del Arte la cuestión se había empantanado. Había problemas con los accesos, con las visuales, con la acústica. El Arq. Álvaro Arrese, a cargo del proyecto, llamo a una reunión general y, después de oír a cada especialista, pidió una gran regla de madera que andaba por ahí. Con la regla arrastró y tiró al piso la pila de planos que estaba sobre la mesa, desplegó una gran hoja en blanco, y dijo: - ¡empecemos de nuevo! En dos meses tuvimos el diseño final con todos los problemas resueltos. Esa plasticidad de Arrese para recomenzar todas las veces que resulten necesarias hasta lograr un buen diseño, sin casarse con ninguna idea de manera definitiva, siempre me pareció una de las principales características de un buen diseñador.

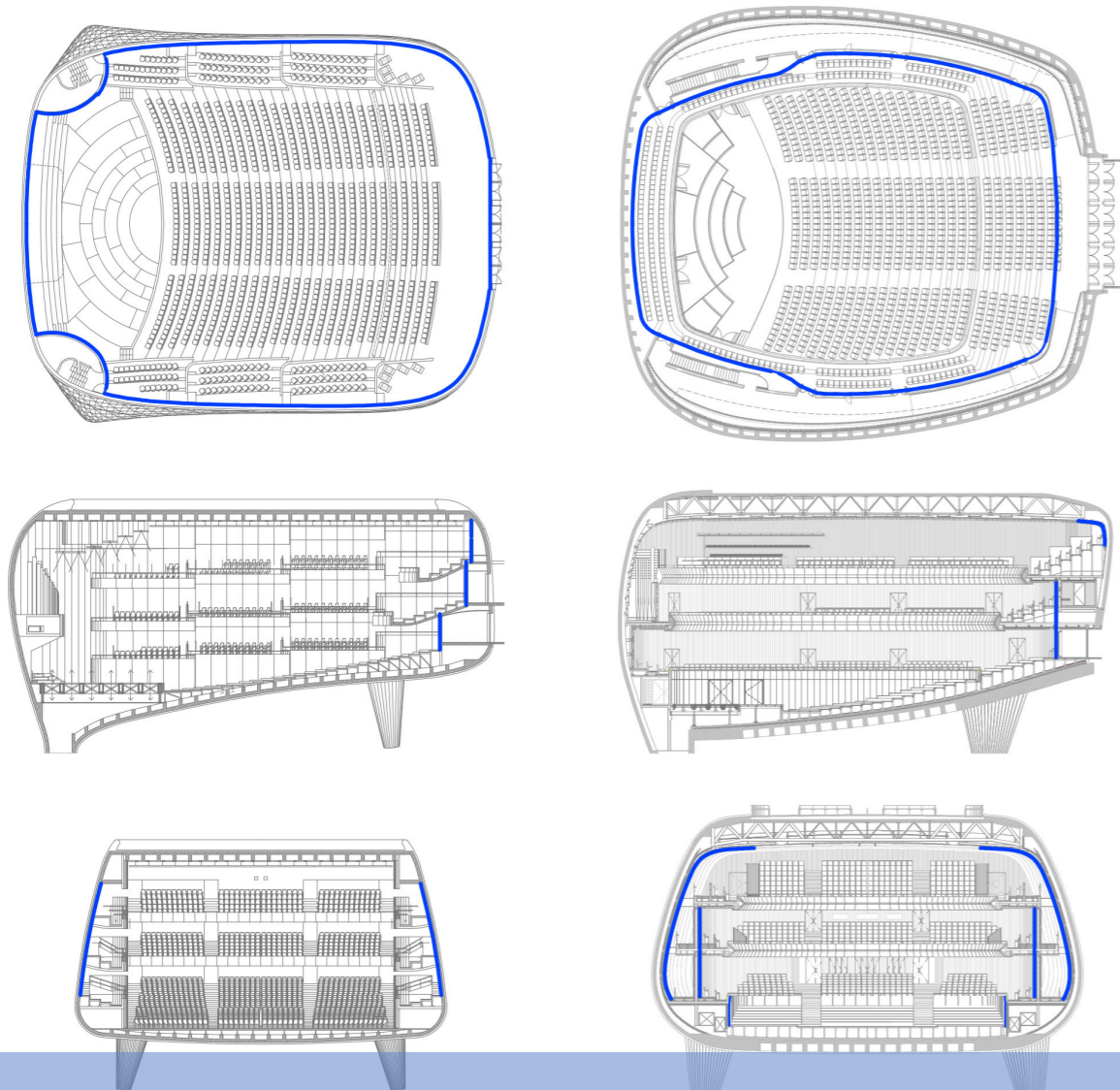
Sin dudas usted es un orgullo para la Universidad Nacional de La Plata, nos puede contar ¿Qué aspectos de su formación como Ingeniero le fueron más significativos para el desarrollo de su brillante carrera profesional?

Mi paso por la Facultad de Ingeniería fue traumático por el contexto histórico: entré con el golpe de estado de 1976 y me

recibí a principios de 1984, el primer año de Alfonsín. Era imposible hacer cualquier cosa, como estudiar una carrera, sin sentirse abrumado por la tragedia nacional en marcha.

El nivel de la facultad era muy bueno, con un programa muy completo y con excelentes profesores. Pero eran épocas de cambios tecnológicos profundos, en la que los saberes establecidos estaban siendo reemplazados por otros nuevos, los textos en circulación parecían atrasar una generación, y resultaba difícil decidir sobre qué tema o conjunto de conocimientos valía la pena enfocarse. En la facultad tuvimos la suerte de que muchos profesores eran también destacados investigadores que nos acercaban los últimos desarrollos en sus campos con gran generosidad. De ellos aprendí a no tratar al conocimiento como algo congelado y a disfrutar del vértigo generado por las nuevas ideas. El continuo intercambio con esos docentes y con muchos de mis compañeros me formó, para lo que vendría después, tanto o más que las numerosas herramientas de análisis y diseño adquiridas durante mi paso por la facultad.

En esos años estaba muy entusiasmado con la música y cursar la materia electroacústica, que dictaba el Ing. Antonio Méndez, me permitió descubrir un vínculo entre los mundos del arte y de la ciencia, que ya no me abandonaría. Al recibirme empecé a tomar cursos sobre acústica y a estudiar las nuevas teorías y métodos, que a partir de la década de 1990 tuvieron un desarrollo extraordinario. Pero ésa es otra historia.



Modificaciones en la arquitectura de la Ballena Azul del CCK durante el proceso de diseño



El presente material comenzó a ser estudiado sistemáticamente en el año 2006 por el Microbiólogo Jenk Jonkers, Profesor de la Universidad Tecnológica de Delft (Holanda), en el marco de un conjunto de líneas de investigación que buscan caminos aptos para que el hormigón, ya colado en una estructura, se autorrepare. Es decir, que sea capaz de ir rellenando las fisuras que en él se producen a medida que se van presentando

1. Idea básica

La base del material es un hormigón normal al que se agrega un tipo de bacterias cuyas esporas, al ponerse en contacto con humedad, se activan y absorben y metabolizan el alimento que se ha introducido a ese fin en el hormigón, inician un proceso químico cuya culminación es la producción de un material que está en condiciones de sellar las fisuras por las que ha entrado la humedad que las activó.

2. Tipo de bacteria

En el presente caso se eligieron bacterias del género bacillus, que prosperan en condiciones alcalinas, como es el medio que impera en el hormigón endurecido y producen esporas: células esféricas de paredes delgadas que no deforman la estructura de la bacteria. Estas esporas, en vida latente siempre que estén secas, pueden permanecer estables frente a tensiones mecánicas o químicas por períodos de más de cincuenta (50) años. El tamaño de las esporas es del orden del micrómetro (μm).

3. Proceso biológico

Alimentando las esporas, en el momento en que se activan cuando se produce la fisura e ingresa en ella humedad, con lactato de calcio se logra que, al metabolizarlo, ellas combinen el calcio con iones de carbonato, que se encuentran en el ambiente, para formar carbonato de calcio (calcita), piedra caliza que se deposita en las paredes internas de las fisuras, o grietas, sellándolas.

4. Procedimiento tecnológico

Se coloca el lactato de calcio junto con las esporas en soportes que, llegado el caso, permiten el acceso del agua. A partir de ello las esporas germinan y se reproducen. Este soporte puede ser un material poroso, como son las arcillas expandidas, cápsulas de plásticos solubles biodegradables, etc.

En el presente trabajo son utilizadas arcillas expandida del tipo de las que se emplean como agregado grueso en los hormigones livianos, que tienen formas esféricas. El valor del diámetro de la acá utilizadas está comprendido entre 2 y 4 (mm). Con ellas se sustituyen el 50% del agregado de tales dimensiones.

Antes de ser utilizadas, las esferitas de arcilla se secan hasta peso constante (una semana a 40°C). La cantidad de arcilla expandida que se coloca por decímetro cúbico de hormigón, es la necesaria para incorporar a la masa 5×10^7 esporas y 15 (g) de lactato de calcio. La arcilla expandida se agrega al hormigón en el momento en que este se termina de elaborar. Esta sustitución de parte del agregado grueso pétreo por arcilla expandida, disminuye la resistencia a compresión del hormigón en el orden del 50% de la obtenida ensayando probetas cilíndricas a 28 días de edad del hormigón de base (sin sustitución de parte del agregado pétreo).

Cuando las fisuras comienzan a formarse en el hormigón, penetra en ellas agua que, al introducirse en los poros de la arcilla expandida germina las esporas. Las esporas, al germinar, se multiplican y se alimentan del lactato de calcio expresamente colocado. Al metabolizar el lactato de calcio, se inician un proceso durante el cual, finalmente, se combina el calcio con iones de carbonato y forman calcita, que es el material con el que se sellan las fisuras.

5. Características prácticas del material

Puede auto-sellar grietas de hasta 8 (mm), mucho mayores que las admisibles en

cualquier estructura de hormigón. Su costo es mayor que el de los hormigones comunes, esta diferencia se puede estimar en un orden del 40%, pero hay casos en los que, sin embargo, resulta una buena solución, incluso económica, como son los de reservorios y conductos de agua.

El ancho de fisura a partir del cual se desencadena el proceso de autorreparación es del orden de 0,15 (mm)

Dicho proceso se inicia en cuanto penetra agua o humedad del exterior en las fisuras. El tiempo necesario para sellar una fisura fue del orden de dos (2) meses en la presente serie de ensayos.

6. Proceso químico que culmina en el sellado de las fisuras

Si se ensayan dos hormigones similares, ambos con sustitución de parte del agregado grueso por arcilla expandida, pero uno con esporas y su alimento y el otro sin ello, en ambos se inicia un proceso de sellado de fisuras pero este solo eficiente en el que contiene esporas. Lo que ocurre se puede ser explicado de la forma que se detalla a continuación.

6.1) Hormigón de comparación (sin esporas):

Las partículas de cemento no hidratadas que siempre existen en las paredes de las fisuras recién formadas, se hidratan.

Además, las partículas de hidróxido de calcio contenidas en las paredes interiores de las fisuras, debido a su relativamente alta solubilidad, captan prácticamente todo el dióxido de carbono disponible en el agua que ingresó a las fisuras, formando carbonato de calcio

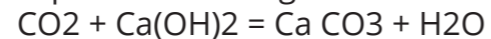
El carbonato de calcio precipita en las paredes internas de las fisuras, que es donde se encuentra el dióxido de calcio.

El proceso sigue de la siguiente forma: el hidróxido de calcio remanente en el hormigón se disuelve y difunde en la masa de agua interna a la fisura, reaccionando con el dióxido de carbono presente en las inmediaciones de las paredes internas de

ella. Este proceso químico conduce a la producción, y precipitación, de grandes cantidades del mucho menos soluble carbonato de calcio

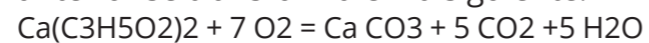
La cantidad de carbonato de calcio producida en el hormigón sin esporas no es mucha debido a la poca cantidad de dióxido de carbono presente en la limitada cantidad de agua que se ubica en el interior de la fisura. En resumen, falta dióxido de carbono para que la reacción continúe y se capte todo el hidróxido de calcio disponible en las caras de las fisuras

El proceso es el siguiente:



6.2) Hormigón autorreparable

En el hormigón autorreparable la reacción anterior se transforma en la siguiente:



Este proceso conduce a la precipitación de cantidades sustancialmente mayores de carbonato de calcio que en el caso anterior, debido a que este es producido no solo por la conversión del lactato en carbonato sino también, indirectamente, por la reacción química del (CO₂) producido metabólicamente por las esporas

En este caso, el dióxido de carbono producido por las esporas en las superficies interiores de las fisuras no se disuelve ni difunde sino que reacciona directamente con las partículas de hidróxido de calcio, allí presentes, para producir el carbonato de calcio adicional

En este segundo proceso, originado por la presencia de esporas y su alimento, se produce, en total, seis (6) moléculas de carbonato de calcio equivalente

Este sustancial incremento en la producción de carbonato de calcio es el que origina el sellado completo de fisuras y grietas indicado precedentemente.

Comentario: todas las estructuras de hormigón armado se fisuran en sus zonas traccionadas, o al menos esto es lo que debe suponer el Proyectista. Estas fisuras inevitables

que se producen en el hormigón, son aceptables si su apertura, en la superficie externa del cuerpo de hormigón, no supera valores del orden de 0,1; 0,2 ó 0,3 (mm) según la obra o la parte de ella de que se trate. Para saber si existen fisuras estructuralmente excesivas en una estructura de hormigón, hay que desarrollar un bien planificado Plan de Inspecciones Periódicas. Cuando se emplea hormigón autorreparable, si bien las visitas periódicas de Inspección no se van a eliminar, si se eliminará de ellas el tedioso trabajo de buscarlas. Y busca y encontrar fisuras excesivas, sobre todo en las zonas de difícil acceso, como por ejemplo la parte inferior de los tableros de puentes grandes y medianos es una tarea difícil y compleja. Este es un rubro importante cuando se habla del costo de una obra de hormigón, en el cual el costo particular del material empleado no es, ni mucho menos, la única variable a considerar y, muchas veces, ni siquiera la más significativa.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] NEVILLE, A.M. (1996) PROPERTIES OF CONCRETE (4TH EDITION). PEARSON HIGHER EDUCATION, PRENTICE HALL, NEW JERSEY.
- [2] NEVILLE, A.M. (2002) AUTOGENOUS HEALING - A CONCRETE MIRACLE? CONCRETE INT 24(11):76-82
- [3] EDVARDSEN, C. (1999) WATER PERMEABILITY AND AUTOGENOUS HEALING OF CRACKS IN CONCRETE. ACI MATERIALS JOURNAL 96(4): 448-454.
- [4] REINHARDT, H.W., AND JOOSS, M. (2003) PERMEABILITY AND SELF-HEALING OF CRACKED CONCRETE AS A FUNCTION OF TEMPERATURE AND CRACK WIDTH. CEMENT AND CONCRETE RES 33:981- 985.
- [5] LI, V.C., AND YANG, E. (2007) SELF HEALING IN CONCRETE MATERIALS. IN SELF HEALING MATERIALS - AN ALTERNATIVE APPROACH TO 20 CENTURIES OF MATERIALS SCIENCE (ED. S. VAN DER ZWAAG), PP. 161- 194. SPRINGER, THE NETHERLANDS.
- [6] WORRELL, E., PRICE, L., MARTIN, N., HENDRIKS, C., AND OZAWA MEIDA, L. (2001) CARBON DIOXIDE EMISSIONS FROM THE GLOBAL CEMENT INDUSTRY. ANNUAL REVIEW OF ENERGY AND THE ENVIRONMENT 26: 303-329.
- [7] BANG, S.S., GALINAT, J.K., AND RAMAKRISHNAN, V. (2001) CALCITE PRECIPITATION INDUCED BY POLYURETHANE-IMMOBILIZED BACILLUS PASTEURII. ENZYME MICROB TECH 28: 404-409.
- [8] RAMACHANDRAN, S.K., RAMAKRISHNAN, V., AND BANG, S.S. (2001) REMEDIATION OF CONCRETE USING MICRO-ORGANISMS. ACI MATERIALS JOURNAL 98(1):3-9.
- [9] GHOSH, P., MANDAL, S., CHATTOPADHYAY, B.D., AND PAL, S. (2005) USE OF MICROORGANISMS TO IMPROVE THE STRENGTH

- OF CEMENT MORTAR. CEMENT CONCRETE RES 35:1980-1983.
- [10] DE MUYNCK, W., DEBROUWER, D., DE BELIE, N., AND VERSTRAETE, W. (2008) BACTERIAL CARBONATE PRECIPITATION IMPROVES THE DURABILITY OF CEMENTITIOUS MATERIALS. CEMENT CONCRETE RES 38: 1005-1014.
- [11] DE MUYNCK, W., COX, K., DE BELIE, N., AND VERSTRAETE, W. (2008) BACTERIAL CARBONATE PRECIPITATION AS AN ALTERNATIVE SURFACE TREATMENT FOR CONCRETE. CONSTR BUILD MATER 22: 875-885.
- [12] DE MUYNCK, W., DE BELIE, N., AND VERSTRAETE, W. (2010) MICROBIAL CARBONATE PRECIPITATION IN CONSTRUCTION MATERIAL: A REVIEW. ECOL ENG 36:118-136
- [13] VAN TITTELBOOM, K., DE BELIE, N., DE MUYNCK, W., AND VERSTRAETE, W (2010) USE OF BACTERIA TO REPAIR CRACKS IN CONCRETE. CEMENT CONCRETE RES 40: 157-166.
- [14] JONKERS, H.M. (2007) SELF HEALING CONCRETE: A BIOLOGICAL APPROACH. IN SELF HEALING MATERIALS - AN ALTERNATIVE APPROACH TO 20 CENTURIES OF MATERIALS SCIENCE (ED. S. VAN DER ZWAAG), PP. 195-204. SPRINGER, THE NETHERLANDS. 12
- [15] JONKERS, H.M., AND SCHLANGEN, E. (2008) DEVELOPMENT OF A BACTERIA-BASED SELF HEALING CONCRETE. IN TAILOR MADE CONCRETE STRUCTURES - NEW SOLUTIONS FOR OUR SOCIETY. PROC. INT. FIB SYMPOSIUM (ED. J. C. WALRAVEN & D. STOELHORST), PP. 425-430. AMSTERDAM, THE NETHERLANDS.
- [16] JONKERS, H.M., THIJSSSEN, A., MUYZER, G., COPUROGLU, O., AND SCHLANGEN, E. (2010) APPLICATION OF BACTERIA AS SELF-HEALING AGENT FOR THE DEVELOPMENT OF SUSTAINABLE CONCRETE. ECOLOGICAL ENGINEERING 36(2): 230-235.
- [17] S. VAN DER ZWAAG (EDITOR): "SELF-HEALING MATERIALS - AN ALTERNATIVE APPROACH AFTER 20 CENTURIES OF SCIENCE OF MATERIALS", ELSEVIER, HOLANDA, 2007, PÁGINAS 195 A 204.
- [18] H.M.JONKERS Y OTROS: "ECOLOGICAL ENGINEERING", VOL. 36, N°2, PÁGINAS 230 A 235.

BACTERIA-BASED SELF-HEALING CONCRETE

H. M. JONKERS¹

¹ DELFT UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, FACULTY OF CIVIL ENGINEERING AND GEOSCIENCES, DEPARTMENT OF MATERIALS AND ENVIRONMENT – MICROLAB, DELFT, THE NETHERLANDS

A typical durability-related phenomenon in many concrete constructions is crack formation.

While larger cracks hamper structural integrity, also smaller sub-millimeter sized cracks may result in durability problems as particularly connected cracks increase matrix permeability.

Ingress water and chemicals can cause premature matrix degradation and corrosion of embedded steel reinforcement. As regular manual maintenance and repair of concrete constructions is costly and in some cases not at all possible, inclusion of an autonomous self-healing repair mechanism would be highly beneficial as it could both reduce maintenance and increase material durability. Therefore, within the Delft Centre for Materials at the Delft University of Technology, the functionality of various self healing additives is investigated in order to develop a new generation of self-healing concretes. In the present study the crack healing capacity of a specific bio-chemical additive, consisting of a mixture of viable but dormant bacteria and organic compounds packed in porous expanded clay particles, was investigated. Microscopic techniques in combination with permeability tests revealed that complete healing of cracks occurred in bac-

terial concrete and only partly in control concrete. The mechanism of crack healing in bacterial concrete presumably occurs through metabolic conversion of calcium lactate to calcium carbonate what results in crack-sealing. This bio-chemically mediated process resulted in efficient sealing of sub-millimeter sized (0.15 mm width) cracks. It is expected that further development of this new type of self-healing concrete will result in a more durable and moreover sustainable concrete which will be particularly suited for applications in wet environments where reinforcement corrosion tends to impede durability of traditional concrete constructions.

Keywords: Concrete crack-healing, permeability, bacteria, calcium carbonate formation

INTRODUCTION

Crack formation in concrete is a phenomenon that can hardly be completely avoided due to for example shrinkage reactions of setting concrete and tensile stresses occurring in set structures. While larger cracks can potentially hamper a structure's integrity and therefore require repair actions, smaller cracks typically with a crack width smaller than 0.2 mm are generally considered unproblematic [1-2]. Although such

micro cracks do not affect strength properties of structures they do on the other hand contribute to material porosity and permeability. Ingress of aggressive chemicals such as chlorides, sulfates and acids may result on the longer term in concrete matrix degradation and premature corrosion of the embedded steel reinforcement and thus hamper the structures' durability on the long term.

In several studies indications have been found that concrete structures have a certain capacity for autonomous healing of such micro cracks [2-5]. The actual capacity of micro crack healing appears primarily related to the composition of the concrete mixtures. Particularly mixtures based on a high binder content show remarkable crack-healing properties [5] what is due to delayed (secondary) hydration of matrix embedded non-hydrated cement and binder particles upon reaction with crack ingress water. Autogenous self-healing of cracks in traditional but also high-binder content mixtures appear limited to cracks with a width smaller than 0.2 mm [2-5]. This somewhat limited effectiveness appears largely due to the restricted expansive potential of the small non-hydrated cement particles lying exposed at the crack surface. Another limitation to application of high-binder content mixtures solely for the purpose of increasing self-healing capacities are current policies which advocate sparse use of cement in concrete for sustainability reasons as current cement production contributes about 7% to global anthropogenic CO₂ emissions [6]. For latter reasons, alternative and more sustainable self-healing mechanisms are therefore wanted. One possible mechanism is currently being investigated and developed in several laboratories, i.e. a technique based on the application of mineral-producing bacteria. E.g. efficient sealing of surface cracks by mineral precipitation was observed when bacteria-based mixtures were sprayed or applied onto damaged

surfaces or manually inserted into cracks [7-13]. As in those studies bacteria were manually and externally applied to existing structures, this mode of repair can not be categorized as truly self healing. In several follow up studies therefore, the possibility to use viable bacteria as a sustainable and concrete-embedded self healing agent was explored [14-16]. In one study spores of specific alkali-resistant bacteria related to the genus *Bacillus* were added to the concrete mixture as self-healing agent [16]. These spores germinated after activation by crack ingress water and produced copious amounts of crack-filling calcium carbonate-based minerals through conversion of precursor organic compounds which were also purposely added to the concrete mixture. However, in that study it was found that the bacteria-based self-healing potential was limited to relatively young (7-days cured) concrete only, as viability and related activity of bacterial spores directly (unprotected) embedded in the concrete matrix was restricted to about two months. The present study builds further on results reported in latter research paper [16]. Here, bacterial spores and organic mineral precursor compounds are packed in porous expanded clay particles prior to addition to the concrete mixture. It is hypothesized that protection of bacterial spores within porous light weight aggregates extends their viability period and thus concrete self-healing functionality when embedded in the material matrix.

VIABLE BACTERIA AS SELF HEALING AGENT

The bacteria to be used as self healing agent in concrete should be fit for the job, i.e. they should be able to perform long-term effective crack sealing, preferably during the total construction life time. The principle mechanism of bacterial crack healing is that the bacteria themselves act

largely as a catalyst, and transform a precursor compound to a suitable filler material. The newly produced compounds such as calcium carbonate-based mineral precipitates should act as a type of bio-cement what effectively seals newly formed cracks. Thus for effective self healing, both bacteria and a bio-cement precursor compound should be integrated in the material matrix. However, the presence of the matrix-embedded bacteria and precursor compounds should not negatively affect other wanted concrete characteristics. Bacteria that can resist concrete matrix incorporation exist in nature, and these appear related to a specialized group of alkali-resistant spore-forming bacteria [16]. Interesting feature of these bacteria is that they are able to form spores, which are specialized spherical thick-walled cells somewhat homologous to plant seeds. These spores are viable but dormant cells and can withstand mechanical and chemical stresses and remain in dry state viable for periods over 50 years (Fig. 1).

However, when bacterial spores were directly added to the concrete mixture, their life-time appeared to be limited to one-two months [16]. The decrease in life-time of the bacterial spores from several decades when in dry state to only a few months when embedded in the concrete matrix may be due to continuing cement hydration resulting in matrix pore-diameter widths typically much smaller than the 1- μm sized bacterial spores [16]. Another concern is whether direct addition of organic bio-mineral precursor compounds to the concrete mixture will not result in unwanted loss of other concrete properties. In the preceding study it was indeed found that various organic bio-cement precursor compounds such as yeast extract, peptone and calcium acetate resulted in a dramatic decrease of compressive strength. The only exception appeared to be calcium lactate what actually resulted in a 10% increase in compressive strength compared to control specimens [16]. In order to substantially increase the lifetime

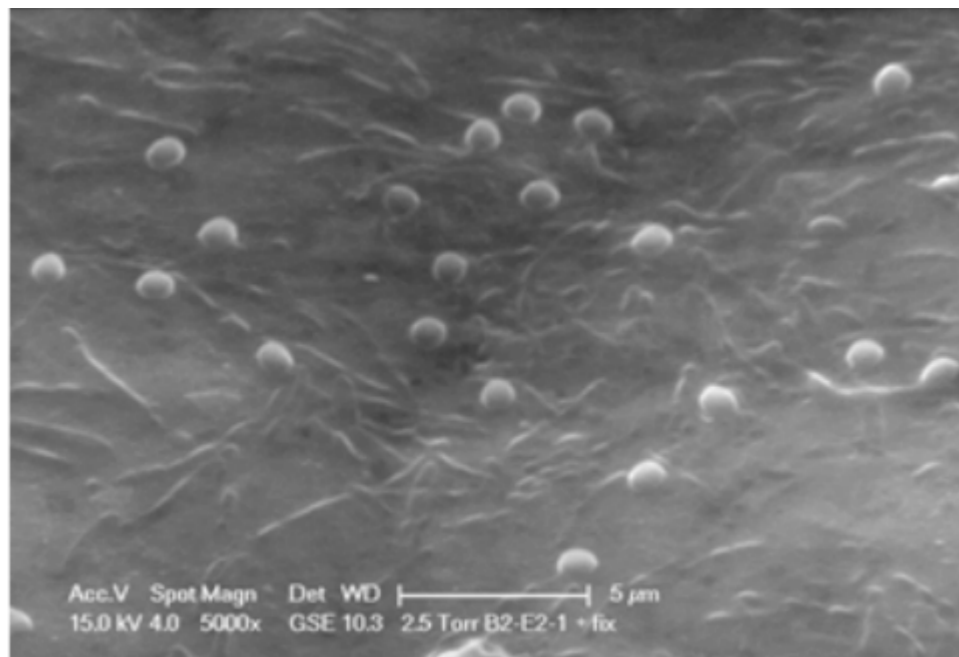


Figure 1. ESEM photomicrograph (5000x magnification) of alkali-resistant spore forming bacterium (*Bacillus* strain B2-E2-1). Visible are active vegetative bacteria (rods) and spores (spheres), showing that spore diameter sizes are in the order of one micrometer.

and associated functionality of concrete incorporated bacteria, the effect of bacterial spore and simultaneously needed organic biomineral precursor compound (calcium lactate) immobilization in porous expanded clay particles was tested in this study. It was found that protection of the bacterial spores by immobilization inside porous expanded clay particles before addition to the concrete mixture (Fig. 2) indeed substantially prolonged their life-time. Currently running viability experiments show that still after 6 months concrete incorporation no loss of viability is observed, suggesting that their long term viability as observed in dried state when not embedded in concrete is maintained. In subsequent experiments the expanded clay particles loaded with the two-component bio-chemical healing agent were applied as additive to the concrete mixture to test self-healing potential of bacterial concrete.

AUTONOMOUS CRACK REPAIR OF BACTERIAL SELF HEALING CONCRETE

Concrete test specimens were prepared in which part of the aggregate material,

i.e. the 2-4mm size class, was replaced by similarly sized expanded clay particles loaded with the biochemical self-healing agent (bacterial spores $1.7 \times 10^5 \text{ g}^{-1}$ expanded clay particles, corresponding to 5×10^7 spores dm^{-3} concrete, plus 5% w/w fraction calcium lactate, corresponding to 15g dm^{-3} concrete). Before application, loaded expanded clay particles were oven-dried until no further weight loss due to water evaporation was observed (one week at 40°C). Control specimens had a similar aggregate composition but these expanded clay particles were not loaded with the bio-chemical agent. Both types of expanded clay particles (empty for control specimens and loaded for bacterial specimens) were

Composition of concrete specimens is shown in Table 1. The amount of light weight aggregate applied in this case represents 50% of the total aggregate volume. Replacement of such a high fraction of sand and gravel for expanded clay has consequences for strength characteristics of the derived concrete. In this specific case a 50% decrease in compressive strength was observed after 28 days curing when compared to specimens of similar aggregate

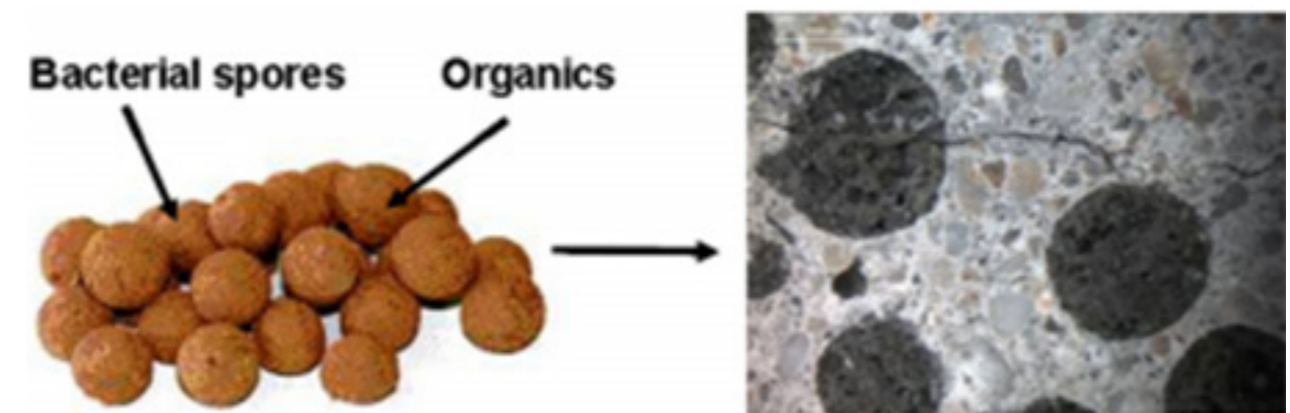


Figure 2. Self healing admixture composed of expanded clay particles (left) loaded with bacterial spores and organic bio-mineral precursor compound (calcium lactate). When embedded in the concrete matrix (right) the loaded expanded clay particles represent internal reservoirs containing the two-component healing agent consisting of bacterial spores and a suitable bio-mineral precursor compound.

Compounds	Volume (cm ³)	Weight (g)
2 - 4 mm LWA	196	167
1 - 2 mm LWA	147	125
0.5 - 1 mm Sand	147	397
0.25 - 0.5 mm Sand	128	346
0.125 - 0.25 mm Sand	69	186
Cement CEMI 42.5N	122	384
Water	192	192
Total	1001	1796

Table 1. Composition of concrete specimens. LWA refers to Liapor Sand R 1/4 expanded clay particles

composition without replacement of sand and gravel fractions for expanded clay particles. Although the expanded clay-based specimens featured a substantial decrease in strength, crack-healing capacity of specimens in which expanded clay particles were loaded with bacteria and organic mineral precursor compound (calcium lactate) appeared substantially improved. The self-healing capacity of pre-cracked concrete slabs sawed from 56 days (2 months) water cured concrete cylinders was determined by taking light microscopic images before and after permeability quantification. For the latter, pre-cracked concrete slabs were glued in an aluminum ring and mounted in a custom made permeability setup. Crack formation in concrete specimen slabs (10 cm diameter, 1.5 cm thickness) was achieved by controlled application of compressive-tensile stress (Fig. 3, left picture) at the 2 months cured specimens. Induced cracks featured crack length of 8 cm running from top to bottom of specimen and a crack width of 0.15 mm running completely through the 1.5 cm thick specimen. After crack induction, both sets (6 of each) of control (added expanded clay particles neither loaded with bacterial spores nor with organic compounds)

and bacterial concrete specimens (added expanded clay particles loaded with both bacterial spores and organic compounds) were submerged for two weeks in tap water at room temperature. Subsequently, permeability of all cracked specimens was quantified by automated recording of tap water percolation in time during a 24 hours period (Fig. 3). Comparison between bacterial and control specimens revealed a significant difference in permeability and thus in self-healing capacity. While cracks of all six bacterial specimens were completely sealed resulting in no measurable permeability (percolation of 0 ml water / h), only 2 out of six control specimens appeared perfectly healed. The four other control specimens featured permeability (water percolation) values between 0 and 2 ml/h. Microscopic examination of cracks (at the side of the slab being exposed to the water column) revealed that in both control and bacterial specimens precipitation of calcium carbonate-based mineral precipitates occurred. However, while in control specimens precipitation largely occurred near the crack rim leaving major parts of the crack unhealed, efficient and complete healing of cracks occurred in bacterial spe-

cimen as here mineral precipitation occurred predominantly within the crack itself (Fig. 4).

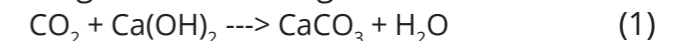
DISCUSSION AND CONCLUSION

The outcome of this study shows that crack healing of bacterial concrete based on expanded porous clay particles loaded with bacteria and calcium lactate, i.e. an organic bio-mineral precursor compound, is much more efficient than of concrete of the same composition however with empty expanded clay particles. The reason for this can be explained by the strictly chemical processes in the control and additional biological processes in the bacterial concrete. Non-hydrated cement particles exposed at the crack surface of concrete will undergo secondary hydration and in addition in control specimens carbon dioxide present in the bulk water will react with present portlandite (calcium hydroxide) particles to produce calcium carbonate-based mineral precipitates. Latter mineral precipitates will particularly form near the crack rim due to the relatively high solubility of calcium hydroxide. Here it is hypothesized that calcium hydroxide particles present at the surface of the crack interior will first scavenge all available carbon dioxide from crack ingress water, where after remaining calcium hydroxide will dissolve and diffuse out of the crack

into the bulk water. Once in the bulk water it will react with carbon dioxide present in close approximation to the crack rim resulting in the chemical production and precipitation of larger quantities of much lower soluble calcium carbonate.

Probable reason for the massive precipitation of calcium carbonate near the crack rim (Fig.4A) is that concentration of both reactants calcium hydroxide and carbon dioxide are relatively high here due to the opposing diffusion gradients of the respective reactants.

Calcium hydroxide diffuses away from the crack interior towards the overlying bulk water while carbon dioxide diffuses from the bulk water towards the crack interior where it is scavenged by high concentrations of calcium hydroxide. The process of chemical calcium carbonate reaction from dissolved calcium hydroxide occurs according to the following reaction:



The amount of calcium carbonate production inside the crack in control concrete specimens is likely only minor due to the low amount of CO₂ present in the limited amount of water present in the crack interior. The self healing process in bacterial concrete is much more efficient due to the active metabolic conversion of calcium lactate by the present bacteria:

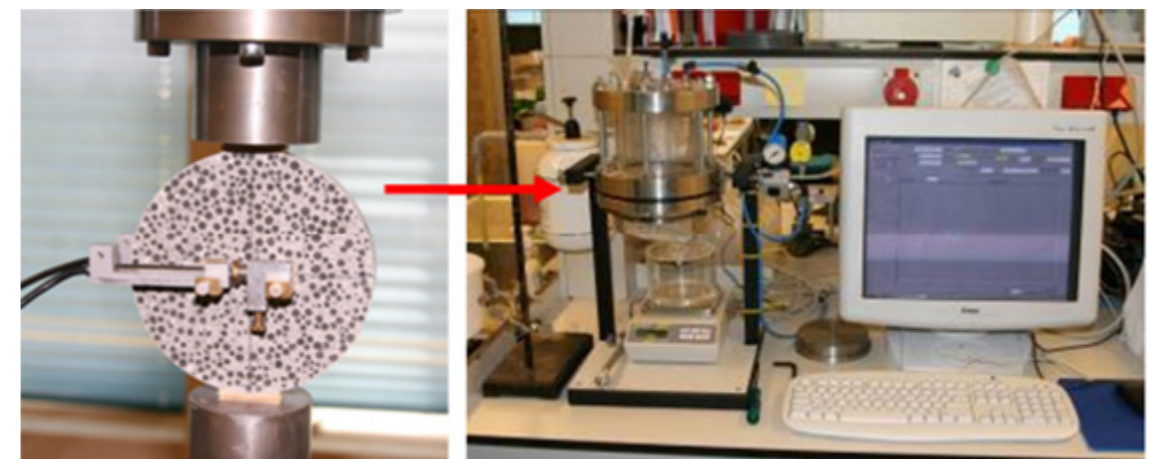


Figure 3. Pre-cracking of concrete slab and subsequent permeability testing

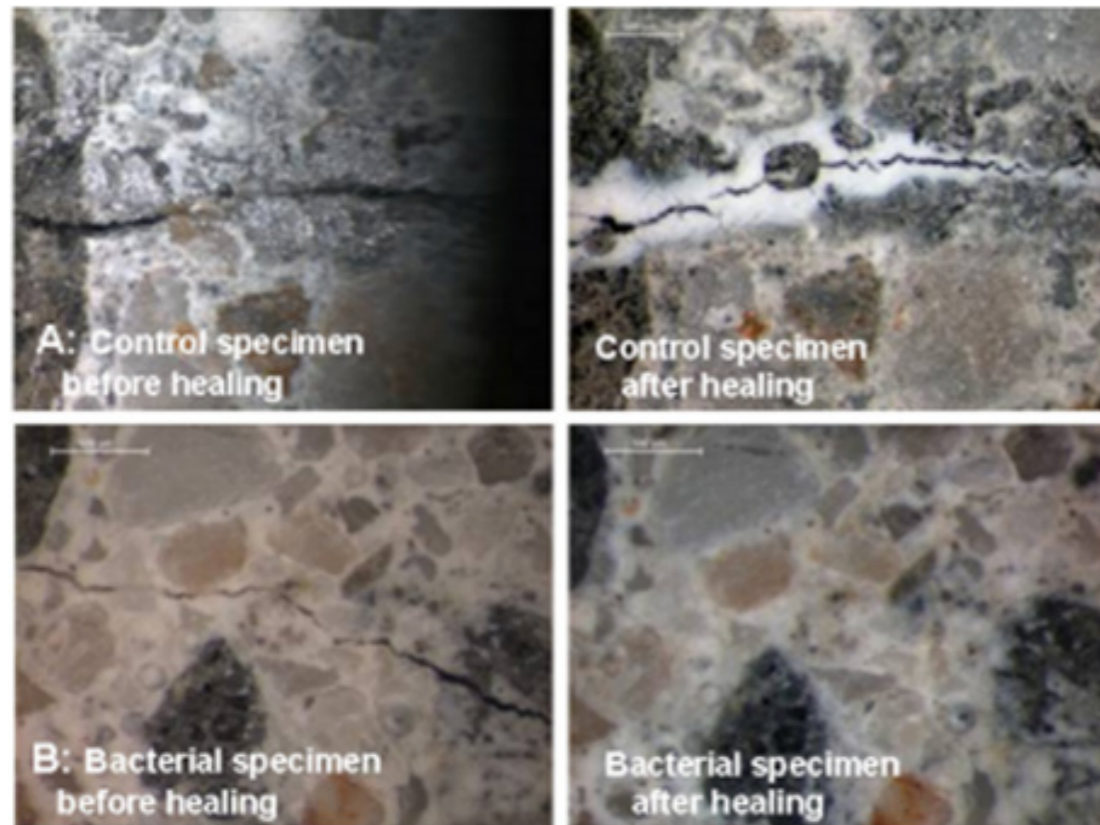


Figure 4. Light microscopic images (40 times magnification) of pre-cracked control (A) and bacterial (B) concrete specimen before (left) and after (right) healing (2 weeks submersion in water). Mineral precipitation occurred predominantly near the crack rim in control but inside the crack in bacterial specimens. Efficient crack healing occurred in all six bacterial and two out of six control specimens.

This process results in the precipitation of substantially higher amounts of calcium carbonate inside the crack as calcium carbonate is in this case not only directly produced from the conversion of calcium lactate in equimolar amounts of calcium carbonate, but also indirectly via the chemical reaction of metabolically produced CO₂. As latter carbon dioxide is produced at the surface of the crack interior it will directly react with portlandite particles still present in the crack interior. In the latter case, portlandite does not dissolve and diffuse away from the crack surface, but instead reacts directly on the spot with local bacterially produced CO₂ to additional calcium carbonate. The process of bacterial calcium lactate conversion thus results in the production of in total six calcium car-

bonate equivalents, resulting in efficient crack sealing as can be seen in Figure 4B. In this study the potential effect of only calcium lactate addition (without addition of bacterial spores) on crack healing was not considered. In order to establish the purely chemical effect of calcium lactate additions on crack-healing potential, experiments under completely sterile conditions have to be performed. This, however, is technically difficult considering the introduced effects of needed heat sterilization (120°C for 20 minutes) or chemicals on specimen characteristics. As self-healing tests in this study were performed under non-sterile conditions (realistic conditions) it can not be excluded that bacteria present in tap water used for curing, self-healing and permeability experiments contain

bacteria that may have (in addition to purposely added bacterial spores) contributed to metabolic conversion of calcium lactate to calcium carbonate-based minerals. One clear indication for metabolic (bacterial) conversion of calcium lactate, however, has been recently obtained in our laboratory by oxygen consumption measurements of concrete specimens. While bacterial spores and calcium lactate-containing specimens consumed substantial amounts of oxygen rapidly after submersion in water, strongly delayed oxygen consumption was observed in only calcium lactate-containing specimens, and no oxygen consumption occurred in only bacterial spores-containing specimens. As latter experimental data still need further quantification, it does suggest that addition of bacterial spores as part of the two-component biochemical healing agent may in fact not be necessary in cases where crack ingress water already contains bacteria able to metabolically convert calcium lactate. However, in order to assure rapid onset of crack-healing action and particularly to ensure their presence, co-application of calcium lactate and bacteria able to metabolically convert this compound appears the most favourable option.

Main objective of this study was to establish whether bacteria immobilized in porous expanded clay particles prior to concrete mix addition can substantially increase bacterially-mediated self-healing in comparison to direct unprotected addition of bacteria to the concrete mixture as was done in a previous study [16]. The results of this study appear promising as 100% healing (6 out of 6 tested specimens) of cracks induced in 2 months cured bacterial specimens occurred in contrast to 33% healing (2 out of 6 tested specimens) of control specimens. Tests showed furthermore that bacterial spore viability increased from 2 to more than 6 months when added immobilized (protected) inside porous expanded clay particles compared to direct (unprotected) addition to the con-

crete mixture. Ongoing experiments concern further quantification crack-healing, i.e. establishing the relationship between amount of healing agent added and effective healing of crack depth and width. From this study it can be concluded that active bacterially-mediated mineral precipitation can thus result in efficient crack-plugging and concomitant decrease in material permeability. The overall conclusion of this work is that the proposed two component bio-chemical healing agent, composed of bacterial spores and a suitable organic bio-cement precursor compound, using porous expanded clay particles as a reservoir is a promising bio-based and thus sustainable alternative to strictly chemical or cement-based healing agents, particularly in situations where concrete parts of a construction are not accessible for manual inspection or repair. However, before practical application becomes feasible, further optimization of the proposed system is needed. E.g., the amount of healing agent needed should be minimized in order to become economically competitive with currently existing repair techniques and furthermore to reduce consequences such as loss in compressive strength.

ACKNOWLEDGEMENTS

Financial support from the Delft Centre for Materials (DCMat: www.dcmat.tudelft.nl) for this work is gratefully acknowledged.

REFERENCES

- [1] NEVILLE, A.M. (1996) PROPERTIES OF CONCRETE (4TH EDITION). PEARSON HIGHER EDUCATION, PRENTICE HALL, NEW JERSEY.
- [2] NEVILLE, A.M. (2002) AUTOGENOUS HEALING - A CONCRETE MIRACLE? *CONCRETE INT* 24(11):76-82
- [3] EDVARDBSEN, C. (1999) WATER PERMEABILITY AND AUTOGENOUS HEALING OF CRACKS IN CONCRETE. *ACI MATERIALS JOURNAL* 96(4): 448-454.
- [4] REINHARDT, H.W., AND JOOSS, M. (2003) PERMEABILITY AND SELF-HEALING OF CRACKED CONCRETE AS A FUNCTION OF TEMPERATURE AND CRACK WIDTH. *CEMENT AND CONCRETE RES* 33:981- 985.
- [5] LI, V.C., AND YANG, E. (2007) SELF HEALING IN CONCRETE MATERIALS. IN *SELF HEALING MATERIALS -AN ALTERNATIVE APPROACH TO 20 CENTURIES OF MATERIALS SCIENCE* (ED. S. VAN DER ZWAAG), PP. 161-194. SPRINGER, THE NETHERLANDS.
- [6] WORRELL, E., PRICE, L., MARTIN, N., HENDRIKS, C., AND OZAWA MEIDA, L. (2001) CARBON DIOXIDE EMISSIONS FROM THE GLOBAL CEMENT INDUSTRY. *ANNUAL REVIEW OF ENERGY AND THE ENVIRONMENT* 26: 303-329.
- [7] BANG, S.S., GALINAT, J.K., AND RAMAKRISHNAN, V. (2001) CALCITE PRECIPITATION INDUCED BY POLYURETHANE-IMMOBILIZED BACILLUS PASTEURII. *ENZYME MICROB TECH* 28: 404-409.
- [8] RAMACHANDRAN, S.K., RAMAKRISHNAN, V., AND BANG, S.S. (2001) REMEDIATION OF CONCRETE USING MICRO-ORGANISMS. *ACI MATERIALS JOURNAL* 98(1):3-9.
- [9] GHOSH, P., MANDAL, S., CHATTOPADHYAY, B.D., AND PAL, S. (2005) USE OF MICROORGANISMS TO IMPROVE THE STRENGTH OF CEMENT MORTAR. *CEMENT CONCRETE RES* 35:1980-1983.
- [10]DE MUYNCK, W., DEBROUWER, D., DE BELIE, N, AND VERSTRAETE, W. (2008) BACTERIAL CARBONATE PRECIPITATION IMPROVES THE DURABILITY OF CEMENTITIOUS MATERIALS. *CEMENT CONCRETE RES* 38: 1005-1014.
- [11]DE MUYNCK, W., COX, K., DE BELIE, N., AND VERSTRAETE, W. (2008) BACTERIAL CARBONATE PRECIPITATION AS AN ALTERNATIVE SURFACE TREATMENT FOR CONCRETE. *CONSTR BUILD MATER* 22: 875-885.
- [12]DE MUYNCK, W., DE BELIE, N., AND VERSTRAETE, W. (2010) MICROBIAL CARBONATE PRECIPITATION IN CONSTRUCTION MATERIAL: A REVIEW. *ECOL ENG* 36:118-136
- [13]VAN TITTELBOOM, K., DE BELIE, N., DE MUYNCK, W., AND VERSTRAETE, W (2010) USE OF BACTERIA TO REPAIR CRACKS IN CONCRETE. *CEMENT CONCRETE RES* 40: 157-166.
- [14]JONKERS, H.M. (2007) SELF HEALING CONCRETE: A BIOLOGICAL APPROACH. IN *SELF HEALING MATERIALS - AN ALTERNATIVE APPROACH TO 20 CENTURIES OF MATERIALS SCIENCE* (ED. S. VAN DER ZWAAG), PP. 195-204. SPRINGER, THE NETHERLANDS.12
- [15]JONKERS, H.M., AND SCHLANGEN, E. (2008) DEVELOPMENT OF A BACTERIA-BASED SELF HEALING CONCRETE. IN *TAILOR MADE CONCRETE STRUCTURES - NEW SOLUTIONS FOR OUR SOCIETY. PROC. INT. FIB SYMPOSIUM* (ED. J. C. WALRAVEN & D. STOELHORST), PP. 425-430. AMSTERDAM, THE NETHERLANDS.
- [16]JONKERS, H.M., THIJSSSEN, A., MUYZER, G., COPUROGLU, O., AND SCHLANGEN, E. (2010) APPLICATION OF BACTERIA AS SELF-HEALING AGENT FOR THE DEVELOPMENT OF SUSTAINABLE CONCRETE. *ECOLOGICAL ENGINEERING* 36(2): 230-235

HOMENAJE A UNA PERSONALIDAD DESTACADA DE LA INGENIERÍA QUÍMICA ARGENTINA EL ING. MIGUEL DE SANTIAGO



Por
Ing. Noemi E Zaritzky

Cuando me pidieron que escribiera sobre el Ing. Miguel de Santiago, no lo dudé ni un momento, y consideré que era importante rendir homenaje a un pionero de la Ingeniería Química en Argentina y a un destacado y brillante egresado de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP). El Ing. de Santiago tuvo una extensa trayectoria profesional como docente, investigador y funcionario. Recorreremos su biografía y los logros profesionales más importantes.

El Ing. Miguel de Santiago nació en la ciudad de Buenos Aires el 14 de julio de 1932. Estudió entre 1946-1952 en la Escuela Industrial "Otto Krause", obteniendo el título de Técnico Químico.

En 1954 comenzó a cursar la Carrera de Ingeniería Química en la Universidad Nacional de La Plata graduándose en 1959. Esa fue la primera promoción de ingenieros Químicos de la UNLP.

Haciendo un poco de historia, recordemos que el Consejo Superior de la UNLP aprobó la creación de la carrera de Ingeniería Química el 18 de noviembre de 1952. La admi-

nistración de dicha carrera se realizaba en el Departamento de Mecánica. La mayor parte de las materias se cursaban por correlación en la Facultad de Química y Farmacia (Ciencias Exactas en la actualidad), siendo Jefe de Departamento de Tecnología Química el Dr. Jorge Ronco. En 1958 se comenzaron a dictar las primeras asignaturas específicas de la carrera: Ingeniería Industrial (Dr. Alejandro Arvía), Proyecto de Instalaciones Industriales (Ing. Américo Chiaravelli) y Procesos Unitarios (Dr. Roberto Cunningham). En 1959 recibieron sus títulos los primeros egresados entre los que se encontraban Miguel de Santiago, Jorge Iorgulescu, Jorge Menegaz, Carlos Rodríguez, Gerardo Kunster y Carlos Montalvoy.

En septiembre de 1959 se creó en el Departamento de Mecánica, la división Ingeniería Química, siendo nombrado como jefe, el profesor de Mecánica Aplicada, Ing. Atilio Zanetta López y como asistente fue designado el Ing. Miguel de Santiago que se había recibido recientemente.

El Ing de Santiago trabajó como Jefe de Producción en Fontainebleau SRL. Molienda de Minerales de Lanús entre 1958-1960. Entre marzo y agosto 1960 se desempeñó como Investigador en Tecnología Química en el LEMIT (Laboratorio de Ensayo de Materiales e Investigaciones Tecnológicas, La Plata. Bs.As). Posteriormente se desempeñó como Jefe de la División Ingeniería Química.

Facultad de Ciencias Fisicomatemáticas, UNLP y Profesor Adjunto de Fenómenos de Transporte (1960 – 1963).

En 1962 fue Profesor Adjunto de Química Industrial II, en la Facultad de Química (UNLP), y en ese mismo año Profesor Visitante en la Facultad de Ciencias e Ingeniería, San Juan (Universidad Nacional de Cuyo).

El Ing Miguel de Santiago se perfeccionó en el exterior realizando estudios de postgrado en el Instituto Francés del Petróleo, Rueil Malmaison, Francia entre 1963 y 1965 con una Beca de Perfeccionamiento otorgada por el CONICET realizando trabajos de medición del área interfacial en reactores químicos líquido-líquido.

Mientras tanto, la división Ingeniería Química de la UNLP fue creciendo con la incorporación de nuevas asignaturas y el 1º de octubre de 1965 se creó el Departamento de Ingeniería Química (DIQ). El Ing. de Santiago se desempeñó como Jefe de dicho Departamento y Director Grupo de Investigaciones en Ingeniería de Procesos de la Facultad de Ingeniería entre 1965 y 1973.

Por esos años la antigua Facultad de Ciencias Físicas, Matemáticas y Astronómicas se convirtió en Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata en 1968.

En ese contexto, dentro del Depto. de Ing. Química se formaron grupos de investigación en Ingeniería de Procesos que fueron pioneros en la Argentina.



El Ing. de Santiago fue Director del Programa de Posgrado en Ingeniería Química entre 1970 y 1975 y a través del apoyo de la UNESCO, del BID, de la OEA, se llevó a cabo el primer curso de postgrado en Ing. Química entre 1970 y 1974 en el que participaron profesores de Estados Unidos y de Europa de renombre internacional que vinieron a La Plata a dictar Cursos en idioma inglés que debían aprobarse con examen final. Entre ellos pueden mencionarse: el Dr. Hyun Ku Rhee de la Universidad de Minnesota quien dictaba Matemáticas Avanzada, el Dr. José M. Smith de la Universidad de California a cargo del Curso de Termodinámica, el Dr. L.E. Scriven de la Universidad de Minnesota que desarrolló el Curso de Fluidodinámica. Este Curso de Posgrado brindó a los egresados que se encontraban realizando su trabajo de investigación en el Departamento y eran también jóvenes docentes del mismo, una excelente formación en Ing. Química y un gran avance académico, bajo estándares internacionales.

Entre 1965 y 1976 el Ing. de Santiago se desempeñó como Profesor Titular Dedicación Exclusiva de Procesos Unitarios del Depart-

tamento de Ingeniería Química (UNLP), cargo obtenido en Concurso Público de Antecedentes y Oposición. También fue Decano Sustituto de la Facultad de Ingeniería entre 1968 y 1971.

En 1970 realizó estudios sobre Aplicación de computadoras en tiempo real a investigación y control de procesos, en la Escuela Superior de la Industria Química, en Nancy, Francia.

Fue Consultor en Industria Petroquímica y Transferencia de Tecnología para la Secretaría de Desarrollo Industrial durante 1973-1974.

Cabe señalar que el Depto. de Ing. Química de la UNLP funcionó desde su inicio en un edificio muy precario; un galpón con techo semicircular de chapa que era apodado "el Caño". Lamentablemente ese edificio, que estaba localizado en el lugar original de Transmisión de Radio Universidad (1923-1969), fue destruido por un voraz incendio ocurrido el 17 de junio de 1974. Lamentablemente se perdió todo: Biblioteca, Instrumental, equipamiento, aulas

Eso generó que todos los becarios y tesis que trabajaban en dicho edificio sobre la calle 115 de La Plata, frente al Depto. de Matemáticas y de Física de la Facultad de Ciencias Exactas, tuvieran que conseguir nuevos lugares de trabajo y eso debilitó sin duda al Depto. de Ing. Química que con tanto impulso había surgido. Así fue como los docentes se fueron repartiendo mayormente en distintos Institutos recién creados, dependientes de la Facultad de Ciencias Exactas de la UNLP y del CONICET para continuar con sus trabajos de investigación y desarrollo ante las dificultades de no contar con un Edificio para trabajar

Entre 1976 y 1979 el Ing. De Santiago se desempeñó como Especialista Principal en Ciencias Aplicadas en el Departamento de Asuntos Científicos, de la Organización de los Estados Americanos, Washington DC. USA.

Luego de regresar a Argentina, entre 1979 y 1991 tuvo el cargo de Profesor Titular (tiempo parcial) de Ingeniería de las Reaccio-

nes Químicas en la Facultad de Ingeniería (UNLP).

Fue Investigador Principal de la Carrera del Investigador Científico del CONICET y Subdirector del CINDECA (Centro de Investigación y Desarrollo en Catálisis) entre 1980 y 1987 y Miembro del Consejo Directivo del Instituto Petroquímico Argentino desde 1984.

Ejerció el cargo de Presidente del Instituto Nacional de Tecnología Industrial INTI, Secretaría de Industria de la Nación, entre 1985 y 1986. Se desempeñó como Director Titular de Petroquímica Bahía Blanca SAIC en el período 1984 - 1987. Desarrolló tareas de Ingeniero Consultor en temas de evaluación de proyectos y prospectiva de tecnología en Petroquímica, Fertilizantes, Agro Industria y Energía en el área de Transferencia de Tecnología y Planificación de Ciencia y Tecnología.

Son numerosas las actividades de consultoría realizadas por el Ing. De Santiago para la Secretaría de Ciencia y Tecnología, la Secretaría de Industria, la Organización de los Estados Americanos, Banco Mundial, FIEL, MALEIC SA, ACINDAR SA, entre las cuales se destacan:

Modelado matemático de un horno eléctrico de acero para Dalmine- Siderca (1972); Evaluación de proyectos y planificación de industria petroquímica para Secretaría de Desarrollo Industrial (1973 - 1974); Coordinación de proyectos y planificación de industria petroquímica para la Secretaría de Desarrollo Industrial (1980 -1982); Estudio de pre-factibilidad de una fábrica de catalizadores, para CONACA. Comité Nacional de Catálisis; Evaluación del Programa de Energía Solar, para la OEA (Organización de los Estados Americanos. Washington DC) en 1983; Evaluación de alternativas de localización de plantas de amoniaco y urea para COPROFER (1985); Organización de un Centro de Información Petroquímica, para el IPA. Instituto Petroquímico Argentino (1985 - 1986); Informe sobre Industria Petroquímica Argentina. Rol del Estado, para FIEL (1986); Estudios de pre-factibilidad de una planta de amoniaco y urea, para Petroquímica Ba-

hía Blanca SAIC. (1987); Perspectivas de la agroindustria exportadora. Capítulos de Tecnología e Información, para SECYT (1989); Informe sobre privatizaciones en industrias petroquímicas, para ACINDAR (1992); Estudio de mercado del gas licuado de petróleo LPG, para el grupo general LIPIGAS SA Chile (1994).

Esta larga lista muestra la cantidad de temas que abordó el Ing de Santiago en sus trabajos los cuales fueron desarrollados con gran solidez.

Por otra parte, realizó tareas de Ingeniero Asesor y Analista de proyectos en Petroquímica Bahía Blanca SAIC y POLISUR S.A. Entre los trabajos desarrollados por el Ing de Santiago en ese período se destacan la evaluación de proyectos de inversión referentes a almacenamiento de etano y etileno líquidos; planta de fertilizantes nitrogenados; planta de etileno a partir de gasolina natural; utilización de subproductos de la producción de etileno. Realizó informes de proyectos para organismos gubernamentales y entidades financieras; participó en la negociación de contratos técnicos de construcción de planta de etileno, provisión de etano por YPF. (1984-1990)

Estuvo adscripto a la Gerencia Comercial y realizó desarrollo de software de evaluación de proyectos y de previsión presupuestaria de la empresa, de cálculo automático de costos para facturación de etileno y estudios de mercado. (1990- 1991). Participó en la organización de la comercialización de nuevos productos: venta en consignación de LPG de YPF (1992).

Fue Coordinador general de información para la privatización de PBB y estuvo a cargo de la redacción y presentación de informes técnicos y económicos de la empresa, teniendo a su cargo la preparación de artículos para la prensa especializada. (1993). Se desempeñó en el área de Gerenciamiento de la producción y comercialización de Polietileno de Alta Densidad y PVC por contrato con INDUPA, realizando la negociación de los contratos de compra venta de etileno entre PBB e INDUPA y PBB y POLISUR. Trabajó

en el desarrollo de Software de control del proyecto (1994). Fue Coordinador general de información para las privatizaciones de PBB e INDUPA (1995).

Cabe señalar que en 1996 el Ing. de Santiago ingresó como miembro Titular de la Academia de la Ingeniería de la Pcia de Buenos Aires.

Entre 1996 y 2000 participó en la negociación de contratos de provisión de tecnología y servicios plantas cracker LHC-2 y EPE (Polietilenos). Trabajó en la preparación y presentación proyectos de planta de etileno y de polietileno para obtención de beneficios de exención de impuestos de importación. También trabajó en el desarrollo de software para la administración de contratos de venta de etileno, control de stocks, asignación ventas y planificación producción. Por otra parte participó en la negociación de contratos de provisión de etano de TGS (Transportadora de Gas del Sur) en 2000 y en la administración de los contratos de provisión de etano de TGS y de MEGA, siendo Coordinador de los comités operativos de ambos contratos entre 2000 y 2001.

Mientras tanto, a lo largo de todo este tiempo y muchos años después del incendio, se fue reconstruyendo el Edificio del Depto. de Ing. Química de la facultad de Ingeniería de la UNLP y en el año 2003 en un acto muy emotivo, se le dio a ese nuevo Edificio el nombre de Profesor Ingeniero Miguel de Santiago en reconocimiento a su compromiso con el desarrollo de la Ingeniería Química en nuestro país y especialmente en nuestra Universidad. La resolución fue tomada en base a la propuesta presentada ante el Decano de la Facultad de Ingeniería el Ing. Alberto Giovambattista, por un grupo de docentes e investigadores del citado Departamento entre los cuales se encontraba el Ing Omar Iglesias. En dicha propuesta se destacó la importancia del trabajo realizado por el Ing de Santiago en pos del desarrollo de la Ingeniería Química en la UNLP y en nuestro país. Cabe señalar que durante la Sesión del Consejo Académico en la que se trató la iniciativa, los claustros de docentes y gradua-

dos expresaron su total apoyo a la iniciativa, que fue aprobada por unanimidad. Cabe señalar que el Ing. Miguel de Santiago fue Asesor de la Dirección Ejecutiva del Instituto Petroquímico Argentino, desde 2002 y Director del Programa de Postgrado Especialización en Petroquímica del Instituto Petroquímico Argentino entre 2003 y 2010, siendo Profesor del Curso Administración de Tecnología y Proyectos. Fue sin duda un activo participante en el Instituto Petroquímico Argentino y uno de los responsables del éxito de importantes actividades desarrolladas en dicho Instituto.

Además de toda su actividad de gestión y en la Industria, el Ing. de Santiago ha sido autor numerosas publicaciones sobre diversos temas de investigación en Ingeniería Química entre los que se pueden citar: Operaciones Unitarias con sólidos granulares. Cilindros rotatorios. Hornos y Molinos Rotatorios (1958- 1963); Reactores químicos heterogéneos gas-líquido en lecho relleno. Tanque agitado líquido – líquido (1963 – 1969); Diseño de procesos por computadora: equilibrio químico en sistemas complejos. Transferencia de materia con simultánea reacción química. Regresión no lineal. Métodos de optimización para funciones multivariable no lineales. Estrategia de cálculo en sistemas complejos. Modelado y simulación de procesos. (1968 – 1975); Modelado y optimización de grandes sistemas industriales. Petroquímica, fertilizantes y agroindustrias. Evaluación de proyectos. Análisis de costo beneficio nacional. Síntesis de procesos. (1979 – 1987).

También elaboró trabajos sobre Gestión de Institutos de Investigación y Desarrollo. Transferencia de tecnología. Información científica. Evaluación de proyectos de Investigación y Desarrollo. Políticas de Ciencia y Tecnología: planificación en tecnología química, energías no convencionales, tecnología de alimentos (1981 – 1988)

Ha realizado formación de recursos humanos siendo Director de 16 tesis de becarios y de graduación.

Fue Profesor invitado en cursos de grado y

postgrado en Universidad Nacional de Cuyo, Universidad de Sao Paulo, Industrias Argentinas DUPERIAL, IAPG, FINEP Brasil. Participó con presentación de trabajos en 80 reuniones científicas y profesionales.

Desempeñó importantes posiciones honorarias: fue Miembro del Directorio de Petroquímica Bahía Blanca SAIC en representación de Fabricaciones Militares en dos períodos (abril 1984 a febrero 1986 y agosto 1987 a diciembre 1987). Fue Secretario Ejecutivo de Transferencia de Tecnología en la Secretaría de Estado de Ciencia y Tecnología. SECYT, entre 1980 y 1982. También fue Secretario Ejecutivo del Programa Nacional de Investigación en Petroquímica, desde 1987 a 1989; Coordinador del Acuerdo Cooperación Argentino Brasileño en Química Fina (1988).

En la Secretaría de Estado de Industria fue Asesor del Secretario de Estado entre mayo 1973 a mayo 1974 y también en 1985.

En el CONICET fue miembro de Comisiones Asesoras en Ciencias Tecnológicas (1966 a 1969); en Política de Institutos (1980 a 1981); en Institutos de Investigación en Ingeniería y Tecnología (1982 a 1986).

Ha sido Director y Profesor del Curso sobre Organización y Gestión de Institutos de Investigación Científica (OGEIN) en 1981. En la CIC (Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires) fue Miembro de la Comisión Asesora en Ciencias Tecnológicas. (1984 - 1985).

El Ing de Santiago fue también miembro de diferentes Sociedades Profesionales. En el IPA (Instituto Petroquímico Argentino) fue Miembro titular del Consejo Directivo desde 1984 a 1993 y de 1994 a 2014; Secretario del Consejo Directivo (1998 – 1999); Director del Centro de Información Petroquímica (1985 a 1997); Director Programa Técnico del 8º Congreso Argentino de Petroquímica (Córdoba 1987), del 9º Congreso. (Mendoza 1989), del 10º Congreso (San Martín de los Andes. Neuquén. 1995). Secretario Técnico de 10º Congreso Argentino de Petroquímica y 1er. Congreso de la Industria Química y Petroquímica del Mercosur. (Buenos Aires. 1998)

Integró la Asociación Argentina de Ingenieros Químicos (AAIQ) desde 1965, siendo Presidente de División La Plata (1966 a 1971); Director de Comisión Nacional (1969 a 1971); Vicepresidente Comisión Nacional (1971 a 1975).

Fue Miembro Fundador ADICIQA (Sociedad Argentina de Investigadores en Ingeniería Química y Química Aplicada) en 1969 y Miembro del Consejo de Directores entre 1969 y 1976.

Ha sido Editor Asociado de la revista *Latinamerican Journal of Chemical Engineering and Applied Chemistry* (1971 – 1987).

Fue Socio Fundador de ALTEC, Sociedad Latinoamericana de Gestión de Tecnología (1984).

Ha sido autor de alrededor de 100 trabajos e informes sobre temas científicos, tecnológicos y educacionales.

En la UNLP dictó cursos de Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. Fenómenos de transporte: momento, energía y materia, Ingeniería de reactores químicos, Técnicas de optimización, Análisis económico de proyectos y Cálculo de procesos.

También dictó cursos para graduados de Mecánica de Fluidos y transferencia de calor en Duperial, San Lorenzo; Métodos de optimización, en el Instituto Argentino del Petróleo (IAP); Diseño de procesos por computadora en IAP.

Pre-ingeniería de proyectos industriales. (OEA – FINEP. Río de Janeiro); Organización y Gestión de Institutos de I&D a la Industria en la Escuela de Administração en la Universidad de Sao Paulo; Análisis de Sistemas y Optimización de Procesos; Administración de Tecnología y Proyectos

Ejerció el cargo de Presidente de nuestra Academia de la Ingeniería de la Provincia de Buenos Aires entre setiembre del 2010 hasta agosto del 2014. Durante su Presidencia propuso y puso en marcha un programa de estudios que se vienen desarrollando hasta la actualidad denominado "Programa de Estudios y Análisis de Problemas Trascendentales de la República Argentina con Soluciones Técnicas"

Con respecto a su familia, contrajo enlace con Berta Somoza quien lo acompañó a lo largo de toda su vida, alentando su trabajo; tuvieron dos hijos, Alejandra y Andrés

Lamentablemente, al poco tiempo de finalizar su período como Presidente de la Academia el Ing. De Santiago falleció el 8 de setiembre de 2014, dejando un gran vacío en la ingeniería argentina.

Después de su fallecimiento diversas instituciones recordaron su figura. Nuestra Academia de la Ingeniería de la Provincia de Buenos Aires le rindió un homenaje en su sesión del 8 de octubre de 2014, estando presentes Académicos Titulares, su esposa, hijos y nieto.

También estuvo presente el Ing. Omar Iglesias colega y amigo. El homenaje comenzó con las palabras del Sr. Académico Presidente Luis Lima, quien señaló con hondo pesar la lamentable pérdida y remarcó la importancia de continuar con la obra y trayectoria que Miguel de Santiago había dejado, llevando adelante sus líneas de pensamiento y convocando a personas con capacidad y compromiso. También destacó el rol de Miguel como Jefe del Departamento de Ing. Química, durante el mandato del Ing. Luis Lima como Decano de la Facultad de Ingeniería. A su vez procedió a dar lectura a la carta enviada por su hermano el Ing. Enrique Lima, quien fuera discípulo del Ing. De Santiago y que se encuentra radicado en Brasil. De la lectura surgieron los logros obtenidos por el Ing. de Santiago en circunstancias que fueron muy difíciles en el país. El Ing Lima en su carta comentó que "como profesor, de Santiago imponía (y le teníamos) mucho respeto. Como colega no imponía, pero le seguíamos teniendo mucho respeto por sus cualidades de dirigente, además, claro, de las de docente e investigador. De Santiago fue aquel que consiguió reunir un grupo de jóvenes docentes con dedicación exclusiva a la docencia y a la investigación; una cosa poco común en las universidades iberoamericanas de aquella época. Al comienzo de los años 70 se tenían muchas esperanzas con

relación a la consolidación y crecimiento de ese grupo de docentes-investigadores, que era fuertemente incentivado con frecuentes visitas de importantes nombres internacionales de esa categoría de ingenieros químicos (docentes-investigadores); los principales visitantes provenían de universidades norteamericanas y europeas. Por otro lado, contando con la ayuda del BID, estaba prevista la construcción de un moderno edificio para el DIQ, con las dimensiones y las facilidades necesarias al crecimiento y al desarrollo esperados. De Santiago era el motor de esas actividades. Entre ellas también se deben incluir los constantes esfuerzos para que los docentes mejorasen su formación a través de estadías en universidades extranjeras de renombre, lo que ciertamente no era facilitado por la falta de becas nacionales para el área de ingeniería química". El Ing. Enrique Lima en su carta destacó que las circunstancias político/económicas del país impidieron que esas realizaciones de concretasen, concluyendo con la siguiente reflexión: "Miguel de Santiago marcó muchos aspectos de mi vida y con seguridad los de un enorme número de profesionales, no solamente de la ingeniería química."

Por otra parte el Ing. Omar Iglesias pronunció palabras muy elogiosas y con una muy alta carga de afecto en los conceptos volcados a la trayectoria de su colega y amigo. Vale la pena transcribir literalmente algunos de esos párrafos pronunciados por el Ing Iglesias: "...estoy aquí, para honrar a un maestro y recordar a un amigo. Hace un tiempo se tomó la decisión de llamar al edificio donde funciona el Departamento de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería de la UNLP con el nombre de quien fue uno de sus primeros egresados y su primer Jefe de Departamento. En aquella oportunidad, recordábamos esa máxima vital que dice que, en la vida, hay que plantar un árbol, escribir un libro y tener un hijo. En la vida académica del Ingeniero Miguel de Santiago se habían cumplido, con creces, las tres premisas: el Departamento era su árbol; su

producción, su libro y nosotros, que orgullosamente nos llamábamos sus discípulos, lo que resta. Se lo pudimos decir mirándolo a los ojos, porque los mejores homenajes son los que se hacen a tiempo. Ahora ya no le podremos decir nada más, ni pedirle consejos ni ayuda para resolver ningún problema. Vamos a tener que transitar lo que nos falta sin ese ladero que nos apadrinaba"

"Miguel tuvo siempre un espíritu fundacional, con aguda visión para concebir y un enorme empuje para concretar. Como alumnos, nos dejamos contagiar, junto a docentes del Departamento, de su entusiasmo por la aplicación de la informática a nuestra especialidad. Por ese tiempo, eso parecía una locura que sólo podía albergarse en los claustros de la Universidad, sin ninguna posibilidad concreta de transferirse a la Industria. Pero Miguel estaba mirando más lejos y no se equivocaba. Recuerdo su determinación para incorporar, en profundidad y con conceptos modernos, el Control Automático de Procesos en la formación del Ingeniero Químico de La Plata. "Miguel fijó las bases del Departamento convocando a figuras señeras como Smith, Aris, Takahashi y otros expertos, nacionales y extranjeros, para caminar siguiendo el camino de los mejores"

Cabe señalar que el Ing. Iglesias inició su carrera docente, como Ayudante Alumno, en la cátedra de Procesos Unitarios a cargo del Ing de Santiago, después denominada Ingeniería de las Reacciones Químicas y juntos crearon posteriormente la asignatura de Diseño Óptimo, donde el alumno se enfrentaba con problemas de solución múltiple, como lo son, en realidad, todos los planteos de la Ingeniería. Fueron también colegas en el Directorio de Petroquímica Bahía Blanca y en otros ámbitos nacionales.

El Ing. Iglesias finalizó su homenaje con una poesía de su autoría, la cual si bien fue escrita hace tiempo, se la dedicó especialmente al Ing. de Santiago.

A su vez el Académico Carlos Octtinger se refirió al Ing. de Santiago, recordando que gracias a él es que se encuentra en la Academia y fue él quien lo introdujo a participar

en la carrera de Especialización en Petroquímica, que le dio una nueva luz y orientación a su vida en el ámbito de la docencia.

En mi caso, en ese homenaje recordé con mucha emoción los antecedentes personales, académicos y profesionales del Ing. De Santiago destacando sus cualidades en todos estos aspectos y la impronta dejada en los mismos.

Particularmente guardo los mejores recuerdos del Ing. de Santiago tanto durante mi paso como alumna de grado y postgrado y luego como docente del Depto. de Ing. Química así como durante la participación en nuestra Academia de Ingeniería de la Pcia. de Buenos Aires. Recuerdo que él fue quien realizó mi presentación en 1997 cuando fui incorporada a la misma como Académica Titular.

Quiero destacar que siempre he respetado mucho la opinión del Ing. de Santiago y también le he tenido un gran afecto. El Ing. de Santiago ha sido sin lugar a dudas una figura emblemática de la Carrera de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería de la UNLP. Ha sido uno de sus primeros egresados y quien le ha dado un impulso notorio a esta especialidad en Argentina.

Destaco el esfuerzo realizado por el Ing. de Santiago al implementar el Posgrado en Ing. Química de la OEA en el año 1972 mientras fue Jefe del Depto. de Ing. Química, a través del cual vinieron de USA y Europa a La Plata excelentes profesores de nivel internacional; puedo dar testimonio de ello ya que particularmente fui una de las primeras alumnas de ese Posgrado.

Quienes hemos sido alumnos del Ing. De Santiago y luego sus colegas le estamos muy agradecidos por sus contribuciones para el avance de la Ing. Química en nuestro país y su preocupación para elevar el nivel de la carrera en la Universidad Nacional de La Plata.

Cuando se le dio su nombre aun en vida al Depto. de Ing Química fue sin duda un reconocimiento a uno de los grandes ingenieros que han egresado y trabajaron en la UNLP.

Como reflexiones finales puedo decir que el Ing de Santiago ha desarrollado una vasta carrera profesional en la cual la docencia, la investigación, y el aporte al desarrollo de la Ingeniería Química ocuparon un lugar central. La gran cantidad de cargos que ejerció tanto en la Universidad como en diferentes empresas y cargos de gestión demuestran su gran capacidad intelectual y de trabajo. Su presencia imponía respeto. Era mesurado y muy estudioso, preocupado por el crecimiento tecnológico del país.

Realizó una amplia actividad académica, fue un investigador criterioso y además desarrolló una gran tarea a nivel profesional en la Industria. Ocupó cargos destacados y sobresalió en todos ellos por su capacidad y sus claros conceptos. Siempre ha tenido ideas innovadoras, una gran personalidad y notable capacidad organizativa. Impulsó y participó en numerosas sociedades profesionales y llegó a ocupar altos cargos a nivel nacional, internacional y en la Industria. Pero por sobre todas las cosas, ha sido una excelente persona, con gran inteligencia, dedicada, trabajadora y fiel a sus principios. Siempre lo recordaremos como uno de los pilares de la Ingeniería de nuestro país.

INGENIERÍA INDUSTRIAL Y QUÍMICA



AVANCES ACTUALES Y PERSPECTIVAS DE FUTURO EN TORNO A LAS TECNOLOGÍAS DE LITIO EN ARGENTINA

ARNALDO VISINTIN¹

¹ DOCTOR EN CIENCIAS QUÍMICAS (FCE: FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS - UNLP: UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA) INVESTIGADOR (INIFTA: INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FÍSICOQUÍMICAS TEÓRICAS Y APLICADAS / CCT: CENTRO CIENTÍFICO TECNOLÓGICO CONICET: CONSEJO NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TÉCNICAS - LA PLATA) PROFESOR TITULAR REGULAR (FCE-UNLP)

INTRODUCCIÓN

En el presente artículo, se realizará una sucinta mirada técnico-económica de las tecnologías de litio (Li) en Argentina y la importancia de su desarrollo para la economía del país. Tomando como referencia que el precio de la tonelada de carbonato de litio grado batería en 2013 era de U\$S 4.000 y actualmente es de U\$S 10.000 en los mercados extranjeros y considerando que para 2022 se prevé que la producción de carbonato de litio en Argentina será de 145.000 Tn. El incremento de los ingresos resultaría insignificante comparado con el valor agregado que podría aportar el desarrollo local de nuevas tecnologías que utilicen este mineral. Por ejemplo, el precio de una batería de ion litio para un coche eléctrico ronda en este momento en los U\$S 20.000 mientras que el precio del litio metálico, obtenido en el país a nivel planta piloto, es de 120.000 U\$S/Tn.

Un gran incentivo para el desarrollo de las tecnologías de litio son las energías renovables (energía eólica y solar fotovoltaica) ya que los acumuladores de litio son uno de los dispositivos con mayor capacidad para al-

macenar esa energía. Aunque las energías renovables se usan desde hace décadas, han alcanzado su madurez plena y, además, han experimentado una caída de costo muy grande. Entre 2009 y 2019, el costo de generar electricidad con energía solar fotovoltaica cayó un 82% mientras que, en el caso de la energía eólica, el descenso fue del 39%. Esta tendencia se mantiene por lo que sería válido asumir que se convertirán en las fuentes de generación eléctrica más baratas para dos tercios de la población mundial, y en poco tiempo, lo serán prácticamente para todo el mundo. Actualmente, el costo de 1Kwh de baterías de Li en el puerto de Buenos Aires es del orden de U\$S 150 y sigue disminuyendo.

IMPORTANCIA PARA NUESTRO PAÍS

El Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) ha determinado que existen reservas de litio en 17 países. De acuerdo a su informe anual 2020, los mayores recursos se concentran en Bolivia, con 21 millones de toneladas métricas certificadas, seguido por

Argentina, con 19 millones y Chile, con 9 millones. Su distribución en el llamado Triángulo del Litio en Sudamérica se visualiza en la Fig. 1. El reporte añade que los recursos de litio en Estados Unidos son de 6,8 millones de toneladas, seguido por Australia, en el quinto lugar con 6,3 millones, y China en el sexto con 4,5 millones (1). Otra fuente de litio son las pegmatitas que, por lo general, están presentes en el mineral espodumeno [$\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$] y también puede encontrarse en los minerales petalita ($\text{LiAlSi}_4\text{O}_{10}$), lepidolita [$\text{K}(\text{Li},\text{Al})_3(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{F},\text{OH})_2$], ambligonita [$\text{LiAl}(\text{PO}_4)\text{F}$] y eucryptita [LiAlSiO_4]. Nuestro país posee importantes yacimientos en San Luis y Córdoba, pero también está distribuido en muchos países del mundo. El más abundante de estos minerales es el espodumeno (piroxeno de litio) con contenido teórico de Li de 3,73% (8,03% como Li_2O), y es la fuente mineral de Li más explotada.

El procesamiento de estos materiales comienza generalmente con la concentración a través de las operaciones de trituración, molienda y flotación por espuma, seguido de una operación de secado en un secador rotativo para producir un concentrado de espodumeno seco. Se han sugerido muchos métodos diferentes para recuperar el litio de sus minerales, pero el más utilizado es el proceso de digestión ácida. El espodumeno natural (α -espodumeno) tiene una estructura monoclinica que no está químicamente disponible para el ataque ácido. Por lo tanto, se requiere una primera etapa de conversión a β -espodumeno para asegurar la disponibilidad del litio; este proceso consiste en la calcinación del producto natural en un horno a 1050 °C durante aproximadamente 15 minutos para provocar la transformación de fase. El tratamiento térmico hace que la red cristalina se expanda, disminuyendo la densidad del mineral y po-



Fig. 1 - Distribución de los salares en América del Sur denominado Triángulo del Litio

sibilitando la extracción del litio por vía química.

En nuestro país se propuso un método alternativo para superar las desventajas que presenta el método hidrometalúrgico. El mismo consiste en el tratamiento pirometalúrgico de cloración de β -espodumeno usando como agente clorante el cloruro de calcio (CaCl_2). Además, se ha encontrado que el CaCl_2 es el agente clorante más eficaz en presencia de sílice. Así, el CaCl_2 se evaluó como un agente clorante en la cloración β -espodumeno para extraer litio como cloruro de litio (LiCl) (2).

¿POR QUÉ TECNOLOGÍAS DE LITIO?

La finalidad de este artículo no es establecer la necesidad imperiosa de desarrollar las tecnologías de litio en Argentina, aunque los adelantos realizados en los últimos años en Ciencia y Técnica en el país lo permitirían, sino dar cuenta de la importante explotación de sales de litio que se produce en algunas provincias del país. A partir de ella, Jujuy, Salta y Catamarca, actualmente generan algunas ganancias, las que podrían incrementarse mejorando la negociación con las compañías multinacionales que explotan esos recursos.

La otra alternativa a explorar sería fomentar que, a semejanza de lo que históricamente se hace con la industria agrícola-ganadera en el país, las empresas argentinas inviertan en este importante rubro generando tecnologías que permitan incrementar en un orden de magnitud el valor agregado del producto extraído, desarrollando productos que, con las condiciones técnicas-profesionales existentes, estaríamos en condiciones de realizar.

NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LOS POSIBLES USOS DEL LITIO DEL NOA

Entre las nuevas tecnologías del litio proveniente de la explotación en el Noroeste Argentino pueden mencionarse: a) la producción de litio metálico, b) el almacenamiento

de hidrógeno, c) su aplicación en el área nuclear y d) el desarrollo de baterías para almacenamiento de electricidad. Un breve detalle de cada una de ellas se explicita a continuación:

Producción de litio metálico: su obtención se logra mediante electrólisis, a partir de sales fundidas de cloruro de litio y cloruro de potasio, con un consumo teórico de electricidad de 28-32 kWh/kgLi, temperaturas de 400-460° C y un voltaje teórico de 3,68 V. Con esta tecnología, 100 % nacional, se pueden obtener hasta 200-300 kgLi/día y, además, como producto anódico de la electrólisis cloro gaseoso para producir hipoclorito.

Almacenamiento de hidrógeno: el litio en forma de complejos, permite el almacenamiento de hidrógeno en un porcentaje mucho mayor que el alcanzado como hidruro metálico. El boro hidruro de litio es uno de ellos y tiene la capacidad de almacenar más del 10 % en peso de hidrógeno, es decir cuatro veces más que los hidruros convencionales. Sin embargo, por el momento, no está resuelto el problema de la irreversibilidad de la reacción.

Aplicación en el área nuclear: la separación de isótopos de litio es una tecnología de futuro donde tanto el Li-6 como el Li-7 juegan un rol muy importante en la fusión atómica. Sin embargo, un factor limitante para llevar a cabo la fusión nuclear es la disponibilidad del isótopo ^6Li . Si bien ^6Li y ^7Li se encuentra naturalmente en la Tierra, el ^6Li representa sólo el 7,5% del total. En consecuencia, para obtener el combustible adecuado para los reactores nucleares del futuro se requieren procesos optimizados de separación isotópica a escala industrial.

Baterías para almacenamiento de electricidad: hay un futuro promisorio para el almacenamiento de energía con baterías ya que el número de proyectos en el mundo continúa creciendo; a principios de 2019 se alcanzó una capacidad de almacenamiento de 15,2

GW. La región de Asia y el Pacífico encabeza la producción.

De lo anterior surge que la energía es un recurso estratégico para el desarrollo socio-productivo de un país. En particular, las baterías de ion Li representan un sistema importante de almacenamiento de energía eléctrica, creando así grandes expectativas sobre su utilización como fuente de potencia para las energías alternativas intermitentes como la solar y la eólica. Su capacidad de almacenamiento de energía, tanto gravimétrica como volumétrica, es superior a la de los sistemas convencionales, tales como las baterías de Plomo y/o Níquel/metal hidruro, entre otras. Estas características han impulsado su utilización como fuente de energía de artefactos portátiles y automóviles eléctricos, lo que supone una apertura mucho mayor en el mercado.

En el campo de las baterías de ion litio las investigaciones actuales se centran en el diseño y preparación de compuestos que permitan desarrollar materiales activos que presenten curvas características con mayor capacidad a altas y bajas corrientes de carga y descarga, lo que daría mayor estabilidad y vida útil a estos dispositivos.

Las baterías de ion Li se caracterizan por tener: a) alta energía específica, alcanzan 180 Wh/Kg, y consecuentemente, alta densidad de energía volumétrica (350 Wh/L), b) larga vida útil bajo ciclado de carga–descarga y c) pocos problemas de seguridad, ya que no poseen litio metálico en su composición. Lo que las convierte en un excelente complemento para las tecnologías de hidrógeno, dando lugar a los sistemas híbridos en los que se combinan celdas de combustible (poseen mayor energía) y baterías de litio (presentan mayores densidades de potencia).

Por otra parte, en el desarrollo de baterías a ser utilizadas como fuente de potencia de automóviles eléctricos, los nuevos estudios se centran en la generación de materiales de electrodo que presenten buena respuesta a altas corrientes de descarga y al uso de fosfatos de hierro y litio que poseen estructuras de olivinas que le conferirían la capa-

cidad de drenar energía a altos valores de corriente.

El desarrollo de estas tecnologías constituye una gran oportunidad para nuestro país debido a que, como ya se mencionara, el 85 % de las reservas mundiales de litio proveniente de salinas se encuentran en Bolivia, Chile y Argentina.

Con el fin de usufructuar localmente los grandes reservorios de litio que existen en el territorio nacional, para dar valor agregado a nuestras materias primas y poder realizar la sustitución de importaciones, es fundamental profundizar en la investigación tecnológica de las baterías de litio. En este sentido, se considera muy importante continuar con la caracterización física y electroquímica de diferentes materiales activos que podrían ser usados como cátodo y ánodo de estas baterías, tales como compuestos de LiFePO_4 y carbón.

NUEVAS TECNOLOGÍAS EN BATERÍAS Y ELECTRODOS EN ARGENTINA Y EN EL MUNDO

Para el desarrollo de tecnologías avanzadas de almacenamiento electroquímico de energía, particularmente baterías de ion litio, se requiere el desarrollo de materiales de electrodo de alto rendimiento. Para ello, se utilizarán diversas técnicas que permiten optimizar la microestructura de los materiales y abordar aspectos concretos de desarrollo, tales como la optimización de su potencia específica, velocidad de recarga y durabilidad.

Las baterías de Litio son sistemas electroquímicos basados en el uso de materiales de intercalación. Estas baterías operan por intercalación de cationes Li^+ en el cátodo constituido por compuestos del tipo Li_xMO_2 , siendo MO_2 óxidos de metales de transición (MnO_2 , LiCoO_2 , LiNiO_2 , V_6O_{16}). Estos materiales se caracterizan por tener una pequeña fuerza de enlace y no presentar modificaciones estructurales apreciables durante la reacción de carga/descarga.

Últimamente, por su excelente comporta-

miento en servicio, también han alcanzado gran auge, los materiales basados en fosfatos de hierro, litio y espinelas de manganeso, por su alto potencial y gran densidad de energía de las baterías. Particularmente, el LiNiCoMnO_2 rico en níquel (NCM) dio lugar a las familias de NCM, tales como NCM 333 y NCM 523 que permitieron desarrollar los NCM 622 y NCM 81, que son los elegidos por la industria automotriz para los vehículos eléctricos.

En la Fig. 2 se presenta la relación entre el potencial electroquímico, representativo de la densidad de potencia de la celda, versus su capacidad (energía) para los diversos materiales en uso en las baterías de Li. Como puede observarse, el espectro de comportamientos es amplio. A la izquierda se ubican los materiales de baja energía, que son utilizados en las baterías convencionales de uso común en el transporte y, hacia la derecha, se ubica un sinnúmero de nuevos desarrollos que claramente presentan mayor densidad de potencia y energía. Las baterías convencionales de Li son capaces

de conferir al transporte que alimentan una autonomía menor a 200 km por carga. Vale mencionar que los esfuerzos realizados para mejorar la performance de este tipo de baterías no sólo se orientaron al desarrollo de nuevos materiales, capaces de aportar alta potencia y capacidad, sino también a la optimización del diseño y el ensamblado de los nuevos dispositivos.

Otro aspecto no menor a considerar en el caso de las baterías de Li está relacionado con el reciclado de las mismas. Cuando luego de un determinado número de ciclos de carga y descarga su capacidad se reduce a menos del 80% de su carga inicial, deja de ser apta para su uso original, pero podría ser usada como reserva en domicilios o instalaciones que cuenten con instalaciones de energía alternativa primaria, solares, eólicas e hidráulicas, lo que permitiría incrementar su vida útil y reducir el impacto ambiental que generaría su temprano desecho.

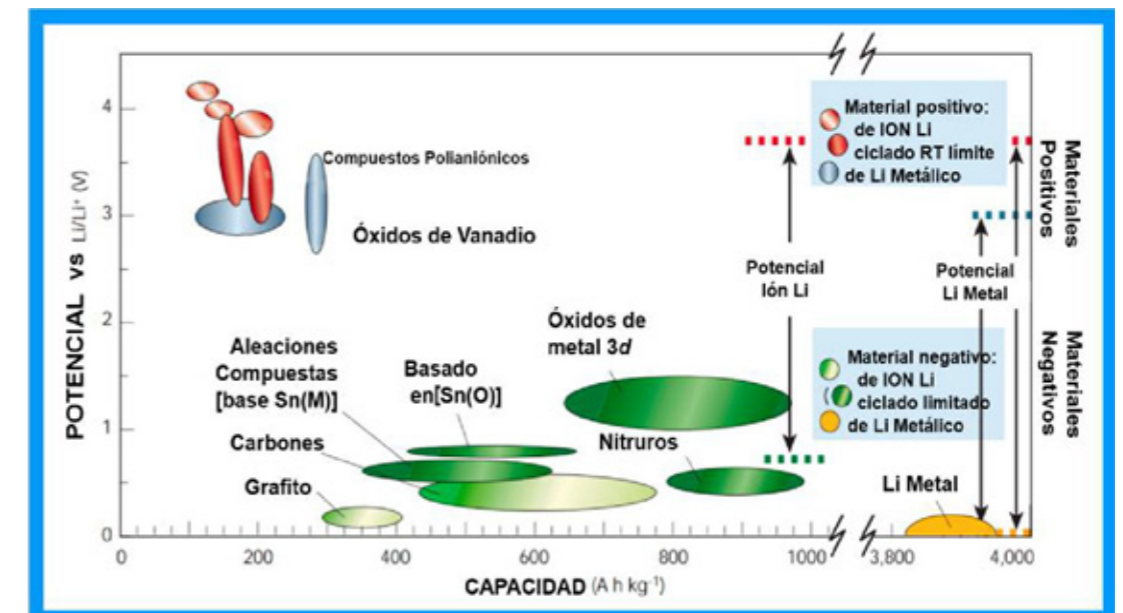


Fig. 2 - Capacidad versus potencial para las distintas composiciones de las baterías de litio (2).

BATERÍA DE IONES DE LITIO DE ESTADO SÓLIDO

Este nuevo tipo de baterías, que aún está en desarrollo, tiene como objetivo fundamental aumentar la energía específica, la densidad de energía, la potencia específica, la eficiencia energética y la retención de energía del almacenamiento electroquímico de estos dispositivos. Su estructura geométrica es muy simple, ánodo de metal Li – electrolito sólido ($\beta\text{-Li}_3\text{PS}_4$) – cátodo de metal activo tipo $\text{Ni}_0.6\text{Co}_0.2\text{Mn}_0.2$. Al no tener separadores ni electrolitos líquidos es posible conseguir alrededor del 95% de la densidad de energía teórica de los materiales activos.

El reciente descubrimiento de nuevos tipos materiales, particularmente a base de tiofosfato, permitió el desarrollo de electrolitos sólidos con alta conductividad iónica, lo que ha incrementado el interés en el desarrollo de la batería de estado sólido. Respecto a este tipo de baterías John B. Goodenough (premio nobel de química 2019) y su equipo de la Universidad de Texas, publicaron un artículo en la Revista Energy and Environmental Science (2017, 10, 331) donde presentaron el desarrollaron de una batería de

estado sólido de bajo costo, no inflamable, con una larga vida en ciclos de carga, alta densidad energética y con altas velocidades de carga y descarga. Goodenough y su colega portuguesa María H. Braga tienen la patente de los electrolitos de estado sólido.

BATERÍAS DE LITIO-AZUFRE

La batería de litio-azufre, esquematizada en la Fig. 3, presenta ventajas con respecto a la actual tecnología de ion litio, particularmente por tener una capacidad teórica de 2.600 Wh/kg, lo que ha suscitado un gran interés en esta línea de investigación. Se espera que estas baterías alcancen una capacidad operativa de 600 Wh/kg, casi tres veces superior a los aproximadamente 200 Wh/kg que en promedio entregan las baterías de ion-litio.

Sin embargo, por el momento no todo está resuelto para este tipo de baterías, la química del sistema es compleja y es aún necesario resolver sus desventajas. En el funcionamiento normal de esta batería se generan polisulfuros complejos que ocasionan pérdida de material al migrar al otro electrodo. Como el azufre es un aislante, el cátodo

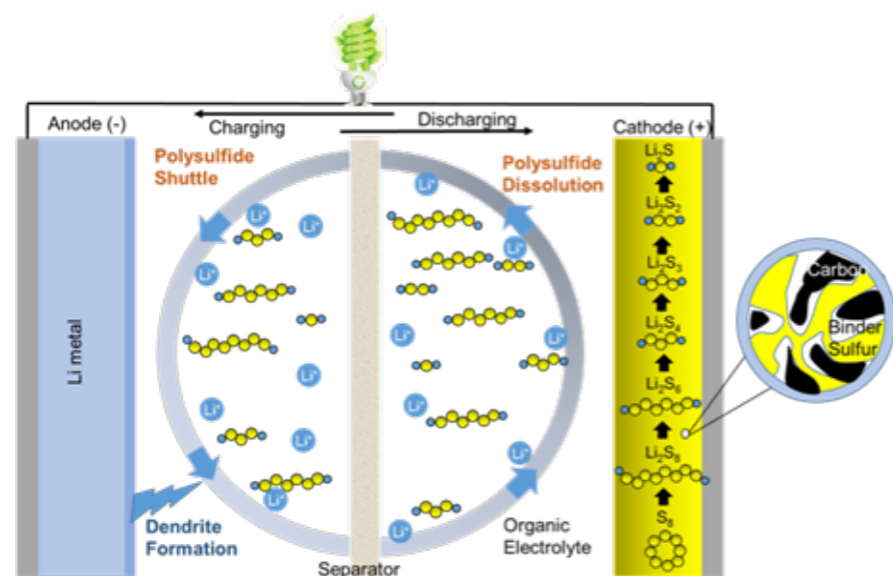


Fig. 3 - Esquema de funcionamiento de una celda de litio azufre.

debe contener un aditivo conductor para mantener el contacto eléctrico del azufre con el colector de corriente. Por otro lado, si bien el ánodo de litio metálico tiene la ventaja de tener una alta densidad de energía, tiene problemas en su funcionamiento debido a la formación de dendritas que perforan los separadores y producen cortocircuitos. El abordaje de la resolución de estos problemas involucra varios campos de la ciencia, razón por la cual el desarrollo de este tipo de baterías se encuentra todavía a escala piloto. (5)

No obstante ello y considerando que el cátodo de azufre es de bajo costo, este dispositivo se presenta como la batería del futuro para autos eléctricos y Wi-Fi.

TRANSPORTE ELÉCTRICO

Los vehículos eléctricos, que hace unos años solo eran sofisticaciones para la movilidad urbana, en la actualidad se venden por millones. En 2020, se matricularon más de tres millones de vehículos eléctricos en el mundo, 1.300.000 de ellos en Europa, donde han alcanzado una cuota de mercado cercana al 10%. Ya hay grandes ciudades en China donde todos los autobuses son eléctricos, mientras que en muchas ciudades de Europa se tiende a que en un futuro próximo todo el transporte público sea eléctrico.

En la última década, el precio del 'pack' de baterías de litio, fuente de energía de los vehículos eléctricos, ha caído un 89% y se prevé que esta tendencia se acelere en el futuro cercano, lo que permitirá que esta tecnología sea competitiva.

Una prueba del éxito que está teniendo la movilidad eléctrica la da el propio mercado: a modo de ejemplo se menciona el reciente desarrollo realizado por Elon Musk, director general y máximo accionista de Tesla, que tiene autonomía de más de 500 Km con una sola carga (equivalente a la alcanzada con un tanque de nafta) y está siendo vendido en forma masiva en EEUU.

Las fotos presentadas en la Fig. 4 muestran el Tesla Model 3 Performance, modelo 2020 utilizado masivamente en Seattle, EEUU, zona del país donde la población está muy comprometida con los temas de conservación del medio ambiente. Cuenta con dos motores, 252 HP (188 kW), 197 HP (147 kW), la carga de la batería en condiciones normales insueme entre 6-7 h pero, alternativamente, podría usarse un "supercargador" (Fig. 5) que permitiría completar la operación en 40 minutos. El costo del kWh en ese Estado es de 10 centavos de dólar, por lo que la carga completa de una batería de 75 kWh cuesta U\$S 7,50 y permitiría una autonomía de 518 km. Lo que resulta muy ventajoso respecto a los U\$S 65 que implicaría cargar un tanque

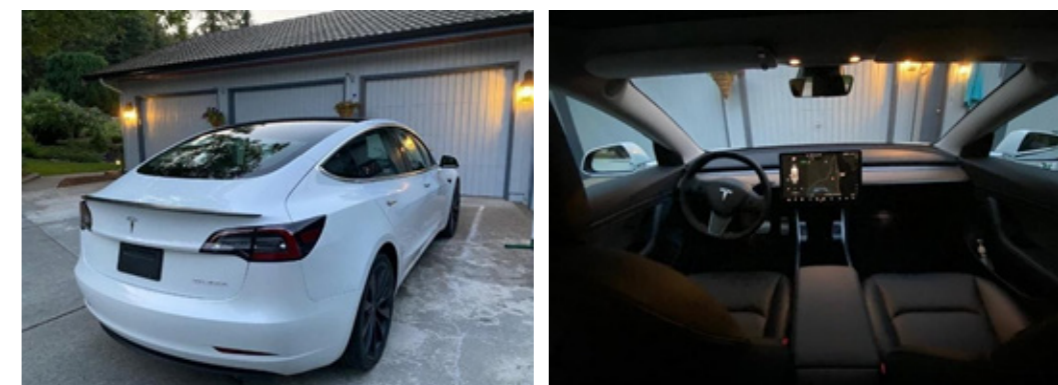


Fig. 4 - Tesla Model 3 Performance



Fig.5 - Supercargadores para carga rápida, que se encuentran esparcidos por todo el país.

de nafta de un coche a combustión, como por ejemplo un Jeep.

La batería de litio se ofrece con una garantía de 8 años y cuando su capacidad se reduce al 80 % puede ser reciclada para otros usos domiciliarios, por ejemplo, ser UPS domiciliario; su costo de reposición es de U\$S 5000.

CONCLUSIONES

Si bien las importantes reservas de Litio con que cuenta Argentina permiten generar recursos a partir de la explotación de dichos yacimientos, un tema a debatir es si no resultaría significativo para la economía del país hacer uso de los recursos científico-tecnológicos de alto nivel con los que cuenta para desarrollar tecnologías avanzadas que permitan conferir a estas riquezas un alto valor agregado. Si bien esto no resulta una necesidad imperiosa sería de interés que se analizaran los posibles beneficios a obtener como resultado de estas actividades.

La pregunta en debate sería ¿podríamos competir con los precios de Asia?, lógico que no, ya que ellos han invertido miles de millones de dólares en desarrollo en los últimos 20 años. Sin embargo, nos enfrentaremos al gran reto de ser además de un país agroexportador y exportador de minerales

con mínimo tratamiento, un país exportador de productos manufacturados con alto valor agregado.

REFERENCIAS

1. PANORAMA ACERCA DEL MERCADO DEL LITIO, R. ET-CHEVERRY Y OTROS CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LAS FUENTES ACTUALES Y POTENCIALES DE OBTENCIÓN DE LITIO EN LA REPÚBLICA ARGENTINA. EL LITIO EN LA ARGENTINA: VISIONES Y APORTES MULTIDISCIPLINARIOS DESDE LA UNLP, F. J. DÍAZ (COORDINADOR), ISBN 978-987-8348-83-4, 2021.
2. EXTRACCIÓN DE LITIO DE β -ESPODUMENO MEDIANTE TRATAMIENTO TÉRMICO CON CLORURO DE CALCIO, LUCÍA BARBOSA Y OTROS, EL LITIO EN LA ARGENTINA: VISIONES Y APORTES MULTIDISCIPLINARIOS DESDE LA UNLP, F. J. DÍAZ (COORDINADOR), ISBN 978-987-8348-83-4, 2021.
3. ISSUES AND CHALLENGES FACING RECHARGEABLE LITHIUM BATTERIES ARTICLE, J.-M. TARASCON, M. ARMAND, NATURE, 2001.
4. QU Y OTROS, ADV. MAT. TECHNOLOGIES, 2018, 3, 9, DOI: 10.1002/ADMT.201700233.
5. RESEÑA TECNOLÓGICA DE LAS BATERÍAS LITIO/AZUFRE, ESTUDIOS EN CURSO PARA SATISFACER LAS DEMANDAS FUTURAS, N. HOFFMAN Y OTROS, EL LITIO EN LA ARGENTINA: VISIONES Y APORTES MULTIDISCIPLINARIOS DESDE LA UNLP, F. J. DÍAZ (COORDINADOR), ISBN 978-987-8348-83-4, 2021.

INGENIEROS DEL FUTURO



GIANLUCA LOMBARDO

PRESENTACIÓN

Mi nombre es Gianluca Lombardo, tengo 24 años y estudio Ingeniería Mecánica en la Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires (UNNOBA). Tengo la suerte de ser oriundo de Junín, ciudad en la que la Universidad tiene una de sus sedes; siempre digo que soy un afortunado por vivir en una ciudad donde se encuentre una universidad nacional, ya que, de otra manera hubiera sido muy complicado estudiar esta carrera de la cual hoy soy un apasionado.

Vivo con mi hermano y mi papá, a quienes agradezco todo el apoyo que me han brindado durante mi carrera universitaria. Mis hobbies son la ingeniería, la pesca y el tenis de mesa.

He finalizado mis cursadas en diciembre del 2020; me resta aprobar solo 5 exámenes finales y mis prácticas profesionales para la obtención del título tan anhelado, que espero sea en este 2021. Actualmente, soy becario CIN en el proyecto "Aceros avanzados de alta resistencia para uso en hormigón estructural" en el Laboratorio de Ensayos de Materiales y Estructuras (LEMEJ) de la UNNOBA. Por otro lado, desde hace un tiempo me encuentro realizando mis primeras experiencias laborales en LP Vidrios, una empresa ubicada en el parque industrial de Junín destinada a la importación, el proceso

y la distribución mayorista de vidrios, la cual me permite ir aplicando los conocimientos adquiridos durante la carrera.

ASPECTOS

- Desde chico tenía interés en trabajar en la industria, me encantaba ver programas televisivos en los que muestran el proceso de elaboración de los productos. Mi interés por la física, la matemática y la oferta académica de la UNNOBA me llevaron a ingresar en Ingeniería Mecánica. Al comenzar mis estudios no tenía muchas expectativas, por el contrario, dudaba sobre si sería capaz de afrontar la carrera y si la misma era realmente lo que buscaba; con el transcurso de las cursadas rápidamente sentí que estaba en la carrera correcta ¡Hoy soy un apasionado de la misma!

- Deseo desarrollarme en el área de la generación de energía, principalmente en la investigación y desarrollo de aerogeneradores, aunque también poseo interés en la industria manufacturera. Mi trabajo ideal sería aquél que me permitiera viajar alrededor del mundo en busca de conocimientos y experiencias. El campo de aplicación de la ingeniería es muy amplio, cuando egrese me

imagino experimentando en varios trabajos, me encantan los grandes desafíos y considero que podría desempeñarme en lo que sea. En la actualidad, tal como ya mencioné, me encuentro trabajando en LP VIDRIOS. Mi actividad dentro de la empresa está enfocada en la redacción de manuales de procedimientos para los distintos sectores, basados en la norma ISO 9001; hay mucho trabajo para hacer y mucho por aprender, por eso estoy agradecido de tener esta oportunidad de ir aplicando los conocimientos adquiridos en el transcurso de la carrera.

- Durante mis años de estudios la Universidad fue mi segundo hogar, he llegado a pasar más horas en la misma que en mi casa. La vida universitaria me ha brindado muchas experiencias que permanecerán conmigo, como viajes, congresos, cursos, proyectos de investigación y extensión, y sobre todo, mucho aprendizaje y amistades.

En cuanto al plan de estudios propondría por un lado, la implementación de herramientas digitales como AutoCAD y SolidWorks que, si bien son utilizados en algunas cátedras, el tiempo disponible en las mismas no permite destinarle las clases necesarias, y por el otro, talleres o asignaturas destinadas al desarrollo de habilidades blandas; hoy día no trabajar en equipo es algo imposible de imaginar y estas habilidades de relación y comunicación social son de gran importancia para el desarrollo integral de las personas.

- Quiero aprovechar este espacio para agradecer a todas las personas que me han acompañado en mi vida académica, principalmente a mi familia por el apoyo incondicional de todos estos años. También agradecer al personal de la UNNOBA que integra el Laboratorio de Ensayos de Materiales y Estructuras (LEMEJ), al del Laboratorio de Mecánica, y a los docentes por todas las oportunidades que me brindaron para participar en diversos proyectos que han aportado muchos conocimientos a mi carrera profesional.

Para cerrar, quiero dejarles un mensaje a todas aquellas personas que están pensando en estudiar, cualquiera sea la carrera, el camino puede verse muy largo al principio, pero es maravilloso notar tu propio cambio a través de las experiencias. Estudien a su tiempo y sin desesperarse, vivan y sean felices aprendiendo lo que les gusta.

Una buena educación, es sin dudas, un regalo para toda la vida.



JULIA CANTANDO

PRESENTACIÓN

Mi nombre es Julia Cantando, tengo 24 años y estudio Ingeniería Electricista en la Universidad Nacional de La Plata (UNLP). Vivo en La Plata ciudad en la que nací. Mis padres son de Balcarce, una ciudad del interior de la provincia de Buenos Aires. Como muchos estudiantes, mi papá vino a la ciudad de La Plata para estudiar y terminó formando su familia acá. Actualmente vivo con mi mamá, mi papá y mis dos hermanas.

En cuanto a lo académico, me restan 2 materias y el trabajo final para recibirme, teniendo como fecha estimada de graduación mediados de este año 2021. En la FI de la UNLP es necesario realizar unas 250 horas de prácticas profesionales supervisadas, las mismas las realicé en YPF como pasante de Gestión Energética.

La ingeniería eléctrica es mi pasión, pero así también lo es el deporte. Desde mis 7 años practico Handball en el club Estudiantes de La Plata. A lo largo de tantos años en el deporte, tuve la posibilidad de vivir experiencias inolvidables, tales como formar parte de la Selección Argentina de Handball Junior, participar en competencias internacionales y en varios torneos nacionales.

1) ¿Cuál fue su motivación para estudiar la especialidad de Ingeniería que finalmente

eligió? ¿Cuáles expectativas tenía al iniciar los estudios?

Desde muy pequeña la ingeniería y la electricidad formaron parte de mi vida. Mi padre estudió en la UNLP Ingeniería Electricista y me transmitió su pasión por la carrera. Verlo trabajar siempre me generó mucho interés, pero fue hasta la secundaria, que comprendí que mi mayor interés estaba en la generación de energía eléctrica.

En un principio la energía nuclear acaparó toda mi atención, sin embargo, a la hora de elegir una especialidad opté por la Ingeniería Electricista ya que tiene un enfoque más global y permite conocer no solo un tipo de generación sino también su distribución, transmisión y los distintos tipos de instalaciones eléctricas entre otras cosas.

Al comenzar la carrera, mis expectativas estaban en conocer en profundidad el mundo de la generación de energía eléctrica, sin embargo, con el correr de los años mi interés mutó por los sistemas de potencia. La Facultad de Ingeniería de la UNLP cuenta con varios Laboratorios como el IITREE y el LEME, por lo que a lo largo de la carrera muchos de los docentes son investigadores en los mismos y cuentan con una gran experiencia en su especialidad, lo que hace que

los alumnos estemos en contacto con profesionales de primer nivel.

Cuando comencé la carrera en el año 2015, era la única mujer en esta especialidad, no fue hasta cuarto año que conocí otras dos compañeras. Por suerte tener como Directora de Carrera a la Ing. Patricia Arnera y como profesora a la Ing. Beatriz Barbieri, fue una gran motivación, siendo grandes profesionales en un mundo muchas veces considerado de hombres.

2- ¿Qué tipo de actividad/trabajo desearía desarrollar cuando egrese? ¿Cuál sería la actividad/trabajo que cree que va a realizar cuando egrese? Si ya está trabajando, ¿puede hacer un comentario sobre la actividad profesional que realiza?

Al finalizar la carrera, me interesa involucrarme en el mundo de los sistemas de potencia como también me gustaría trabajar en el diseño de líneas de transmisión y estaciones transformadoras. La ingeniería eléctrica tiene una salida laboral muy variada, por lo que sin dudas me gustaría poder experimentar varios rubros desde un enfoque práctico y que me permita crecer en aspectos no solo técnicos.

Durante el año 2020 me desempeñe como pasante de Gestión Energética en la empresa YPF S.A., fue una gran experiencia que me permitió aprender como es el mundo de las grandes empresas, mucho sobre la industria del petróleo y el trabajo en equipo con profesionales de otras especialidades. Mis principales tareas como pasante fueron: el seguimiento mensual de la actividad de Gestión Energética, el seguimiento de los principales Equipos Consumidores de Energía, el seguimiento de los precios de Energía Eléctrica, la realización de tableros de visualización de indicadores, entre otras tareas.

3- ¿Qué aspectos quisiera destacar de su recorrido en la Facultad/Universidad? (Aspectos positivos y dificultades). ¿Qué propondría respecto del plan de estudios de su carrera?

Me gustaría destacar el rol activo de la Facultad en el acompañamiento de cada estudiante. Desde mi experiencia personal, contar con áreas de esparcimiento, áreas de estudio (como la biblioteca y la sala de computación) fue un factor clave para poder concretar muchas de las metas académicas. También el rol de cada docente es muy importante, en la carrera Ingeniería Electricista los docentes son personas muy accesibles y dispuestas a enseñar en todo momento. En la facultad conocí grandes compañeros y amigos que sin dudas hicieron este camino divertido y lleno de anécdotas.

En el año 2020, comencé a formar parte de la Comisión de Carrera como representante alumno, lo que me permitió conocer en profundidad como funciona el Departamento de Electrotecnia, como se definen los reglamentos de cursada, entre otras cosas. Respecto al plan de estudios, propondría un enfoque mas práctico en varias materias, esto lo menciono porque yo me encuentro cursando el plan de estudios del año 2002. El mismo se cambió en el año 2018 y se que se han modificado varias cosas. Una de ellas que me resulta importante destacar son las actividades de formación complementaria las cuales buscan acercar al alumno a la práctica, enriqueciendo muchísimo su formación. Otra cuestión que se modificó y resulta una gran mejora al plan, es el acercamiento de materias relacionadas con la especialidad desde el primer año, cosa que en el plan del año 2002 no pasaba hasta el tercer año de cursada.

4- Puede añadir los comentarios que considere conveniente.

Como comentario final, me gustaría aprovechar para destacar y agradecer el gran esfuerzo que realizaron todos los docentes y alumnos durante la virtualidad, siendo un momento de mucha incertidumbre, todos nos esforzamos para poder sacar lo mejor de esta situación y sin dudas se obtuvieron excelentes resultados.

También aprovecho para incentivar a todas

aquellas personas que estén interesadas en estudiar Ingeniería Eléctrica, a investigar y animarse a formar parte de este mundo apasionante y en constante crecimiento.

Por último, hago un reconocimiento especial a la universidad pública, gratuita y de calidad que será el motor para el desarrollo de nuestro país.



ANA CLARA GRAFF

Mi nombre es Ana Clara Graff, tengo 24 años y estudio Ingeniería Química en la Universidad Nacional del Sur en la ciudad de Bahía Blanca. Soy oriunda de Coronel Suárez, una pequeña ciudad situada a 200 km. Al terminar la secundaria me mudé para poder comenzar mis estudios universitarios.

Actualmente me encuentro finalizando la carrera, específicamente, retomando las prácticas del último laboratorio que tengo pendiente para poder graduarme. Además, durante todo el presente año estoy realizando una pasantía en una empresa de Bahía Blanca, llamada Suez WTS.

La decisión de mudarme a otra ciudad no fue fácil, si bien yo tenía en mente estudiar en la Universidad, son muchos los factores a evaluar, siendo el más importante, el apoyo familiar. En mi caso, soy la primera generación de mi familia en estudiar una carrera universitaria, por lo que hubo grandes expectativas y mucho soporte por detrás.

Al iniciar mis estudios todo era tan ajeno para mí, no era mucha la información ni los comentarios que tenía sobre la universidad. Desconocía por completo en qué se desempeñaba un ingeniero químico o en qué consistía estudiar la carrera en sí. Elegí la carrera porque me gustaba la asignatura Química en la secundaria y todo lo relacionado a un laboratorio. Hoy en día me gusta la salida laboral vinculada a procesos químicos e industria. Y me proyecto trabajando en una

empresa donde pueda seguir aprendiendo y ganando experiencia.

Respecto del plan de estudios de la carrera opino que podría tener más acercamiento a la práctica. Por ejemplo que se propongan desde las cátedras visitas a empresas, mostrar equipos e instalaciones para algunos procesos, comentar y llevar a debate problemas reales que un ingeniero químico puede encontrarse cotidianamente en su trabajo, entre otras.

Durante mis años de estudio busqué todo el tiempo actividades extracurriculares para hacer. No quería ni puedo ser tampoco de esas personas que solo estudian y no les queda tiempo para nada más. Desde chica soy Guía así que al llegar a Bahía Blanca busqué un lugar donde seguir con los encuentros y enseguida me adapté al grupo, eso implicaba fines de campamento, sábados de actividades, días de semana con reuniones...menos tiempo de estudio pensarán algunos, pero para mí era una distracción y, además, un grupo de amigas que me apoyan y acompañan en todo.

Cursando mi cuarto año de carrera me llega la invitación para formar parte de la comisión de ABEIQ, Asociación Bahiense de Estudiantes de Ingeniería Química. Acepté muy contenta por la oportunidad de conocer gente nueva, reencontrarme con amigos y trabajar para los y las estudiantes. Integré esa comisión por tres años y organizamos logística

para viajar a congresos de estudiantes, jornadas tanto de estudiantes de diversas ingenierías de la UNS como de estudiantes del Departamento de Ingeniería Química, cursos sobre temas de interés para la ingeniería química o sobre habilidades blandas, visitas a empresas de la ciudad, fiestas y cenas con el objetivo de integrarnos, entre tantas otras cosas. Recuerdo esa experiencia con mucho cariño porque amigos muy cercanos llegaron a mi vida mediante ABEIQ, por ayudarme a dejar de lado la timidez que tenía en la universidad y soltarme un poco más y por haberme dado tantos aprendizajes.

En 2019 se me cruza por la mente la idea de irme de intercambio académico a otro país. Sin darle demasiada vuelta me postulé y, al tiempo, recibo la noticia de que había quedado seleccionada para irme a Colombia. Todo nuevo para mí, y para mi familia aún más. Así se fue dando todo que en enero del 2020 estaba por tomarme el primer avión de mi vida que me llevaría a Colombia, Cali por seis meses, fuera de casa, lejos de todo. Disfrute un mes y algo allá, conociendo gente, la ciudad y la cultura hasta que declararon emergencia sanitaria y tuve que encerrarme por tres meses hasta que quede seleccionada para volver en un vuelo de repatriación. Cada vez que alguien me pregunta sobre mi experiencia no tengo muchas anécdotas ni historias lindas para contar pero me quedo con la valentía que tuve para irme seis meses lejos de casa y el tiempito que pude disfrutar y conocer.

Ahora, muy cercana a recibirme, tengo nostalgia por todos estos años que pasaron de estudio, mates en el patio de la UNS, amistades, congresos, jornadas, pero me llevo todo eso y mucho más y estoy orgullosa de lo que viví y de todo lo que hice en el medio para hacer de mi estadía lejos de mi familia un poco más amigable y acogedora.

COMITÉ EDITORIAL N° 1

En la elaboración de los contenidos de este número han participado los siguientes Académicos Titulares:

- Ing. Armando De Giusti
- Ing. Cecilia I. Elsner
- Ing. Luis J. Lima
- Ing. Raul A. Lopardo
- Ing. Carlos H. Muravchik
- Ing. Carlos Octtinger
- Ing. Pablo L. Ringeni
- Ing. María I. Valla
- Ing. Noemí E. Zaritzky

EQUIPO EDITORIAL

Periodistas

Valentín Altavista
Leopoldo Actis Caporale

Diseñadora

Abril Buffarini

ACADEMIA DE LA INGENIERÍA DE LA PROV. DE BUENOS AIERS

MESA DIRECTIVA

Presidente

Ing. Patricia L. Arnera

Vicepresidente

Ing. Armando E. De Giusti

Secretario

Ing. María Inés Valla

Prosecretario

Ing. Alberto Venero

Tesorero

Ing. Pedro E. Battaiotto

Protesorero

Ing. Roberto M. Flores

ÓRGANO DE FISCALIZACIÓN

Revisor de cuentas

Ing. Noemí E. Zaritzky

Revisor de cuentas

Ing. Victorio Hernández Balat

ACADÉMICOS TITULARES

Arnera, Patricia Liliana
Bacchiega, Jorge Daniel
Barbero, Aníbal Jorge
Battaiotto, Pedro Eduardo
Blasco Diez, Julio A.
De Giusti, Armando Eduardo
Elsner, Cecilia Inés
Flores, Roberto M.
Giovambattista, Alberto
Hernández Balat, Victorio
Igolnikow, Roberto
Lima, Luís Julián
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
Zaritzky, Noemí Elisabet
Zerbino, Raúl Luís

 **IN-GENIUM**
CONOCIMIENTO Y APLICACIONES DE LA INGENIERÍA


**ACADEMIA DE
LA INGENIERÍA**
DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES