



Viaje al fondo de la energía



**IGPUBA:
DEL LEGADO DE
MOSCONI A LA
TRANSICIÓN
ENERGÉTICA**

**HIDROCARBUROS
E INFORMÁTICA EN
UN MISMO CAUCE**

**CALCULANDO
HIDROCARBUROS**

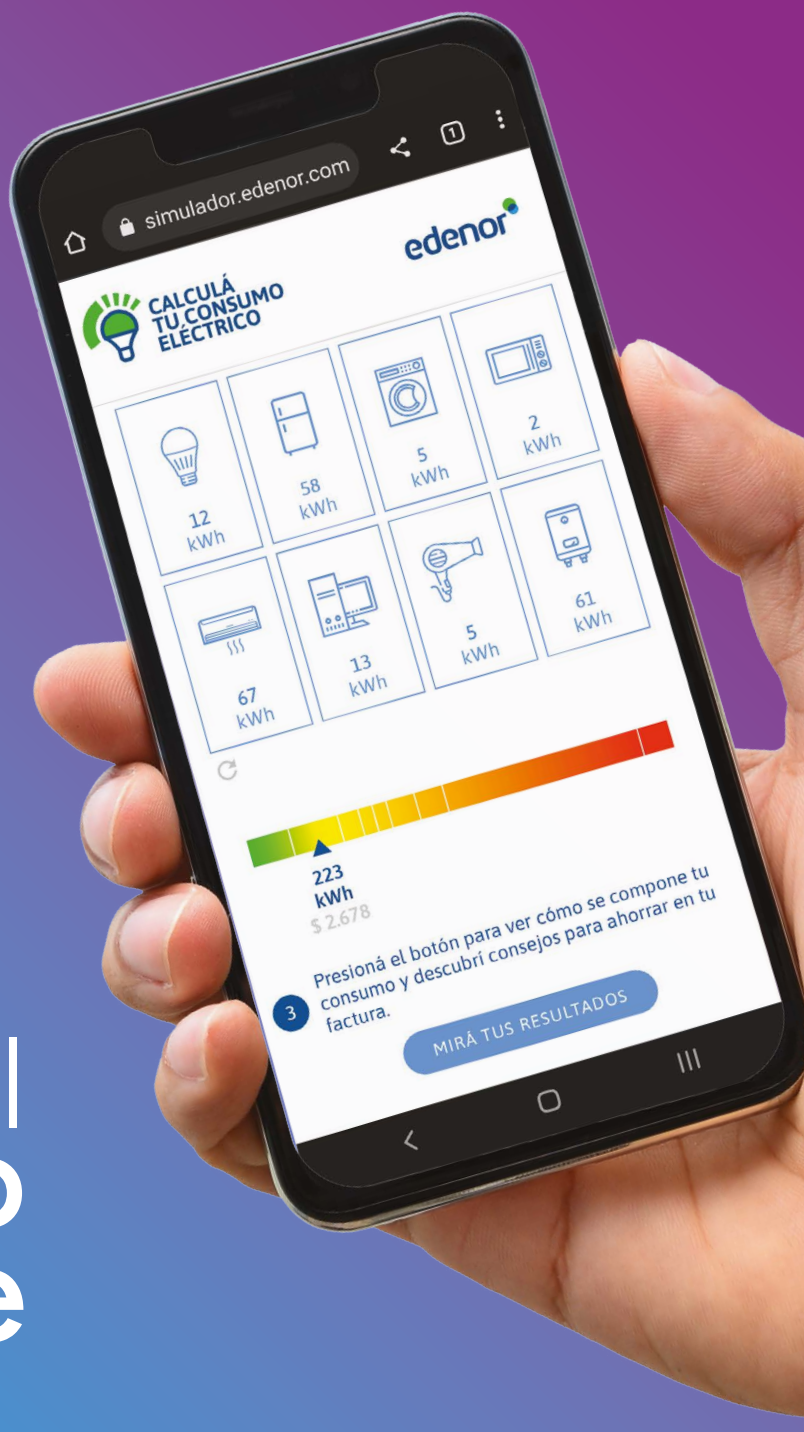
**MATERIALES
NACIONALES PARA
LA EXTRACCIÓN DE
HIDROCARBUROS**





sumate al consumo eficiente

Ingresá en el **simulador** y conocé cuánta energía consumen tus electrodomésticos.
Disminuí tu consumo y ahorrá en tu factura.



simulador.edenor.com

edenor

SUMARIO

STAFF

Comité Editorial

Dr. Ing. Juan Giribet
Dr. Ing. Sergio Lew

Coordinador editorial

Lic. Daniel Krupa

Equipo de producción

Diseño

DG Nadia Ricciardelli

Redacción de contenidos

Lic. Daniel Krupa

Candelaria Mazzeo

Editor de fotografía

DlyS Axel Rosito

Corrección

Bettina Villar

Asistente de producción

Marisol Rivera

Impreso en noviembre de 2023.

Revista *.ing* es una publicación distribuida por el sello Eudeba.

SSN 2545-7691

La reproducción parcial de los contenidos de esta publicación deberá ser autorizada previamente por su Comité Editorial.

Contacto

Av. Paseo Colón 850 - CABA
C1063ACV - Argentina
comunicacion@fi.uba.ar

www.ingenieria.uba.ar

f X @in /ingenieriauba

YouTube /FIUBAoficial

EDITORIAL

Transición energética y universidad pública

04

BREVES

Encuentro sobre microelectrónica / Congreso internacional de la industria del *software* / LACCEI 2024 / Feria Internacional de Educación Superior Argentina

05

VIAJE AL FONDO DE LA ENERGÍA

IGPUBA: del legado de Mosconi a la transición energética

06 | 08

VIAJE AL FONDO DE LA ENERGÍA

Hidrocarburos e informática en un mismo cauce

10 | 13

VIAJE AL FONDO DE LA ENERGÍA

Calculando hidrocarburos

14 | 19

VIAJE AL FONDO DE LA ENERGÍA

Materiales nacionales para la extracción de hidrocarburos

20 | 23

ZOOM

Microanálisis superficial de algas marinas para tratamiento sostenible de efluentes

24 | 25

DOSSIER

Sistemas electroquímicos de extracción de litio de salmueras de salares de altura

26 | 30

NUESTROS GRADUADOS

En el tren de la ingeniería

Ing. Alejandro Felizia

32 | 33

PROTAGONISTAS DE LA FIUBA

Espíritu legislativo
Nancy Viviana Ocello

34

Nº 09

Transición energética y universidad pública

Sin lugar a dudas, uno de los temas centrales para el desarrollo de un país son las fuentes de energía con las que cuenta para la producción de bienes y servicios. En el marco de lo que se ha denominado globalmente “transición energética”, los hidrocarburos como fuentes primarias de energía son clave para esta etapa.

Si bien el carbón es el principal generador de gases de efecto invernadero (GEI) a nivel mundial, en la Argentina fue reemplazado mayoritariamente por gas natural en las centrales termoeléctricas concebidas originalmente para consumir carbón importado. El petróleo deberá reducir significativamente su aporte en los próximos treinta años, cuyo reemplazo no será ni sencillo ni rápido, ya que la nafta, el gasoil y el kerosene son los combustibles más utilizados por todos los modos de transporte a nivel mundial. En los próximos años, se espera una gran sustitución hacia los automóviles eléctricos.

La industria petrolera enfrentará un enorme desafío: su adaptación a un mundo donde se sustituye la demanda de crudo, y donde se aumentan los impuestos globales para desalentar su consumo, ello eliminará de los mercados de oferta a los productores ineficientes y de alto costo. El gas natural emite un 45 % menos GEI que el carbón y un 23 % menos que el petróleo, es el hidrocarburo de la transición. La Argentina tiene una historia muy virtuosa en el desarrollo del gas natural, que permite esperar no sólo el autoabastecimiento, sino la posibilidad de exportación de este hidrocarburo, siempre considerando altos niveles de inversiones de por medio.

Ante estos desafíos para el desarrollo nacional, como universidad pública y como facultad de ingeniería, venimos trabajando desde octubre de 2018 en nuestro principal objetivo académico en años: el Proyecto Plan 2020, con el que buscamos actualizar la oferta académica de grado, posgrado y discutir nuevos títulos. Tenemos motivos internos, fundamentalmente relacionados a la enseñanza



de la ingeniería, y motivos externos, fundamentalmente relacionados a la IV Revolución Industrial, que se constituyen en los desafíos para llevar adelante esta histórica reforma curricular. Las bondades de estar discutiendo, planificando y definiendo nuevos planes de estudio de manera general para todas las carreras permiten realizar una cantidad de transformaciones muy importantes y estructurales y con altas chances de ser realizadas a contrapartida de la manera tradicional de cambiar las carreras en forma aisladas.

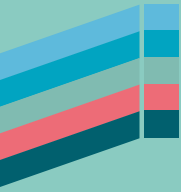
En este camino, nuestras carreras estarán seguramente mucho más a la altura que lo que los desafíos del sector energético demanden y en particular para la transición energética en el desarrollo de los hidrocarburos. Los nuevos planes contendrán áreas de focalización exclusivas de cada carrera, áreas de focalización entre carreras específicas y áreas de focalización multidisciplinarias. Entre estas últimas, se implementará una llamada de transición energética, que podrán tomar estudiantes de distintas ingenierías.

En la agenda de desafíos que nos hemos autoimpuesto para modernizar nuestra institución y estar a la altura de esta era del conocimiento discutiendo nuestra enseñanza, discutiendo temas de altísima relevancia, como los planteados en esta nueva edición de *.ing*, los y las convoco a trabajar para sostener y mejorar esta universidad pública, no arancelada, cogobernada, inclusiva y de calidad. Como siempre, trabajando para que ante la pregunta de cualquier ciudadano o ciudadana sobre qué es lo que estamos haciendo, nuestra respuesta sea “formando ingenieros e ingenieras”.

Ing. Alejandro M. Martínez

Decano de la Facultad de Ingeniería
de la Universidad de Buenos Aires

Foto: gentileza CETEC



BREVES

01

Encuentro sobre microelectrónica

Del 6 al 8 de marzo de 2024, la ciudad bonaerense de Bahía Blanca será sede del Congreso Argentino de Electrónica, destinado a investigadores, tecnólogos y referentes del campo de la electrónica y las tecnologías asociadas.

Mucha más información en <https://eamta.ar/cae-conference/>

Del 6 al 10 de mayo de 2024, en Curitiba, Brasil, se llevará a cabo el foro de investigación de ingeniería del *software*, junto con la 7ª edición de la Escuela Iberoamericana Avanzada de Ingeniería de Software (ElbAIS).

Congreso internacional de la industria del *software*

02

LACCEI 2024

03

La 22.ª Multiconferencia Internacional de Ingeniería, Educación y Tecnología (Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions), LACCEI –evento del que la FIUBA fue sede en su edición 2023–, se llevará a cabo del 15 al 19 de julio de 2024 en San José de Costa Rica.

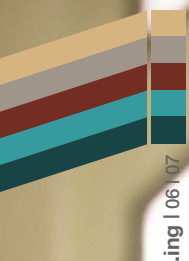
Para más datos, ingresar en <https://laccei.org/laccei2024/>

Feria Internacional de Educación Superior Argentina

04

La ciudad de Puerto Iguazú, Misiones, será escenario de este congreso en el que referentes de Bélgica, México, Alemania, Brasil, China, Marruecos, Suecia e Irlanda, compartirán experiencias de la enseñanza universitaria. ¿Cuándo? Del 11 al 12 de septiembre de 2024

Toda la información y cronograma de envío de presentaciones, en <https://www.fiesa.ar/index.php/es/>



VIAJE AL FONDO DE LA ENERGÍA



IGPUBA: del legado de Mosconi a la transición energética

El Dr. Luis Stinco, actual director del Instituto del Gas y del Petróleo de la UBA (IGPUBA), comparte en su charla con .ing los avances científicos de este histórico espacio de investigación y enseñanza.

Hace muy poco, el IGPUBA celebró los 90 años de su fundación, registrada en diciembre de 1929, con la firma del entonces presidente Hipólito Yrigoyen, que en el decreto que aprobaba el convenio entre la Universidad de Buenos Aires (UBA) y la Dirección Nacional de Yacimientos Petrolíferos Fiscales (YPF), ya ponía en funcionamiento un “Instituto del Petróleo” en el ámbito de la Universidad de Buenos Aires. La apertura de esta “escuela de los hidrocarburos” tuvo como *alma pater* al Gral. Ing. Enrique Mosconi, quien la consideraba una herramienta fundamental para la formación de profesionales especializados y para el desarrollo nacional del sector petrolero.

Actualmente, el IGPUBA dicta una maestría, tres carreras de especialización y distintos cursos y seminarios. Además realiza importantísimas tareas de investigación, un aspecto que tiene a su director, el Dr. Luis Stinco, como responsable de coordinar toda la actividad científica de este emblemático instituto.

Stinco es Dr. en Geología de la Universidad de Buenos Aires, docente desde 2002 en IGPUBA y, a partir del 2022, asumió el cargo de director. Desde pequeño tuvo interés por la geología y los recursos naturales porque su padre trabajaba en Gas del Estado; hoy en día cuenta con más de treinta y cinco años de experiencia petrolera,

habiéndose desempeñado como vicepresidente de E&P en Occidental Petroleum Argentina y en Sinopec Argentina.

En cuanto a los principales proyectos de carácter científico que está llevando adelante el IGPUBA, el Dr. Stinco cuenta: “Uno de ellos implica estudiar las rocas que constituyen reservorios de tipo no convencional que encontramos en la formación Vaca Muerta en la cuenca neuquina. Para producir los hidrocarburos contenidos en esta roca es necesario realizar estimulaciones que implican efectuar fracturas hidráulicas, y en esa operación es necesario optimizarlas para lograr la máxima producción minimizando los impactos ambientales y de seguridad operativa”.

El segundo proyecto corresponde a realizar un estudio del potencial geotérmico que tiene la provincia de Santa Cruz, que permitirá establecer las principales características de distribución de fuentes geotérmicas de acuerdo con las distintas zonas geográficas de la provincia, con miras a vincularlas a la generación de energía o climatización de instalaciones y edificios. La energía geotérmica aprovecha el calor interno del planeta, es limpia, estable y continua, renovable, de bajo impacto ambiental e independiente de las variaciones meteorológicas. “Conceptualmente, el aprovechamiento geotérmico contempla diferentes rangos de temperatura que se asocian

Página anterior:
El Dr. Luis Stinco en el Instituto del Gas y del Petróleo de la UBA, ubicado en la Av. Las Heras 2214.

con usos diferenciados, a saber: alta entalpía (mayor que 150 °C), moderada (entre 100 y 150 °C) y de baja entalpía (menor que 100 °C). Asimismo, es escalable y flexible, por lo que puede ser utilizada para la generación de electricidad, calor y cogeneración. A modo comparativo, una planta geotérmica tiene un potencial de generación eléctrica que varía entre dos y cuatro veces más que una solar o eólica en virtud de su alto factor de capacidad, que es de un noventa por ciento”, afirma el especialista.

“La energía geotérmica aprovecha el calor interno del planeta, es limpia, estable y continua, renovable, de bajo impacto ambiental e independiente de las variaciones meteorológicas”.

Stinco, que recibió el Premio Konex 2013 de Ciencia y Tecnología, asegura que “en ambos casos, las líneas de investigación se relacionan con la recopilación e investigación bibliográfica, ciencia de datos, estudios geológicos de detalle a escalas micro-, meso- y megascópica, así como a nivel de cuenca, la aplicación de modelos geológicos e ingenieriles estáticos y dinámicos, geomecánica, termodinámica, desarrollo de *software* y aplicaciones específicas, entre otras”. “Los estudios regionales –continúa– permiten tener una visión amplia dentro del marco geológico correspondiente en tanto que los modelados conducen a la parametrización de la naturaleza con un sentido práctico y comprensible. Para lograr esto aplicamos modelos deductivos e inductivos en función del origen, calidad y cantidad de los datos”, detalla Stinco.

Vale señalar que el proyecto asociado con los reservorios no convencionales fue promovido por el sector privado, por lo que su financiamiento

proviene en su totalidad por parte de la empresa, mientras que el proyecto de geotermia está financiado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Nación, a través del programa “ImpaCT.AR Ciencia y Tecnología”, que promueve proyectos de investigación y desarrollo que buscan encontrar soluciones a desafíos de interés público.

El grupo de investigación que dirige el responsable del IGPUBA está compuesto por doctores, maestrandos, licenciados e ingenieros con experiencias en la academia y en la industria de entre dos y más de treinta años. También forman parte de los grupos estudiantes de geología, ingeniería y computación, quienes terminarán sus trabajos profesionales y licenciaturas a partir de los estudios asociados con cada proyecto. A su vez, cuentan con computadoras y un *software* específico, aunque también contemplan, en los diversos proyectos, adquirir computadoras adicionales, microscopios, permeabilímetros, porosímetros y equipamiento de oficina para utilizar como soporte en las distintas actividades.

“La caracterización de las rocas y sus propiedades requieren conocer y medir adecuadamente propiedades asociadas con la facilidad con que los fluidos se desplazan en distintos medios (permeabilidad, vector) que depende directamente de la cantidad de espacio disponible en la roca (porosidad, escalar) siendo de particular importancia la interconexión de los poros (porosidad efectiva). La porosidad representa la capacidad de almacenamiento de fluidos que puede tener un medio poroso, y la permeabilidad, a su vez, determinará la mayor o menor facilidad con la que se pueden producir esos fluidos. Contar con equipamiento específico permitirá realizar estudios de detalle en el Instituto y, de aquí en más, ser también utilizados por los estudiantes de la facultad”, anticipa el Dr. Stinco ■



Un elemento fundamental al perforar pozos, lo representan los trépanos, en este caso del tipo “triconos”.

Encontrá tu propósito y formá parte del cambio

Sumate a nuestro equipo de personas que combinan su ingenio con las últimas tecnologías para resolver algunos de los mayores desafíos que existen en el mundo.

accenture.com/empleosargentina

 **accenture**



Actualizá tus conocimientos en ingeniería



Una oportunidad de **crecimiento profesional y personal** en una de las universidades líderes de Latinoamérica.

Consultas: posgrado@fi.uba.ar

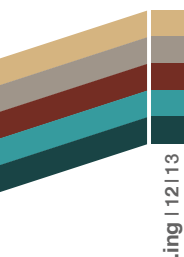


VIAJE AL FONDO
DE LA ENERGÍA

Hidrocarburos e informática en un mismo cauce

Entrevista a la **Dra. Silvia Barredo**, inminente responsable de lo que será un nuevo espacio científico de la FIUBA: el Laboratorio de Modelado de Cuencas (LAMODEC), de próxima inauguración.





Silvia Barredo es licenciada y doctora en Ciencias Geológicas de la Universidad de Buenos Aires (UBA). Su área de aplicación comprende los hidrocarburos y la geotermia. Es profesora de grado y posgrado de la Universidad de Buenos Aires (UBA) en las facultades de Ingeniería, Ciencias Económicas y Derecho. Asimismo, es profesora invitada en la Universidad Austral y profesora de energía geotérmica en la Maestría en Energía y Medio Ambiente de Karlsruhe Institute of Technology (KIT) de Alemania – Instituto Tecnológico de Buenos Aires (ITBA). En la actualidad, está trabajando en proyectos de geotermia de baja y moderada entalpía para usos directos (climatización) y para producción de energía térmica y eléctrica en pozos petroleros.

Barredo, que comenzó su actividad científica en la FIUBA en agosto de 2018, se interesó por la geociencia y las tecnologías del estudio de subsuelo luego de haber iniciado sus estudios universitarios en el área de la computación científica, dada su pasión por las ciencias naturales, lo que motivó el cambio de carrera. “Durante el desarrollo del doctorado tuve la oportunidad de aplicar las herramientas de mi especialización a la exploración petrolera del área geológica donde desarrollaba mi doctorado. Los resultados obtenidos y el aprendizaje torcieron mi camino inicial hacia la investigación aplicada que se encuadró así en la exploración de frontera, que corresponde a la búsqueda de nuevas áreas con potencial hidrocarburoífero. Los trabajos iniciados en la FCEyN de UBA continuaron en el ITBA y finalmente en FIUBA donde incorporé las herramientas de la ingeniería del petróleo y de la computación. En la actualidad trabajo en equipo con especialistas de distintas áreas como geofísica, ingeniería de reservorios, medios porosos e informática. Esto último me conectó otra vez con mis primeros pasos como estudiante universitaria”, recuerda la científica.

Cuando se le pregunta sobre su principal línea de investigación en la actualidad, aclara que se trata de una respuesta difícil de dar, dada la demanda que suele rodear a la investigación aplicada: “Sin embargo –reconoce la Dra. Barredo– la línea de investigación neurálgica que llevo adelante es el modelado de cuencas, que me ha permitido realizar estudios teóricos y aplicados, fundamentalmente en energía. Así puedo mencionar uno de los

proyectos abordados que consistió en estudiar la inserción y apertura de la Cuenca Neuquina, a través del análisis geodinámico y, la evolución de su relleno simultáneo en las etapas de apertura y desactivación de la cuenca. Los resultados obtenidos me permitieron generar modelos cualitativos y cuantitativos que pueden ser aplicados al análisis de los sistemas petroleros convencionales y no convencionales. Asimismo, tuve la oportunidad de estudiar la geomecánica a la Formación Vaca Muerta y ahondar en la caracterización de las rocas de grano fino, que son muy complejas, aplicando los principios de la tectosedimentación (análisis de la sedimentación durante la deformación de la cuenca) y obtener resultados que pueden ser utilizados en los programas de fractura hidráulica. La geodinámica, por otro lado, me permite realizar estudios geotérmicos en las distintas regiones de potencial en la Argentina, para identificar proyectos de interés social”.

Vale señalar que actualmente Argentina dispone de 545.000 km² de cuencas ya productivas; en tanto que aproximadamente otros 2.500.000 km² aún no lo son, cifras que representan un total de 3.045.000 km², y que implican una capacidad de producción de 14 billones de barriles de petróleo.

En lo que respecta a las aplicaciones que muestran sus líneas de investigación, Barredo y equipo enumeran, a partir del modelado de cuencas, la exploración de frontera para hidrocarburos; estudios geotérmicos de baja a moderada entalpía para producción de energía térmica y eléctrica; aplicación de ciencias de datos y *machine learning* en modelado geológico y almacenamiento de CO₂ en reservorios subterráneos y almacenamiento mineral de CO₂ en rocas basálticas.

“A la fecha, la transmisión de conocimientos ha sido a través de la publicación de trabajos científicos, presentaciones en congresos y reuniones nacionales e internacionales y de la formación de I+D, doctores, licenciados e ingenieros. No tenemos patentes, pero estamos colaborando con el desarrollo desde CETEC de un modelo de reservorio de hidrocarburos a través de realidad virtual y aumentada que será utilizado en enseñanza de grado y posgrado”, cuenta Barredo sobre los aspectos vinculados a la transferencia del conocimiento que se genera a partir de esta actividad científica y tecnológica.

Página anterior:
Agentes de sostén o
"propants", en inglés,
del tipo cerámicos.
Estos cuerpos
esféricos generados
en laboratorio se
añaden a los fluidos
que se introducen en
la roca impermeable
para abrir fisuras/
fracturas y mantenerlas
abiertas, permitiendo
así la liberación de
hidrocarburos.

Dada la temática, y tanto con el sector privado como con otros espacios de investigación de la UBA, se produce de manera permanente una interacción con otros actores del sector científico vinculado a los hidrocarburos: “La relación con la industria es dinámica, ya que varios de los proyectos de investigación que se han desarrollado y que están en curso, han sido financiados por empresas del Estado y privadas. Asimismo, trabajamos con varios laboratorios e institutos de la FIUBA, como el Laboratorio de Medios Porosos; el Instituto de Geodesia y Geofísica Aplicadas; el Instituto de Tecnología en Polímeros y Nanotecnología, y distintos grupos de investigación de FCEyN y de FCE. Y también codirijo un TP final de ingeniería industrial junto con Romina Solana, en la temática “geotermia”, y colaboramos con Diego Manzoni en temas de enseñanza”. Estas interacciones, en pleno proceso de crecimiento, se afianzarán en los próximos meses a partir de la firma de dos convenios, ya rubricados, entre el IGPUBA y la empresa Shell, que incluyen la compra de equipo para análisis de rocas, mapeo y estudios de reservorio.

La Dra. Barredo señala que el grupo de investigación que dirige actualmente se trata de grupo en formación, que conformará lo que será la apertura del Laboratorio de Modelado de Cuencas (LAMODEC), que será lanzado oficialmente en las próximas semanas. Dicho equipo de trabajo científico estará conformado, según anticipa la entrevistada, por investigadores de la FIUBA de las áreas de informática, ingeniería de reservorios, petrofísica, geodesia/geofísica, materiales y medios porosos; además de investigadores externos de la Universidad Nacional del Comahue, la Universidad Nacional de Tierra del Fuego, la Universidad Nacional de San Juan, la Universidad Nacional de Mar del Plata y el Karlsruhe Institute of Technology (KIT) de Alemania.

“Fomentar políticas de subsidios, incentivos fiscales y regulaciones que promuevan la inversión en energías limpias en coparticipación con los hidrocarburos y la exploración petrolera”, afirma Barredo en esta entrevista para *.ing* cuando se le consulta sobre el rol, vital, del Estado nacional en impulsar el desarrollo en ciencia y tecnología.

“Implementar políticas que promuevan la eficiencia energética en edificios, transporte y procesos

“La relación con la industria es dinámica, ya que varios de los proyectos de investigación que se han desarrollado y que están en curso, han sido financiados por empresas del Estado y privadas”.

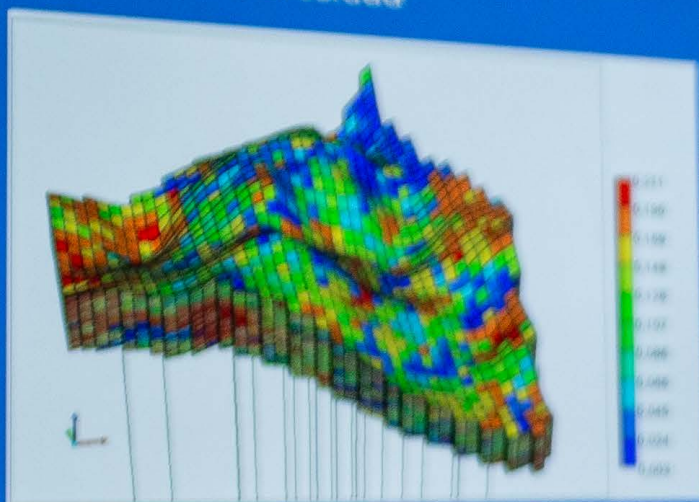


Dra. Silvia Barredo

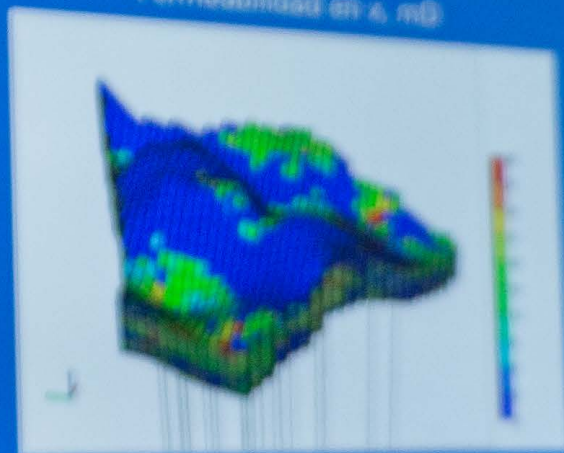
industriales a través del uso de equipos y procesos diseñados en la FIUBA, como el aprovechamiento geotérmico en pozos petroleros o la climatización de viviendas por geotermia de muy baja entalpía; contribuir al diseño de estándares de eficiencia, etiquetas energéticas y programas de incentivos para la mejora de la eficiencia; invertir en investigación y desarrollo en estas tecnologías energéticas incluido el almacenamiento de carbono; incluir a nuestros equipos de investigación en los programas de educación y concienciación pública; y asegurar que las políticas energéticas sean equitativas y accesibles para todas las comunidades, incluidas aquellas en situación de vulnerabilidad, son asuntos que deberían formar parte de todos los planes de gobierno”, opina ■

Modelo Petrofísico

Porosidad



Permeabilidad en μmD



Geotecnología / Geomática / 14/15/2014



Calculando hidrocarburos

En esta nota, la **Dra. Gabriela Savioli** le cuenta a *.ing* todas las posibles aplicaciones matemáticas en la industria del petróleo, especialidad a la que se ha dedicado desde hace más de tres décadas.

Gabriela Beatriz Savioli es licenciada y doctora en el área Ciencias Matemáticas de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA y es la actual directora del Laboratorio de Ingeniería de Reservorios en el Instituto del Gas y del Petróleo (IGPUBA) de la Facultad de Ingeniería de la UBA. Además, coordina la Carrera de Especialización en Ingeniería de Reservorios.

Savioli cuenta con más de treinta años de experiencia en simulación numérica de reservorios: investigación y desarrollo, formación de recursos humanos, enseñanza universitaria de grado y de posgrado, cursos para la industria y servicios. Sus áreas de trabajo son la energía, las geociencias y la matemática aplicada, específicamente en los temas: modelado de flujo multifásico multicomponente en medios porosos, modelado estático y dinámico, desarrollo y aplicación de simuladores numéricos para recuperación primaria, secundaria y mejorada de hidrocarburos, geofísica numérica y estimación de parámetros.

Sus primeros pasos en la FIUBA se produjeron allá por noviembre de 1987, cuando ingresó como becaria doctoral en el Laboratorio de Ingeniería de Reservorios. En 1991 comenzó su carrera docente en la FIUBA con un cargo de Jefa de Trabajos Prácticos con Dedicación exclusiva, ascendiendo luego a Profesora Adjunta en 1994, Profesora Asociada en 2005 y Profesora Titular en 2021.

Cuando se le pregunta sobre la etapa profesional en la que se interesó por la simulación numérica de reservorios, Savioli recuerda: “En realidad, yo había estudiado Licenciatura en Ciencias Matemáticas con Orientación Aplicada, así que, cuando me recibí, estaba en la búsqueda de un tema de aplicación donde pudiera desarrollarme, más allá de las tareas de docencia que ya estaba llevando a cabo como ayudante en la Facultad de Ciencias

Exactas y Naturales de la UBA. Y, justamente, en ese momento encontré un pedido para postularse a una beca de investigación, cuya área de trabajo era la simulación numérica de reservorios. Específicamente, desde el punto de vista matemático, consistía en la resolución numérica de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales que representan el flujo en medios porosos y el uso de técnicas de optimización para la estimación de parámetros. Ambos temas matemáticos me gustaban mucho, incluso yo había realizado mi tesis de grado en optimización, pero del área de aplicación no conocía nada, aunque me llamaba mucho la atención. Me postulé y me seleccionaron”.

En aquel entonces, el lugar de trabajo de Savioli era el Laboratorio de Ingeniería de reservorios de la FIUBA, que dependía del Departamento de Ingeniería Química y estaba situado en Ciudad Universitaria. “Así que comencé con la beca en noviembre de 1987, y fui aprendiendo ingeniería de reservorios, cuyo objetivo principal es construir modelos del reservorio que nos permitan estimar recursos y reservas y diseñar las mejores alternativas de explotación, desde el punto de vista técnico, medioambiental y económico. En el laboratorio trabajaba con ingenieros químicos y de otras especialidades, y allí comprendí la importancia de la interdisciplinariedad, el valor de realizar un esfuerzo para lograr un lenguaje común y encarar un problema desde distintos puntos de vista donde cada uno aporta sus conocimientos, su visión y su experiencia. Me entusiasmó muchísimo el área de trabajo porque las posibilidades de aplicaciones matemáticas eran constantes, desde un simple ajuste por cuadrados mínimos, pasando por temas de estadística, problemas inversos, ecuaciones diferenciales, propagación de ondas, etc.”, cuenta.

“Me entusiasmó muchísimo el área de trabajo porque las posibilidades de aplicaciones matemáticas eran constantes, desde un simple ajuste por cuadrados mínimos, pasando por temas de estadística, problemas inversos, ecuaciones diferenciales, propagación de ondas, etc.”

El principal proyecto en el que se encuentra trabajando Savioli es el “Modelado numérico, geofísico y geológico aplicado a la caracterización, recuperación y transporte de hidrocarburos”, un objetivo científico integral y multidisciplinario, que abarca las dos ramas del modelado de un reservorio: el modelo estático, que –según explica la especialista– se refiere a las características geológicas-geofísicas-geométricas de cuencas y a la distribución espacial de las propiedades petrofísicas, enfocándose en el análisis integrado de la historia tectónica y estructural, conjuntamente con su relleno a lo largo del tiempo geológico; y en un modelo dinámico, que es la interacción fluido-roca en el reservorio y requiere el diseño y la implementación computacional de modelos integro-diferenciales que representen en forma adecuada el flujo de fluidos.

En esta línea de trabajo científico participan investigadores e investigadoras del Instituto de Geodesia y Geofísica Aplicada de FIUBA, como la Dra. Patricia Larocca y la Dra. María Alejandra Arecco, y del Grupo de Modelado Estático y Dinámico de Cuencas Sedimentarias del IGPUBA, la Dra. Silvia Barredo.

“La temática de trabajo se divide en cuatro grandes áreas: en primer lugar, la caracterización gravi-magnetométrica y modelado de cuencas, que aporta conocimiento sobre la geometría, profundidad, presencia de resaltos en el basamento cristalino, su relleno sedimentario y las estructuras deformacionales que afectaron la pila sedimentaria. En segunda instancia, la propagación de ondas en medios porosos, incluyendo efectos de atenuación, dispersión y anisotropía, que se relaciona con la detección de la presencia y orientación de fracturas, la detección de acumulaciones de fluidos como CO₂, etc; en esta área se trabaja en colaboración con el Dr. Juan Enrique Santos. En tercer lugar, el flujo multifásico, multicomponente en reservorios convencionales y no convencionales, para predecir producción en procesos de recuperación primaria, secundaria o mejorada de petróleo y en yacimientos tight y shale. Y por último, los problemas de corrosión en poliductos generados por corrientes geomagnéticas inducidas: el objetivo general es poder diseñar una alerta temprana que detecte la posible disminución de la vida útil de los poliductos”, detalla la investigadora, quien agrega



Dra. Gabriela Beatriz Savioli.

que recientemente se han incorporado las posibilidades que brinda la Ciencia de Datos para potenciar el trabajo, aprovechando al máximo la información que nos brinda la enorme cantidad de datos disponibles”.

“Si bien la principal aplicación planteada originalmente en el proyecto fue la predicción de producción de hidrocarburos, los resultados y la metodología desarrollada pueden aplicarse a diferentes áreas dentro de las temáticas de energía y medioambiente, como el secuestro geológico de CO₂, remediación de derrames de hidrocarburos, energía geotérmica, etc.”, afirma Savioli.

Otro de los proyectos se titula “Realidad virtual y aumentada en cuencas hidrocarburíferas digitales”, donde participan investigadores del Centro de Tecnologías Educativas (CETEC), de los departamentos de Computación y de Electrónica, el Instituto de Geodesia y Geofísica Aplicada y el Grupo de Modelado Estático y Dinámico de Cuencas Sedimentarias, todos pertenecientes a la FIUBA.

Sobre esta línea, cuenta Savioli, “se desarrolló un *software* educativo para navegar dentro de reservorios virtuales, a través de las capas sedimentarias, relacionando información de propiedades de las rocas (porosidad y permeabilidad), medidas en forma directa e indirecta. El proceso de navegación se realiza a partir de operadores

“Alentar esta producción, junto con la construcción de gasoductos y plantas de licuefacción que nos permitan exportar no solo a nuestros países vecinos sino al resto del mundo en forma de gas natural licuado, será un motor fundamental para el desarrollo de nuestro país”.

booleanos manipulados mediante *joysticks*, bajando por pozos o realizando cortes con planos, cilindros o esferas, orientados verticalmente o inclinados. Los resultados de los proyectos de investigación se pueden transferir en forma directa al sistema productivo, como *software* de aplicación y recursos humanos altamente capacitados”.

Las aplicaciones de este tipo de desarrollos son varias, pero sobresalen el modelado estático y dinámico de cuencas sedimentarias; la predicción de producción en reservorios convencionales y no convencionales; la estimación de recursos y reservas; la ciencia de datos aplicada a la estimación de propiedades del reservorio y el almacenamiento geológico de CO₂, entre otros.

El grupo liderado por Savioli también muestra una fuerte impronta en lo que hace a la transferencia de conocimiento. Por ejemplo, en el periodo 2011/2014, desde el IGPUBA, participaron del

proyecto "Recuperación mejorada de petróleo mediante la inyección de sustancias químicas", que fue financiado por empresas petroleras a través del Instituto Argentino del Petróleo y del Gas (IAPG) y con la participación del MINCyT, en conjunto con la Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, y la Universidad Nacional del Comahue, Neuquén.

En 2019 y 2021 también se concretó el convenio con Interfaces, una empresa local de desarrollo de *software* para la industria petrolera, en una línea de trabajo titulada "Modelado analítico y simulación de sistemas multifracturados en pozos horizontales para reservorios no convencionales" le explica Savioli a .ing.

“Actualmente, estamos participando junto con investigadores del Grupo de Modelado Estático y Dinámico de Cuencas Sedimentarias del IGPUBA de un convenio firmado por FIUBA con la empresa Shell para realizar tareas de investigación y formación de recursos humanos para expandir el conocimiento en tres áreas temáticas: el estudio de la variación local de tensiones verticales y areales dentro de la columna sedimentaria y su relación con la productividad del pozo, la sismicidad inducida y los riesgos potenciales; el análisis de la heterogeneidad vertical para mejorar la correlación entre las propiedades estáticas y la productividad del pozo; y, finalmente, el procesamiento de registros de pozos con series de tiempo para distinguir secuencias verticales



De izquierda a derecha: Florencia Destefanis, Dr. Juan Enrique Santos, Naddia Arenas, Gabriela Savioli.

con atributos sedimentarios similares que permitan una caracterización adecuada de la roca, incluyendo fragilidad e índice de laminación.

Las tareas de investigación en las que participa Savioli son indefectiblemente multidisciplinarias trabaja en colaboración con científicos y científicas de distintas unidades académicas del país y del mundo, como el Instituto Nacional de Oceanografía y Geofísica Aplicada de Trieste (Italia), la Universidad de Hohai (China) y la Universidad Tecnológica Nacional, FR Santa Cruz, entre otras.

Acerca del futuro inmediato y a mediano plazo, la Dra. Savioli se muestra convencida del rol del Estado como el actor principal para impulsar la industria petrolífera: "Considero que es fundamental una política centrada en la Transición Energética, donde en los próximos años

se priorice la producción de gas (especialmente no convencional) que es el combustible de transición para descarbonizar el planeta. Alentar esta producción, junto con la construcción de gasoductos y plantas de licuefacción que nos permitan exportar no solo a nuestros países vecinos sino al resto del mundo en forma de gas natural licuado, será un motor fundamental para el desarrollo de nuestro país. Creo que nuestro aporte es seguir investigando para que la producción se realice con el menor daño posible al medio ambiente. Nuestra responsabilidad es aportar soluciones creativas a las problemáticas ambientales y a los nuevos desafíos tecnológicos con los que nos enfrentaremos. La Argentina tiene una gran oportunidad para convertirse en un protagonista central de esta nueva etapa", concluye ■

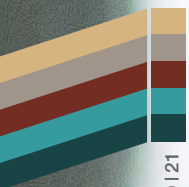


Somos la empresa de la UBA dedicada a la gestión y desarrollo de proyectos de innovación científico-tecnológica. El punto de encuentro entre la comunidad científica y el sector productivo.

- Gestión de servicios
- Administración de proyectos
- Gestión de eventos científicos
- Búsqueda de financiamiento
- Formulación de proyectos
- Valorización de I + D
- Ubatec CATI

www.ubatec.uba.ar





VIAJE AL FONDO DE LA ENERGÍA

ing | 20 | 21





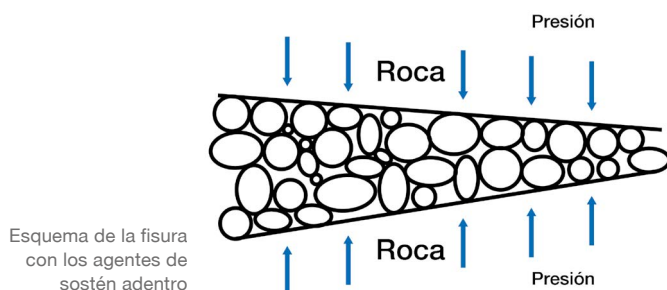
Materiales nacionales para la extracción de hidrocarburos

Un repaso actualizado sobre las posibilidades que ofrece el desarrollo de partículas que facilitan las grietas en la fractura hidráulica, principal método de trabajo en Vaca Muerta.

Los agentes de sostén son partículas que se colocan en las fisuras generadas por el *fracking* mediante la inyección de un fluido a presión en zonas donde se necesita obtener petróleo de rocas porosas. Dada la presión de la piedra, estas fisuras tienden a cerrarse, fenómeno para el cual entran en escena estas partículas.

“Las características de estas partículas deben ser tales que resistan a altas presiones y generen un lecho poroso para que pase el fluido a través del mismo. Por lo cual, no deben quebrarse en partículas pequeñas que generen muchos finos y que tapen los huecos impidiendo el paso del fluido, y deben tener alta esfericidad para crear este lecho poroso. Al recubrir las partículas con resinas (polímeros) se logra aumentar el área de contacto, ya que esta capa se deforma más que las arenas e inhibe la fractura de las partículas (ver esquema). Además, este recubrimiento podría ser de resinas curadas o resinas sin terminar de curar totalmente, con lo cual mantendría las partículas adheridas entre sí al terminar de curar en el fondo del pozo. Estas partículas adheridas entre sí, permitirían que no se muevan cuando el fluido pasa a través de ellas”, le explica muy didácticamente la Dra. Analía Vázquez a .ing.

Graduada como ingeniera química de la UTN Regional La Plata, Magister en Ciencia y Tecnología de Materiales y Doctora en Ciencia de Materiales de la Universidad Nacional de Mar del Plata, Vázquez es Profesora Emérita de la UBA desde 2021 e Investigadora Superior del CONICET. En 2013 creó el Instituto de Tecnología de Polímeros y Nanotecnología (ITPN) de UBA/CONICET, y fue su directora hasta febrero de 2019, momento en el que se jubiló. A lo largo de su trayectoria científica y académica, Vázquez ha recibido numerosas distinciones, como el prestigioso Premio Jorge Sábato 2020 y el galardón que año a año entrega la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales entre la comunidad científica.



Los agentes de sostén o *proppant* son de varios tipos: arenas resistentes, cerámicos, arenas o cerámicos recubiertos con polímeros, y partículas esféricas de polímeros o agentes de sostén livianos. “En la etapa de los estudios de magister y doctoral investigamos sobre resinas fenólicas, furánicas, ureicas y epoxi, denominadas resinas termorrígidas. Además, he trabajado y dictado asignaturas relacionadas a procesos de fabricación. Uno de mis ex alumnos, por ejemplo, estaba trabajando en YPF y estaban buscando a alguien que se interesara en recubrir arenas con estas resinas. El tema nos interesó, y se firmó primero en 2012 un convenio con YPF, Recubrimiento de agentes de sostén Shale/Tight (Oil&Gas) a escala de laboratorio, y luego continuamos con Y-Tec cuando se creó en diciembre de 2012, hasta comienzos de 2016”, recuerda Vázquez.

“La cuestión fue cómo hacer para recubrir arenas con estas resinas mediante materias primas nacionales y procesos de fabricación que pudieran ser escalados de laboratorio a planta piloto y de allí a industrial/comercial, así como poner a punto las técnicas de caracterización física, químicas y mecánicas, tanto de las arenas sin recubrimiento como de las arenas recubiertas. Comenzamos el trabajo realizando una búsqueda de vigilancia tecnológica con patentes y trabajos publicados. Dado que el tema era muy aplicado, no existían muchos trabajos publicados, sino en patentes. Eso conlleva un problema, ya que en las patentes se informan los resultados sin realizar las explicaciones de las causas que los producen. Con los conocimientos básicos que teníamos, el estudio de patentes y las discusiones con los ingenieros de Y-Tec, logramos varias formulaciones de arenas resinadas de características similares a las comerciales importadas”, explica la Dra. Vázquez.

“Luego del proyecto con Y-Tec, nos dedicamos principalmente al tema de polímeros y materiales compuestos biodegradables. De allí los proyectos que hemos realizado son la creación de una empresa de base tecnológica –Nanocellu-ar–, mediante un EBT (Emprendimiento de Base Tecnológica), para fabricar nanocelulosa, y otro proyecto para fabricar bolsas biodegradables en tierra y sensibles al agua con la empresa Plásticos Romano, que derivó en una patente. Sin duda, la relación con Y-Tec generó una inquietud sobre la importancia de la aplicación en petróleo de

nuestras investigaciones, por lo cual comenzamos con el estudio de aditivos para cementos petroleros, tanto nano como micro, para aumentar la hidratación del cemento y la captura de CO₂ con la Dra. Ing. Civil Teresa Piqué. Luego fue continuado en el ITPN por el Ing. Civil Christian M. Martín. Así también se incursionó en el estudio del uso de la nanocelulosa bacteriana como modificador de la reología de fluidos, entre los cuales se estudió los usos para extracción de petróleo una línea de trabajo continuada por la Dra. Ing. Ma. Laura Foresti del ITPN en colaboración con otro instituto del CONICET.”, señala la entrevistada.

Resulta vital recordar que el ITPN, instalado en la sede de Av. Las Heras 2214 de la FIUBA, fue creado con el objetivo de realizar transferencia de tecnología al medio productivo. El financiamiento generado por este medio permitió, por ejemplo, adquirir equipamiento de laboratorio y de planta piloto que de otra forma no sería posible. “La cuestión de del patentamiento de los resultados en el sistema científico en ingeniería es un tema relativamente reciente –reconoce Vázquez–. En nuestro caso, hemos patentado el desarrollo de la bolsa biodegradable en suelo, y la patente es compartida con la empresa. En el caso de los agentes de sostén, la importancia del trabajo fue lograr transferir todos los conocimientos a Y-Tec, a partir de los cuales han llegado a poner a punto un laboratorio. El grupo de Y-Tec, encabezado por la Inga. Ma. Lila Arias, luego realizó la puesta en marcha de una planta piloto de agentes de sostén a base de arena resinada”, señala.

En el ITPN –actualmente bajo la dirección de la Dra. Ing. Celina Bernal– existe equipamiento

“Hemos patentado el desarrollo de la bolsa biodegradable en suelo, y la patente es compartida con la empresa.

En el caso de los agentes de sostén, la importancia del trabajo fue lograr transferir todos los conocimientos a Y-Tec y a partir de los cuales han llegado a poner a punto un laboratorio”.

relacionado al tema de agentes de sostén, pues se adquirió una prensa específica que se usa en la normativa relacionada, tanques agitados calefaccionados, máquinas de ensayo mecánico, microscopio electrónico, reactor de laboratorio, FTir, DSC, TGA, GPC, Nanospray, viscosímetros, reómetros de plato y cono y capilar. También existen otros equipos de planta piloto tales como extrusora y sopladora, que se adquirieron con otros proyectos de transferencia. Estos equipos se usan también en otros proyectos de investigación y desarrollo.

En el tramo final de la charla con la revista de la FIUBA, la Dra. Vázquez coincide con la idea de un futuro más que promisorio para esta rama de la ingeniería, principalmente a partir de la explotación de los yacimientos de Vaca Muerta: “Sin embargo, la innovación tecnológica está asociada al porcentaje del PBI que se invierte en el sistema científico para poder desarrollar los conocimientos necesarios que faciliten esta innovación para su posterior transferencia a las empresas”, propone ■



Luciano Leonardi, alumno avanzado de la carrera de Ing. Mecánica y técnico de apoyo del CONICET en el ITPN.



ZOOM

ULVA LACTUCA

IMAGEN OBTENIDA CON EL DETECTOR DE ELECTRONES SECUNDARIOS. PROPORCIONA INFORMACIÓN SOBRE LA TOPOGRAFÍA SUPERFICIAL DEL ADSORBENTE.



Instituto de Química Aplicada a la Ingeniería, Laboratorio de Química de Sistemas Heterogéneos de la FIUBA, Laboratorio de Integridad y Corrosión, Facultad Regional Santa Cruz, UTN.

Microanálisis superficial de algas marinas para tratamiento de efluentes

Las algas fueron obtenidas en Punta Loyola, provincia de Santa Cruz, Argentina.

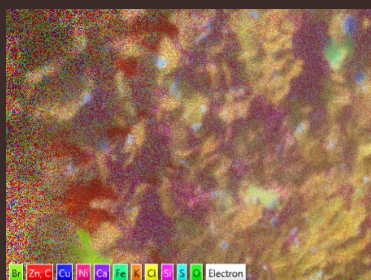
La *Ulva lactuca* es conocida comúnmente como lechuga de mar o luce verde, crece en la zona intermareal de la mayoría de los océanos del mundo. Existen en forma de plagas en las costas de la provincia de Santa Cruz, Argentina.



Equipo: SEM EVO MA 10 de la UTN-FRSC se trabajó en colaboración. Los análisis con el microscopio se realizan en Río Gallegos. Los ensayos de adsorción y otros análisis necesarios para el estudio del proceso adsorptivo se llevan a cabo en la FIUBA.

Tesista Doctoral:
María del Pilar Ardanza

La adsorción se considera un método prometedor para la eliminación de iones metálicos en efluentes acuosos, debido a sus características de bajo costo, y amigable con el medio ambiente.



Mapeo de contaminantes en la superficie del alga. Cobre, níquel y zinc.

Las pruebas de reconocimiento de las características estructurales, químicas, superficiales y morfológicas del adsorbente son un punto clave a tener en cuenta pensando en el empleo de los materiales adsorbentes, no convencionales, como relleno de reactores para tratamiento de efluentes que contienen metales.

Dado que el material no es conductor, para realizar el microanálisis de superficies multielementos mediante Espectrometría de Dispersión de Energía (EDS), se utilizó el detector de electrones retrodispersados (HDBSD) en muestras no metalizadas, de esta manera se pudo identificar las diferentes áreas del material adsorbente para seleccionar sitios para análisis y mapeo multipunto. Con el detector EDS y el programa AZtec® se realizó un microanálisis superficial y un mapa de espectros de rayos X, que permite obtener la distribución de los elementos en un área observada.

Sistemas electroquímicos de extracción de litio de salmueras de salares de altura

V. C. E. Romero, M. A. Laborde, E. J. Calvo

V. C. E. Romero: CIDMEJu, UNJu e INQUIMAE, UBA.

M. A. Laborde: Facultad de Ingeniería, UBA.

E. J. Calvo: INQUIMAE, FCEyN, UBA.

Resumen

Se presentan dos sistemas de obtención de cloruro de litio desde salmuera natural, que utilizan como materiales activos óxido de manganeso y litio (LMO) y polipirrol (PPy). Ambos sistemas son estudiados en un reactor filtro prensa FM01-LC con electrodos porosos tridimensionales en lecho empacado y en un reactor de placas paralelas con electrodos porosos planos. Se realizaron estudios teóricos y experimentales, para los cuales se desarrollaron los modelos matemáticos correspondientes que contemplan fenómenos fisicoquímicos y electroquímicos, y fueron implementados en COMSOL® Multiphysics.

Palabras clave

Litio, Extracción, Salmuera, Electroquímico

1. Introducción

La necesidad de realizar la transición energética ubica al litio como elemento estratégico para la conversión y el almacenamiento de energías limpias en baterías de litio, dadas sus propiedades químicas y su uso en vehículos eléctricos que permitirán el reemplazo de los vehículos a combustión. Los salares de altura en Sudamérica, en Argentina, Bolivia y Chile, con salmueras ricas en litio, constituyen la fuente que impulsa el estudio de nuevos métodos de extracción de litio, alternativos y con posibilidad de acoplamiento a las tecnologías actuales. En este trabajo se proponen dos métodos electroquímicos cuya tecnología permite la extracción directa, que se

independiza del clima de altura, se adapta a la composición química de la salmuera, no requiere evaporar el agua del salar y tiene la posibilidad de extender su campo de aplicación al agua de mar. Las pruebas de concepto de estos métodos han sido realizadas en estudios previos [1].

2. Antecedentes

Las fuentes primarias de extracción de litio son las rocas duras que contienen minerales como las pegmatitas y las salmueras de salares de altura, mientras que las fuentes secundarias son las baterías de ión-litio gastadas. El proceso tradicional de producción de carbonato de litio a partir de salmuera es entre un 30 % y un 50 % más económico que cuando se utiliza mineral como fuente, requiere alrededor de un año de concentración y procesamiento de la salmuera, genera gran cantidad de sales residuales y requiere un consumo sustancial de agua [2], [3].

Los métodos de extracción directa desarrollados recientemente incluyen extracción por solventes, por resinas de intercambio iónico, por nanofiltración, por precipitación de fosfatos con electrodiálisis y con materiales intercalación inorgánicos como el óxido de manganeso y litio: $LiMn_2O_4$, entre otros [4] - [8].

3. Marco teórico

El óxido de manganeso y litio es un compuesto sólido cristalino de intercalación, con estructura

cristalina tipo espinela, que permite la inserción y desinserción reversible de los iones litio en su estructura mientras el manganeso se oxida o reduce entre Mn (III) y Mn (IV). Su capacidad de carga teórica es alta, $148 \text{ mAh.g}_{\text{LMO}}^{-1}$ se usa principalmente como material de cátodo de baterías, es no tóxico, de bajo costo, alta estabilidad térmica y alto potencial electroquímico [9]. Por otro lado, el polipirrol es un polímero heterocíclico conductor, su capacidad de carga teórica es $92 \text{ mAh.g}_{\text{PPy}}^{-1}$. Electroquímicamente hablando, se comporta como un capacitor que permite el intercambio iónico. En su estado oxidado es capaz de llevar en su superficie aniones que en contacto con una solución pueden intercambiarse, esta propiedad es la que permite su uso como electrodo reversible a aniones [10].

Los sistemas de extracción presentados son de captura selectiva de iones o de intercambio iónico. Por un lado, el sistema que combina polipirrol y óxido de Manganeso y Litio: PPy/LMO funciona a través de la captura selectiva de iones, el LMO intercala iones Litio y el PPy permite la adsorción selectiva de aniones. Por otro lado, el sistema que usa únicamente Óxido de Manganeso y Litio: LMO/ λ -LMO funciona a través del intercambio catiónico donde ambos electrodos son del mismo material pero se encuentran en diferente estado de carga de iones litio. λ -LMO refiere a $\text{Li}_{1-x}\text{Mn}_2\text{O}_4$ con $0 < x \leq 1$.

4. Modelos matemáticos y simulaciones

Los modelos matemáticos de los sistemas de extracción desarrollados describen los fenómenos fisicoquímicos, electroquímicos y de transporte que ocurren en el electrolito, en las partículas que forman al electrodo y en la interfaz de ambos: electrodo/electrolito. Permiten estudiar la concentración de las especies iónicas, el potencial en el electrolito y en el electrodo, como funciones del tiempo y del espacio.

Los modelos son multiescala, consideran la macroescala correspondiente al reactor de electrodos porosos, donde se consideran los procesos de cinética de reacción interfacial, de transporte de materia por difusión y migración iónica según Nernst-Planck, y convección forzada en electrolitos en circulación. Y la nanoescala correspondiente al material electroquímicamente activo donde ocurre la intercalación y difusión de iones litio dentro del cristal de LMO. La validación de los modelos en dos dimensiones se llevó a cabo con las curvas de la diferencia

de potencial del reactor a corriente constante, y la concentración de litio en la solución de recuperación.

5. Metodología experimental

Uno de los electrolitos utilizado en el reactor es la salmuera, se trabajó con salmueras del salar de Olaroz (Jujuy) y del salar del Hombre Muerto (Salta/Catamarca). Cuyas concentraciones de litio medidas son 1280 mg/L y 1360 mg/L, respectivamente. El otro electrolito ocupado para concentrar el litio recuperado es una solución de LiCl o KCl 0,1M. El electrodo tiene dos componentes, el material activo contenido en la tinta de LMO y el material conductor y soporte: coque o malla de titanio. La distribución de tamaño de partículas de coque trabajadas fue entre 0,42 y 1 mm de diámetro. La tinta de LMO se preparó con el material activo de intercalación LMO, el material conductor Carbón Vulcan (CV), el aglutinante Fluoruro de polivinilideno (PVDF) y el dispersante: N-Metil Pirrolidona (NMP). La relación que se utilizó fue de 80:10:10 %p/p LMO:PVDF:CV. El electrodo de Polipirrol se obtuvo por la polimerización química del Pirrol, directamente sobre las partículas de coque usando agentes oxidantes.

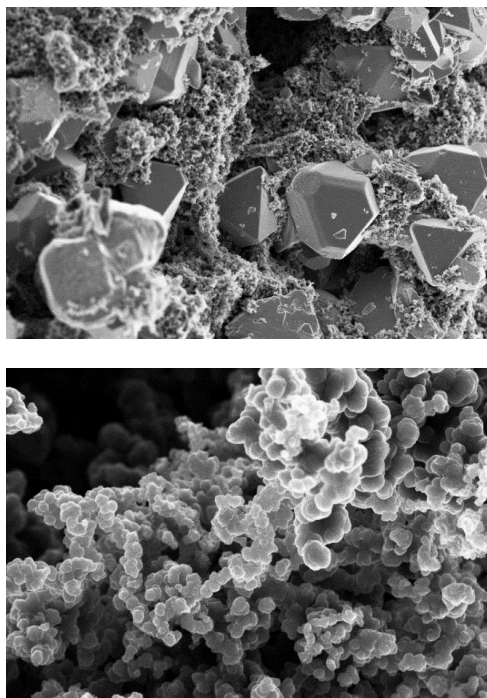
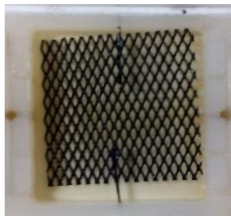


Fig. 1: Micrografías SEM de tinta de LMO depositada en partículas de coque (arriba) y de Polipirrol sobre partículas de coque (abajo). Escala 1 μm .



Fig. 2: Compartmento de electrodo con lecho de partículas de coque cubierto con tinta de LMO, del reactor filtro prensa FM01-LC (arriba).
Compartmento de electrodo con malla de titanio cubierta de tinta de LMO, del reactor de electrodos planos (abajo).

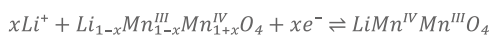


El sistema PPy/LMO utiliza un separador poroso de polietileno entre el cátodo y el ánodo, mientras que el sistema LMO/ λ -LMO utiliza una membrana de intercambio aniónico.

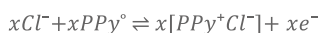
5. Resultados de simulación y pruebas experimentales

Sistema PPy/LMO con electrodos tridimensionales en lecho empacado

Para este sistema, la reacción electroquímica en el cátodo es:



En el ánodo:



Mientras que la reacción total:

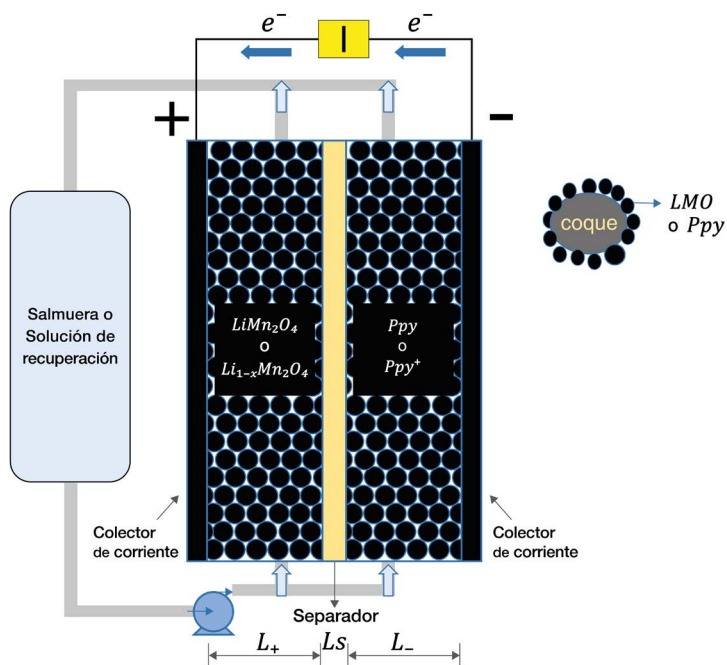
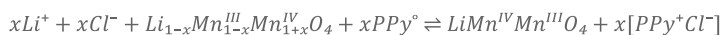


Fig. 3: Esquema del sistema de extracción PPy/LMO, donde el reactor es tipo filtro prensa con lecho empacado.

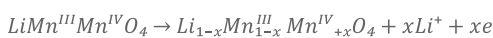


El estudio teórico y experimental de este sistema mostró que la máxima eficiencia de recuperación de Cloruro de Litio medida en mg de Li extraído por g de LMO, se puede lograr nivelando las capacidades de extracción de PPy y LMO a través de una gran proporción de masa de PPy a LMO de 10:1. Además, la densidad de corriente aplicada debe ser baja y consistente con la densidad de corriente local de intercalación y el área superficial electroactiva del LMO,

mientras que se necesita una velocidad de flujo de electrolito mayor o igual a 1 ml/min para compensar los gradientes de difusión de litio en el cátodo y en consecuencia utilizar el electrodo uniformemente. Se calculó un costo de energía de $5\text{Wh}\cdot\text{mol}^{-1}$ de litio recuperado.

Sistema LMO/ λ -LMO con electrodos tridimensionales en lecho empacado

Para este sistema, la reacción electroquímica en el cátodo es:



En el cátodo:



($0 \leq x \leq 1$, y , $y \leq x$)

Si $x=y$, se logra la intercalación completa del litio, y se obtiene la ecuación:



En este sistema se estudió el efecto de diferentes velocidades de flujo de electrolitos en los perfiles de concentración de litio en solución y en la capacidad de extracción del sistema. Además se estudió el efecto de aplicar mayores densidades de corrientes al sistema, la importancia del estado de carga inicial de litio de los electrodos y el consumo específico de energía: $2,76\text{Wh}\cdot\text{mol}^{-1}$ de litio recuperado. Se implementó la medición de concentración de litio en la solución de recuperación a lo largo de los experimentos, con un electrodo potenciométrico selectivo a iones litio.

Sistema LMO/ λ -LMO con electrodos porosos planos

Se estudió el efecto de la diferencia del estado de carga inicial de los electrodos sobre la capacidad de extracción. Se estudió la relación entre la corriente total aplicada máxima, el área superficial electroactiva y el efecto de la densidad de corriente local en la interfaz partícula/electrolito determinada por la ecuación de Butler-Volmer.

Se mejoró la capacidad de carga de iones litio de los electrodos, lo que significa que mejoró su capacidad de extracción. Se usó hasta un 71 % de su capacidad de carga total. Se encontró una eficiencia de corriente del 85 % y se calculó para este sistema una energía específica consumida de $2,16\text{Wh}\cdot\text{mol}^{-1}$.

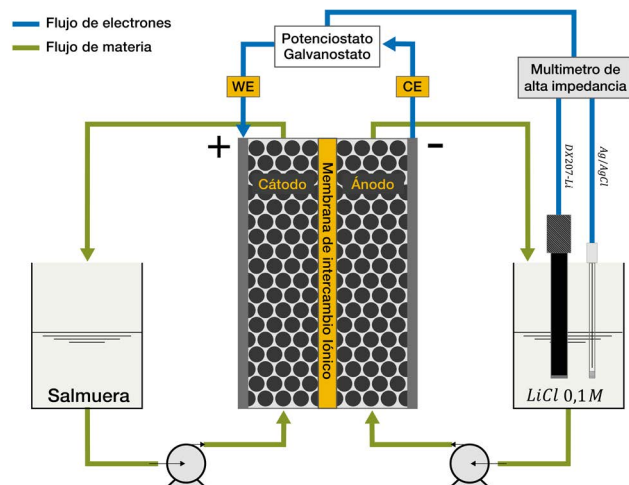


Fig. 4: Esquema del sistema de extracción LMO/ λ -LMO donde el reactor es tipo filtro prensa con lecho empacado y se representa el sistema de medición de concentración de litio con el electrodo DX207-Li en la solución de recuperación. WE: electrodo de trabajo, CE: contra electrodo.

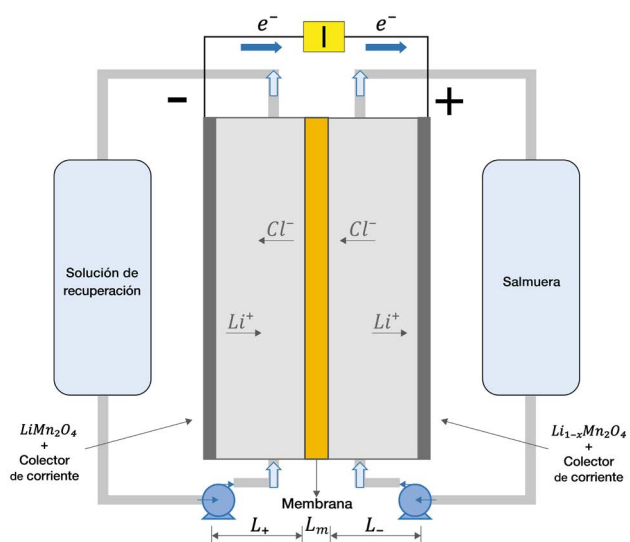


Fig. 5: Esquema del sistema de extracción LMO/ λ -LMO para el reactor de electrodos porosos planos.

6. Conclusiones

Se diseñaron, construyeron, estudiaron teórica y experimentalmente sistemas electroquímicos de alta selectividad para la recuperación de cloruro de litio de salmueras del altiplano ricas en litio. Se determinaron los parámetros críticos para llevar el proceso a escala industrial: área superficial electroactiva, masa de material de intercalación, velocidad de flujo de electrolitos, resistencia eléctrica en electrodos y electrolito, y densidad de corriente aplicada que determina la velocidad de captura o extracción y la eficiencia de recuperación.

Algunas conclusiones que se desprenden del trabajo de tesis son:

- La energía calculada que requieren los sistemas desarrollados, LMO/ λ -LMO y PPy/LMO están entre 2 y 5 Wh.mol⁻¹ de litio y es notablemente menor a la requerida en separación por electrodialisis de litio de salmuera, de 660 Wh.mol⁻¹ de litio [11] y del orden para tecnologías electroquímicas de recuperación de litio similares, menor a 10 Wh.mol⁻¹ [12].
- El 59 % de la masa de LMO puesta en el reactor de electrodos porosos planos se encontró activa y pudo ser usada para extraer litio. Por lo tanto, bajo las condiciones estudiadas, el sistema se debe sobredimensionar de modo tal que para recuperar 38 mg de litio, en lugar de colocar 1 g de LMO, se deberá colocar 1,7 g de LMO.
- Para alcanzar el efecto incremental de la capacidad de extracción del sistema debido a la convección forzada, se requiere un caudal volumétrico mínimo de 1 ml.min⁻¹, que permite romper los gradientes formados por la difusión de iones en el electrolito y transportar los iones por convección, llevando a un uso homogéneo de los electrodos.
- La caída óhmica es del orden de los 2 a 4 Ω , y se deben principalmente a la resistencia del material de intercalación y el contacto superficial entre las partículas del mismo material, LMO, y en menor medida a la resistencia de la solución diluida de recuperación. Esta caída óhmica debe ser reducida ante el objetivo de escalar el reactor.
- La máxima densidad de corriente aplicada al sistema está determinada por la estrecha relación con el área electroactiva disponible y la densidad de corriente local que admite el sistema. Cuando estas condiciones no son las adecuadas en el sistema, se observa una gran caída óhmica y sobrepotencial.

- La velocidad de captura o extracción de litio depende de la densidad de corriente aplicada, y para los sistemas de extracción estudiados se encuentra cerca o por encima de los valores reportados para otros métodos. Para el sistema LMO/ λ -LMO con electrodos porosos planos se obtuvo 8 mg_{Li}.h⁻¹.g_{LMO}⁻¹, a 0,2 mA.cm⁻² y para el sistema LMO/ λ -LMO con electrodos porosos tridimensionales 25 mg_{Li}.h⁻¹.g_{LMO}⁻¹ a 1,4 mA.cm⁻².

Bibliografía

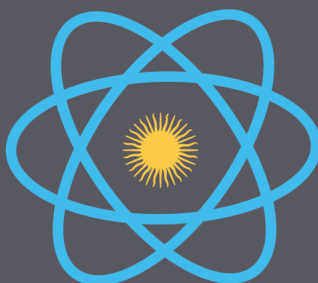
- [1] Marchini, F. (2018). Recuperación electroquímica de LiCl en electrodos de LiMn2O4 desde salmueras naturales de la puna argentina. Tesis, Buenos Aires: Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.
- [2] Meshram, P., Pandey, B. D. y Mankhand, T. R. (2014). Extraction of Lithium from Primary and Secondary Sources by Pre-Treatment, Leaching and Separation: A Comprehensive Review. Hydrometallurgy, vol. 150, pp. 192-208.
- [3] Calvo, E. J. (2021). Direct Lithium Recovery from Aqueous Electrolytes with Electrochemical Ion Pumping and Lithium Intercalation. ACS Omega.
- [4] Kanoh, H., Ooi, K., Miyai, Y. y Katoh, S. (1991). Selective Electroinsertion of Lithium Ions into a Platinum/Lambda-Manganese Dioxide Electrode in the Aqueous Phase. Langmuir, vol. 7, n.º 9, pp. 1841-1842.
- [5] Pasta, M., Battistel, A. y La Mantia, F. (2012). Batteries for Lithium Recovery from Brines. Energy & Environmental Science, vol. 5, p. 9487.
- [6] Trocoli, R., Battistel, A. y La Mantia, F. (2014). Selectivity of a Lithium-Recovery Process Based on LiFePO4. Chemistry, A European Journal, vol. 20, n.º 32, pp. 9888-9891.
- [7] Trocoli, R., Erinmwingbovo, C. y La Mantia, F. (2017). Optimized Lithium Recovery from Brines by Using an Electrochemical Ion Pumping Process Based on L-MnO2 and Nickel Hexacyanoferrate. ChemElectroChem, vol. 4, n.º 1, pp. 143-149.
- [8] Palagonia, M. S., Broglioli, D. y La Mantia, F. (2019). Effect of Current Density and Mass Loading on the Performance of a Flow-Through Electrodes Cell for Lithium Recovery. Journal of The Electrochemical Society, vol. 166, n.º 10, pp. E286-E292.
- [9] Marchini, F., Calvo, E. y Williams, F. (2018). Effect of the Electrode Potential on the Surface Composition and Crystal Structure of LiMn2O4 in Aqueous Solutions. Electrochimica Acta, vol. 269, pp. 706-713.
- [10] Chougule, M. A., Pawar, S. G., Godse, P. R., Mulik, R. N., Sen, S. y Patil, V. B. (2011). Synthesis and Characterization of Polypyrrole (PPy) Thin Films. Soft Nanoscience Letters, vol. 1, pp. 6-10.
- [11] Guo, Z.-Y., Ji, Z.-Y., Chen, Q.-B., Liu, J., Zhao, Y.-Y., Li, F., Liu, Z.-Y. y Yuan, J.-S. (2018). Prefractionation of LiCl from Concentrated Seawater/Salt Lake Brines by Electrodialysis with Monovalent Selective Ion Exchange Membranes. Journal of Cleaner Production, vol. 193, pp. 338-350.
- [12] Joo, H., Lee, J. y Yoon, J. (2020). Short Review: Timeline of the Electrochemical Lithium Recovery System Using the Spinel LiMn2O4 as a Positive Electrode. Energies, vol. 13, n.º 23, p. 6235.



NUCLEOELECTRICA
ARGENTINA S.A.

NUCLEOELÉCTRICA ARGENTINA

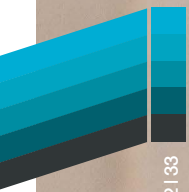
#MÁSQUE
ENERGÍA



¡Seguinos!



www.na-sa.com.ar



NUESTROS
GRADUADOS

.ing | 32 | 33



En el tren de la ingeniería

Entrevista al Ing. Alejandro Felizia, graduado de la FIUBA y uno de los responsables del sistema ferroviario argentino, desde su rol en ADIF como gerente de proyectos.

Alejandro Felizia nació en Buenos Aires el 17 de septiembre de 1980 y se graduó como ingeniero civil en 2006, en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires, con una posterior especialización en transporte. Su vínculo con la profesión comenzó en su hogar, ya que había antecedentes, porque su padre, su tío y su hermano son ingenieros civiles, y su hermano mayor, ingeniero electrónico. Siempre tuvo un interés por cuestiones de física y química, sumado a haber sido testigo del trabajo de sus familiares, lo que hizo que se decidiera por estudiar ingeniería civil. Felizia siempre estuvo vinculado al área de la ingeniería del transporte, y recuerda: “Ya de estudiante comencé a participar de campañas de toma de datos de estudios de transporte, censos OD, encuestas de demandas, etc. En 1998 tuve mi primera participación en un censo de tránsito, en la autopista General Paz, en su intercambiador con la avenida Cabildo. Luego, comencé, aún en la época de estudiante universitario, a introducirme en el mundo de los modelos de tránsito, que estaba en ese momento en pleno surgimiento. Posteriormente, en 2003, ingresé a la Secretaría de Tránsito y Transporte del Gobierno de la Ciudad, particularmente a la Dirección de Señalamiento Luminoso, donde pude conocer los métodos de control del tránsito urbano, su mantenimiento y gestión”.

Ya recibido como ingeniero civil, fue contratado por el PNUD como asesor especialista en tránsito para la Dirección General de Tránsito del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. En 2008, con la aprobación de la Ley 26.352, se creó la Administración de Infraestructuras Ferroviarias (ADIF), cuyas funciones y competencias son, entre otras, la confección y aprobación de proyectos de infraestructuras ferroviarias que formen parte de la red, su construcción, rehabilitación y mantenimiento. Así, Felizia pudo participar de la elaboración de proyectos y documentación licitatoria de la Línea Belgrano Cargas, Roca, Mitre y Belgrano Sur. Más tarde, a partir del 2013, comenzó a ser parte de la gestión de la ejecución de las obras, al pasar al área de “Construcciones” de la empresa. De este modo, pudo participar en la renovación de las vías entre Suárez y Rosario de la Línea Mitre.

En abril de 2021 fue designado líder de proyecto de la renovación integral de infraestructura ferroviaria de la estación Retiro, conocida como LP 80 (por su denominación interna), y sobre este trabajo, afirma: “Consiste en la reconstrucción de vías, andenes, cabinas, sistema de tracción eléctrica y señalamiento de Retiro.

Es un proyecto que fue demorado durante demasiado tiempo, considerando que la estación fue construida en 1915 y nunca recibió una renovación integral, siendo insuficiente el mantenimiento también. Esa demora se basaba en el temor a que un proyecto de tal envergadura no pudiera completarse técnica y financieramente, con lo cual dejaría con su operación limitada a una de las principales líneas de pasajeros suburbanos. Afortunadamente, luego de un trabajo arduo entre todas las partes, ya se ha completado la etapa I de la obra, por la cual fueron habilitadas las vías 5 a 8 y se está avanzando en lo referente a las vías 1 a 4 y 9 a 11”.

Felizia, por su parte, participa en la organización y gestión de la supervisión de la obra en todas sus especialidades, el vínculo con otras áreas de la empresa, el avance en la certificación de la obra con la contratista, la elaboración de informes y documentos para las distintas instituciones relacionadas con la obra, ya sea el Banco Mundial (que financia el proyecto) o el Ministerio de Transporte (de quien depende la ADIF).

En relación al mundo ferroviario, tanto en la Argentina como en el resto del mundo, asegura: “Le aguarda un destino promisorio en función de la realidad del cambio climático. A medida que mayor cantidad de medidas se tomen en esa dirección, el ferrocarril debería tomar una participación más significativa, especialmente en el transporte de graneles, contenedores y pasajeros en sectores urbanos y semiurbanos. Es así que las facultades de ingeniería deben bregar por aumentar la oferta profesional y de divulgación en todo lo vinculado al mundo ferroviario” ■

“El ferrocarril debería tomar una participación más significativa, especialmente en el transporte de graneles, contenedores y pasajeros en sectores urbanos y semiurbanos”.

A portrait of Nancy Viviana Ocello, a woman with long blonde hair, smiling and looking slightly to the right. She is wearing a white collared shirt under a dark vest. The background is a blurred outdoor scene with green foliage and a building.

PROTAGONISTAS
DE LA FIUBA

.ing | 34

Espíritu legislativo

Entrevista a **Nancy Viviana Ocello**, nodocente con más de 25 años de trabajo en la Facultad de Ingeniería de la UBA, que actualmente se desempeña como directora del Despacho del Consejo Directivo.

Nancy Viviana Ocello nació en Capital Federal el 17 de marzo de 1969 y realizó sus estudios en el Instituto San Cosme y San Damián. A la Facultad de Ingeniería de la UBA ingresó en 1994, a los 25 años, en la Dirección del Despacho del Consejo Directivo, cuyo director era Ricardo Picarel. Mientras ya cumplía tareas en esta Casa de Altos Estudios, se graduó como Técnica en Administración y Gestión Universitaria en 2014.

Sus tareas cotidianas en la facultad siempre fueron diversas: “Al principio fue todo un aprendizaje, donde mis compañeras me fueron enseñando las tareas que iba a desempeñar dentro del área, como, por ejemplo, asistir en tareas propias de la dirección, a los consejeros directivos y al decano, por ejemplo”.

Durante varios años, Ocello colaboró en las seis comisiones que tiene el área, donde luego se convirtió en secretaria, y aprendió todo lo referente a las tramitaciones de licencias, renunciaciones, altas y designaciones de personal docente de esta facultad, y a trámites vinculados a la enseñanza, posgrado, investigación y doctorado; ingresos, equivalencias y reválidas; trámites de interpretación y reglamento; de presupuesto y administración y de relaciones con el medio, extensión y becas.

Hoy en día, es la directora del Despacho del Consejo Directivo y su responsabilidad es planificar, coordinar y supervisar el trabajo que realizan las distintas comisiones, garantizando el desempeño eficiente y adecuado de las funciones de cada uno de sus integrantes, como

también ser el nexo entre las autoridades y la gestión administrativa que corresponda.

“Me encargo de controlar y distribuir todo lo referente al ingreso de expedientes a mi equipo de trabajo, para la preparación de los dictámenes respectivos a tratarse en las comisiones permanentes que se reúnen todas las semanas, integradas por los consejeros directivos, quienes firman los dictámenes que posteriormente integrarán el Orden del Día, el cual se confecciona y se comunica previo a su tratamiento en la Sesión Ordinaria del Consejo Directivo, integrada por los claustros de profesores, graduados y de estudiantes”, explica Ocello.

“Posteriormente a su tratamiento, y de acuerdo a la decisión del consejo, a las propuestas se le dan forma de resolución y se envían a la firma de cada secretario para la gestión final del decano, a partir de su firma”, relata Ocello en relación a su rutina laboral, vital para toda la actividad legislativa en el ámbito de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires.

En el marco de este diálogo con *.ing*, Ocello resalta la experiencia que dejó la pandemia provocada por el Covid-19: “Nos adaptamos en muy poco tiempo a nuevas formas de trabajo, como el uso del expediente electrónico. Sin dudas, los cambios en la labor cotidiana fueron beneficiosos para nuestro sector. Aunque ya no realicemos nuestras tareas a distancia, buena parte de lo aprendido, continuamos aplicándolo cotidianamente; algo que me llena de orgullo por el compromiso y la dedicación de todo el equipo de trabajo del área” ■



telecom



Potenciamos tus ganas de avanzar

Evolucionamos impulsando la inclusión
tecnológica y el talento digital.

TODO LO QUE HACEMOS ES
EL RESULTADO DE **CÓMO LO HACEMOS**



PERSONAS CON BUENA ENERGÍA

Sumá vos también tu energía a la compañía líder en Argentina y la región,
donde podrás potenciar tu desarrollo profesional y ser protagonista
de la transición energética.



Pan American
ENERGY