

.ing

Una publicación de la Facultad de Ingeniería de la UBA

| ZOOM

Soldadura de piezas metálicas por  
difusión mediante una fase líquida transitoria

| DOSSIER

Modelado computacional de  
procesos de fractura hidráulica



# Ingeniería al plato



**ALIMENTOS  
Y NUEVAS  
TECNOLOGÍAS**

**TODO SE  
TRANSFORMA**

**BIOFACTORÍAS  
EN LA INDUSTRIA  
ALIMENTARIA**

**ANTIMICROBIANOS  
NATURALES Y  
ALIMENTOS**



# GRANDES PROYECTOS FORMAN NUESTRA HISTORIA Y VOS PODÉS SER PARTE DE ELLA.

El Grupo Techint mantiene un fuerte compromiso con el desarrollo académico y profesional de los jóvenes, brindando oportunidades únicas de carrera.



# SUMARIO

## STAFF

### Comité Editorial

(Por Res. Decano 786/2019)

Ing. Mario Alonso

Dr. Ing. Juan Giribet

Dr. Ing. Sergio Lew

### Coordinador editorial:

Lic. Daniel Krupa

### Equipo de producción

#### Diseño

DG Carla Percivale

DG Tatiana Zambianchi

#### Redacción de contenidos

Lic. Daniel Krupa

Jerónimo Liñán

#### Editor de fotografía

DG Martín Dubovich

#### Corrección

Bettina Villar

#### Asistente de producción

Marisol Rivera

Impreso en noviembre de 2019.

Revista .ing es una publicación de distribución gratuita.

ISSN 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](http://www.ingenieria.uba.ar)

f t i n /ingenieriauba

YouTube /FIUBAoficial

## EDITORIAL

En 2020, la Argentina celebrará su ingeniería  
**04**

## BREVES

La FIUBA, sede de la SDEWES 2020  
Encuentro internacional sobre bioingeniería  
Educación e ingeniería  
Congreso sobre hormigón  
**05**

## INGENIERÍA AL PLATO

Alimentos y nuevas tecnologías  
**06 | 11**

## INGENIERÍA AL PLATO

Todo se transforma  
**12 | 13**

## INGENIERÍA AL PLATO

Biofactorías en la industria alimentaria  
**14 | 18**

## INGENIERÍA AL PLATO

Antimicrobianos naturales y alimentos  
**20 | 22**

## ZOOM

Soldadura de piezas metálicas por difusión mediante una fase líquida transitoria  
**24 | 25**

## DOSSIER

Modelado computacional de procesos de fractura hidráulica  
**26 | 31**

## NUESTROS GRADUADOS

Viaje al centro de la tierra  
Ing. Alejo O. Sfriso  
**32 | 33**

## PROTAGONISTAS DE LA FIUBA

Navegando en el subsuelo de Paseo Colón  
Ing. Miguel Ángel Rapa  
**34**

N° 06

## En 2020, la Argentina celebrará su ingeniería



En el editorial del último número de nuestra revista, hacía referencia a la celebración del 150 aniversario de graduación de Luis Augusto Huergo –el primer ingeniero recibido en este país y en esta universidad–, que nos encontrará trabajando en la mejor forma de festejo posible: actualizando la oferta académica de grado y posgrado, a partir de lo que hemos dado en llamar Plan 2020. En este contexto, también relanzaremos nuestra política de investigación en ciencia y tecnología, que estará en consonancia con estas reformas académicas.

En esta nueva edición, quiero anticiparles algunos de los puntos centrales del calendario 150ING, un megaevento que compartiremos con otras instituciones afines del ámbito de la educación, de la producción e industria, y de la ciencia y la tecnología, como así también con consejos profesionales y asociaciones gremiales y empresarias que, por supuesto, hacen al ejercicio de nuestras especialidades. De esta forma, constituiremos una agenda que será un hito en la historia de nuestra facultad.

Durante todo 2020, centraremos la programación del Año de la Ingeniería en estudiantes, docentes, graduados e investigadores con el foco puesto en el reconocimiento, la promoción y el desarrollo de soluciones a las exigencias que nuestra sociedad reclama, haciendo honor a nuestra misión como universidad pública.

Desde el punto de vista organizativo, hemos dividido el cronograma en tres sectores: las actividades que realiza-

remos en nuestra propia casa, aquellas que se desarrollarán en otras instituciones y en propuestas que se desplegarán en conjunto entre más de un organismo, de manera simultánea.

En lo que respecta a las temáticas por abordar, estamos planificando segmentar estos meses de festejos en semanas que rememoren, promuevan y festejen la riqueza arquitectónica de nuestros edificios, la innovación, la sustentabilidad, la ciencia de datos, la visita de Einstein a la Argentina, los avances de la electrónica, el impacto científico de lo que fue la Primera Computadora Argentina, las posibilidades de la geociencia y la agrimensura, entre otros tantos ejes, que se sumarán a lo que será una programación que, por supuesto, compartiremos oportunamente en nuestras vías de comunicación habituales.

En el marco de los desafíos que nos hemos autoimpuesto para actualizar, modernizar y reposicionar a esta querida y prestigiosa institución como líder de la ingeniería en la Argentina y en el mundo entero, es más que apropiado y motivador recoger el espíritu y las ideas de Huergo, nuestro primer ingeniero, y también de nuestra primera ingeniera, Elisa Bachofen, como pioneros y patriotas de nuestro país y de nuestra profesión.

**Ing. Alejandro M. Martínez**  
Decano de la Facultad de Ingeniería  
de la Universidad de Buenos Aires

01

## La FIUBA, sede de la SDEWES 2020

Desde el 9 al 12 de febrero, la sede de Av. Paseo Colón 850 de la FIUBA será escenario de un encuentro internacional organizado por la SDEWES –por sus siglas en inglés: Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems–, una organización científica no gubernamental que busca promover el desarrollo sostenible de la energía, el agua y el medioambiente.

Más información en [www.buenosaires2020.sdewes.org](http://www.buenosaires2020.sdewes.org)

Del 4 al 6 de marzo de 2020 se celebrará en Piriápolis, Uruguay, una nueva edición del Congreso de la Sociedad Argentina de Bioingeniería. “Biomateriales”, “Gestión de tecnología médica”, “Ingeniería de rehabilitación”, “Informática médica”, “Procesamiento de señales” y “Vigilancia sanitaria”, son sólo algunos de los ejes del encuentro.

Para más datos: [www.sabi2020.com](http://www.sabi2020.com)

## Encuentro internacional sobre bioingeniería

02

## — Educación e ingeniería

03

El IV Congreso Mundial de Educación en Ingeniería se llevará a cabo en Bogotá, Colombia, del 15 al 18 de marzo de 2020. Según lo anticipado por sus organizadores, esta edición estará dedicada a debatir sobre los desafíos de la computación y la tecnología sin exclusiones: la innovación frente a la revolución industrial 4.0.

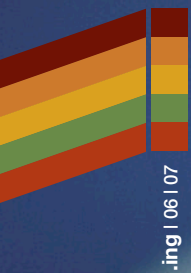
Para conocer más detalles: [www.edunine.eu](http://www.edunine.eu)

04

## Congreso sobre hormigón

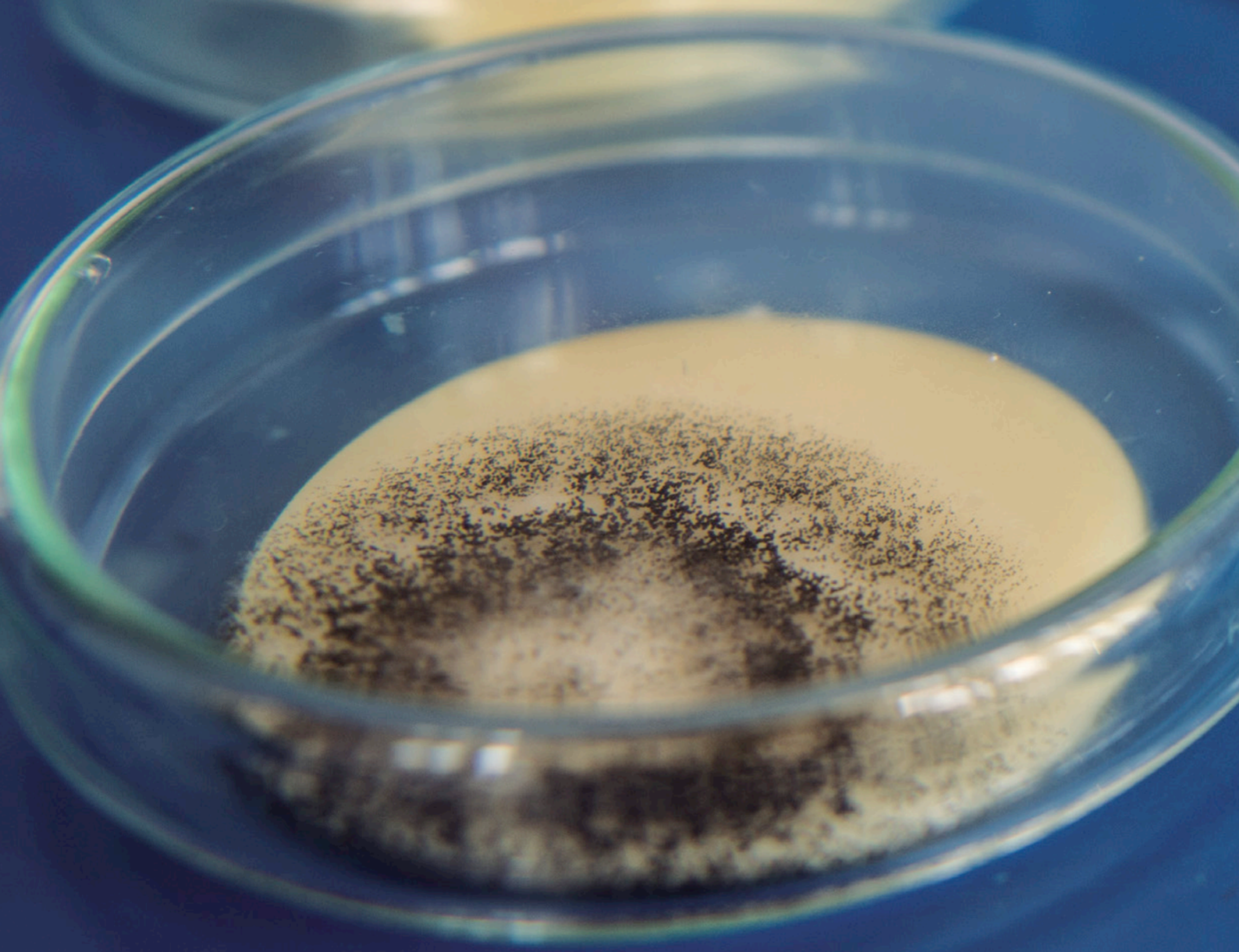
En noviembre de 2020, la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón realizará su IX Congreso Internacional. El encuentro se celebrará en La Plata, puntualmente en las sedes del Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica de la provincia de Buenos Aires (LEMIT), la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata y la Facultad Regional La Plata de la Universidad Tecnológica Nacional.

Más información en [www.aath.org.ar](http://www.aath.org.ar)



INGENIERÍA  
AL PLATO

.ing | 06 | 07



A close-up photograph of several glass petri dishes containing microbial cultures. The cultures show various colors and textures, including yellow, green, and brown, suggesting different types of microorganisms or growth stages. The dishes are arranged on a blue surface, and the focus is sharp on the central dish.

# Alimentos y nuevas tecnologías

La **Dra. Rosa J. Jagus** –actual directora de la carrera de Ingeniería de Alimentos– le explica a *.ing* cuáles son los desafíos de la elaboración de productos comestibles a escala global a partir de escenarios tan contrapuestos que van del hambre al hiperconsumo.

**E**l Plan de Estudios de la carrera de Ing. de Alimentos que se dicta en la Facultad de Ingeniería y en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA señala que el graduado en esta disciplina “posee una profunda formación en ciencias básicas, tecnologías, economía y legislación y preservación de alimentos. Está capacitado para diseñar, planificar y dirigir instalaciones, equipos e instrumentos involucrados en la elaboración, optimización, fraccionamiento, envasado, conservación, almacenamiento y comercialización de alimentos. Contribuye, además, al desarrollo científico-tecnológico, la seguridad alimentaria y el saneamiento ambiental de esta industria mediante la investigación y el liderazgo en el diseño e implementación de programas de aseguramiento de calidad”. De forma más amplia, también especifica que un profesional de la ingeniería está preparado para responder a problemáticas más profundas como el cambio climático o el respeto por los recursos naturales para las futuras generaciones. Y es ahí donde la provisión de alimentos empieza a jugar un rol indiscutiblemente vital.

La Dra. Rosa Jagus, actual directora de esta carrera, es también investigadora científica desde 1981. Le ha dedicado toda una vida a desplegar posibles respuestas al interrogante sobre cómo generar más y mejores alimentos para una población no sólo cada vez más numerosa sino también más exigente. En los últimos años, desde la coordinación del Laboratorio de Investigación en Tecnología de Alimentos (LITA), del Departamento de Ingeniería Química de la FIUBA, su principal

proyecto de trabajo está centrado en el desarrollo de nuevas tecnologías al servicio del consumidor contemporáneo.

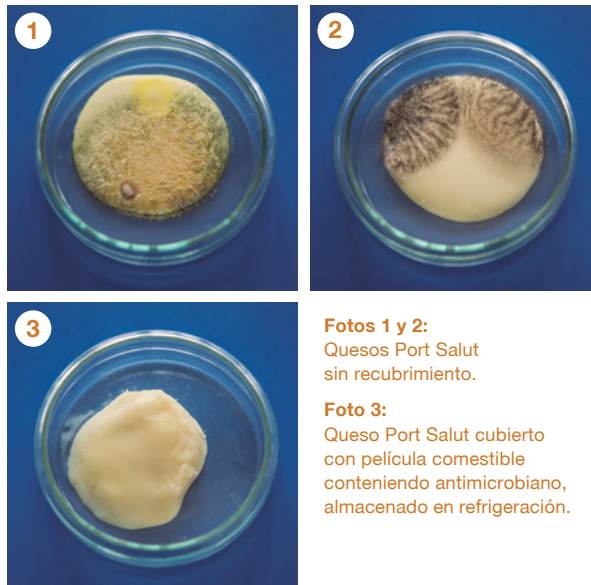
Cuando desde .ing se le pregunta a Jagus por las exigencias de un cliente muchísimo más informado que hace diez o veinte años, aclara que los desafíos actuales que se presentan para los científicos, los tecnólogos y la industria son de distinto tipo. “Las proyecciones de crecimiento demográfico mundial predicen graves problemas de disponibilidad de alimentos para las generaciones futuras. Por lo tanto, será necesario aumentar considerablemente la producción e intensificar la búsqueda de alternativas para lograr el aprovechamiento integral de los recursos naturales. Esta problemática se debe abordar cuanto antes para estar preparados y poder proveer soluciones adecuadas. Por otro lado, el rol fundamental y determinante que tiene la alimentación en la salud es ampliamente reconocido y aceptado. De hecho, la calidad de la dieta se encuentra asociada a las cuatro enfermedades de mayor prevalencia en nuestra sociedad: enfermedades cardiovasculares, cáncer, hipertensión y obesidad. Es por ello que desde distintos organismos nacionales e internacionales se recomienda a la población llevar una alimentación más saludable. El consumidor actual, más informado, toma conciencia de esta realidad, y trata de mejorar su salud controlando su alimentación. Como consecuencia, surgen más exigencias en relación a la calidad, seguridad y salubridad, como así también al origen natural de los componentes”.



Proceso de envasado de verdura de hoja en atmósfera modificada.

Ingeniera Química con un título de Master of Science, Chemical Engineering in Biological Engineering, otorgado por la Universidad de Birmingham (UK), y un doctorado en Ciencias Químicas en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA, Jagus explica que, en este contexto, hay un gran interés en el desarrollo y aplicación de antimicrobianos naturales (en reemplazo de los químicos sintéticos), así como en la búsqueda de nuevas fuentes para su obtención. A su vez, el cuidado del medioambiente y la sustentabilidad de los procesos han adquirido gran relevancia para el consumidor actual. “Desde nuestro grupo de investigación trabajamos a partir de dichos aspectos. Abordamos el tema de antimicrobianos naturales en la conservación de alimentos de distinto origen, estudiando también las distintas formas de aplicación. Hemos investigado acerca de la conservación de alimentos lácteos como ricota, queso Petit Suisse y queso Port Salut, a través de la aplicación de antimicrobianos naturales como nisina, natamicina y Microgard. En los dos primeros casos, los productos fueron elaborados en nuestra Planta Piloto de Alimentos (ubicada en el Pabellón de Industrias de la UBA) con procesos previamente optimizados. Luego, se desarrollaron los procesos de conservación que permitieron prolongar su vida útil utilizando estos antimicrobianos naturales. En el caso del queso Port Salut, se desarrollaron películas comestibles que contenían antimicrobianos naturales. Estas películas se utilizaron como material de embalaje del queso mejorando su calidad microbiológica. Al mismo tiempo, desarrollamos procesos para prolongar la vida útil de espinaca y hojas de remolacha utilizando estos antimicrobianos y extractos de té verde”, afirma la entrevistada.

Es sabido que los métodos tradicionales de preservación afectan las propiedades sensoriales y nutricionales de los alimentos tratados. Debido a esto, en los últimos años se ha puesto el foco en el estudio, el desarrollo y la implementación de tecnologías alternativas de conservación de alimentos que presenten mínimas modificaciones inducidas por las propias tecnologías. “Las tecnologías no-térmicas –detalla Jagus– son capaces de inactivar tanto microorganismos patógenos y de deterioro como las principales enzimas deteriorativas, proporcionando productos seguros y frescos con cambios mínimos en sus propiedades nutricionales y organolépticas. Sin embargo, se debe tener en cuenta que sus efectos dependen fuertemente de la matriz alimentaria, por lo



**Fotos 1 y 2:**  
Quesos Port Salut  
sin recubrimiento.

**Foto 3:**  
Queso Port Salut cubierto  
con película comestible  
conteniendo antimicrobiano,  
almacenado en refrigeración.

**“Las proyecciones de crecimiento demográfico mundial predicen graves problemas de disponibilidad de alimentos para las generaciones futuras”.**



tanto, seleccionar la tecnología no-térmica más apropiada junto con condiciones de procesamiento validadas para asegurar la calidad integral y la inocuidad de cada producto debe ser uno de los principales objetivos de los investigadores y tecnólogos alimentarios que trabajan en este campo”.

Cuenta Jagus que también han trabajado con irradiación, una tecnología utilizada en más de cincuenta países, cuya seguridad es respaldada por importantes instituciones como la OMS y la FAO, entre otras. En Argentina, la irradiación se aplica desde 1988, pero en el año 2017 ha recibido un gran impulso, gracias a una modificación en el Código Alimentario Argentino que ha extendido la lista de productos que pueden ser irradiados. “Nuestro país tiene la gran ventaja de tener producción nacional de cobalto-60, el principal insumo requerido para el proceso, y cuenta con dos plantas de irradiación, una semindustrial perteneciente a la Comisión Nacional de Energía Atómica y una industrial perteneciente a la empresa privada IONICS S.A. Nuestra investigación se desarrolló en colaboración con la CNEA, Sección Irradiación de Alimentos, del Centro Atómico Ezeiza. Se estudió la conservación de hojas de espinaca para consumo en fresco. En este marco, se llevaron adelante paneles de degustación de producto irradiado en comparación con el producto fresco, y se implementó una encuesta en relación a aceptación de la tecnología y cambios posibles del consumidor cuando se le suministra información sobre el tema”, dice la entrevistada.

**“En el caso de empresas elaboradoras, es posible realizar desarrollos y brindar un apoyo en mejoras de procesos.”**

Otra tecnología vinculada a la industria de los alimentos que se ha desplegado desde la FIUBA es la de altas presiones hidrostáticas. Esta tecnología ha tenido un gran desarrollo industrial a nivel mundial, “aunque en Argentina aún está muy poco explorada”, aclara Jagus, agregando que “si bien su costo de inversión es elevado, consume menos energía que las tecnologías convencionales, y a su vez permite la obtención de productos de muy buena calidad. Su metodología consiste en

la aplicación de presiones muy altas a temperaturas entre 0°C y 100°C durante un corto período de tiempo (desde segundos a veinte minutos) en alimentos previamente envasados. Este trabajo se desarrolló en colaboración con el Instituto Tecnología de Alimentos, Centro de Investigación de Agroindustria, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, donde se encuentra el único equipo de altas presiones hidrostáticas a escala piloto del país”. Fue con esta línea de investigación que se desarrolló un batido vegetal, utilizando esta tecnología para su conservación, y se obtuvieron resultados muy alentadores, tanto en relación con la efectividad del proceso como con la aceptación del producto por parte de los consumidores. “El envasado en atmósfera modificada es una técnica de conservación ambientalmente sostenible, económicamente accesible y muy versátil, y representa una alternativa interesante y ampliamente utilizada para extender la vida útil de productos hortícolas. En nuestro caso, hemos utilizado esta técnica en combinación con antimicrobianos naturales, y logramos un producto de hojas de remolacha con buena calidad organoléptica y nutricional y mayor vida útil”, comenta.

En lo que respecta al cuidado del medioambiente, desde este laboratorio de la FIUBA han desarrollado investigaciones en recuperación y revalorización de residuos de la industria alimentaria. Es bien conocido que el treinta por ciento de la producción mundial de alimentos se desecha, lo cual genera un serio problema ambiental. Esto representa una problemática de suma relevancia y es necesario hacer un esfuerzo no sólo en recuperar sino en revalorizar estos residuos. Jagus da un ejemplo bien claro: “Estamos trabajando intensamente en la recuperación de hojas de remolacha, que representan el cincuenta por ciento de la planta, y son generalmente descartadas. Su revalorización representa un aporte a la sustentabilidad de la cadena agroalimentaria, presentando beneficios ambientales y económicos. Hemos utilizado distintas tecnologías para su revalorización”.

Cuando se le pregunta a la directora de la carrera de Ing. de Alimentos sobre cuáles serían los parámetros del “consumidor local” y qué lo diferenciaría del “consumidor global”, afirma que a la fecha la población tiene una mayor posibilidad de acceso a la información disponible en internet. “Sin embargo, la educación juega un rol fundamental. En nuestro país, es necesario incrementar la educación desde la escuela inicial para que todos los consumidores tengan las herramientas



Dra. Carolina P. Ollé Resa; Ing. Sofía Berti; Dra. Julia Nutter; Dra. M. Victoria Agüero; Dra. M. Verónica Fernández; Cintia García (Técnica CONICET); Samanta Nieva (Tesisista de Grado de Ingeniería de Alimentos) y la Dra. Rosa J. Jagus.

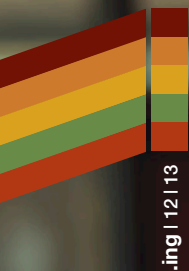
necesarias para leer y entender la información disponible y puedan decidir sobre su alimentación. Es importante mencionar que la oferta es más limitada en nuestro país que en países desarrollados, y que la información que los alimentos envasados presentan en sus rótulos, de acuerdo a las reglamentaciones vigentes, es en muchos casos difícil de comprender para el consumidor. Varios países de la región ya tienen lo que se denomina sistema de semáforo que simplifica la elección del alimento de acuerdo a la salud del consumidor”.

Sobre la transferencia de conocimiento, Jagus destaca que los temas de investigación son todos aplicados y que estos son seleccionados a partir del contexto local. “Si bien es posible utilizar estos desarrollos para transferencia al medio productivo, no hemos trabajado hasta el momento en una vinculación formal. Actualmente, como una primera herramienta de vinculación, estamos estableciendo servicios tecnológicos de alto nivel. A su vez hemos iniciado contactos con las oficinas de vinculación tecnológica de CONICET y UBA para dar a conocer nuestras líneas de investigación y tener posibilidad de iniciar actividades que favorezcan la transferencia.

“Propiedades físicas y actividad antimicrobiana de películas comestibles elaboradas a partir de biopolímeros”, “Potencialidad de citral como antimicrobiano natural: aplicación en subproductos y alimentos lácteos” y “Conservación de hortalizas

de hoja por aplicación de antimicrobianos naturales y tecnologías no térmicas” son sólo algunas de las tesis que actualmente se desarrollan desde la FIUBA para el infinito mercado de los alimentos industriales.

Ante un listado tan amplio de líneas de investigación, resulta imposible no preguntarle a la Dra. Jagus sobre la interacción de su equipo de trabajo con el sector privado. Al respecto, explica que su grupo mantiene vinculación con productores agropecuarios y elaboradores de distintos productos: “Cada sector presenta una realidad distinta. Hay sectores muy poco desarrollados, como el de los pequeños productores hortícolas, a los que sería muy factible asesorar en sus procedimientos para mejorar la calidad de productos que venden en el mercado. En el caso de empresas elaboradoras, es posible realizar desarrollos y brindar un apoyo en mejoras de procesos, como así también en calidad y seguridad de productos” ■



INGENIERÍA  
AL PLATO



# Todo se transforma

Entrevista a la **Dra. María Verónica Fernandez**, que le cuenta a *.ing* una serie de pruebas de laboratorio a fin de recuperar las hojas de remolacha para distintos usos en el ámbito de la industria de los alimentos, y evitar de esta manera su habitual y masivo descarte.

La Dra. María Verónica Fernandez en los últimos años ha dedicado sus investigaciones científicas a la revalorización de las hojas de remolacha, un producto de la agricultura industrial que suele descartarse. Consultada por *.ing*, esta científica de la FIUBA explica que si bien en los orígenes del cultivo de remolacha, la hoja era el producto principal, hoy en día la raíz tomó protagonismo y en Argentina la hoja no se consume y constituye un subproducto de descarte. De hecho, en una encuesta *online* realizada en el marco de sus investigaciones, se encontró que entre los consumidores de remolacha, la gran mayoría (68,1%) no consume las hojas, teniendo la costumbre de cortarlas y descartarlas.

“Para comenzar con los estudios de revalorización comprobamos el valor nutritivo de las hojas de remolacha, y encontramos que este subproducto es una fuente de valiosos nutrientes, destacándose por su contenido de proteínas, grasas y fibras, del orden o incluso mayor que el informado para otros vegetales de hoja de consumo habitual. Un estudio de composición proximal reveló que son una buena fuente de calcio, zinc y hierro. Adicionalmente –dice Fernandez–, se demostró que las hojas de remolacha son ricas en compuestos bioactivos como polifenoles totales, carotenoides y betalainas, cuyo consumo se ha asociado a numerosos beneficios para la salud. A partir de este hallazgo, comenzamos a trabajar sobre distintas propuestas para su revalorización. Una de ellas fue el desarrollo de un producto mínimamente procesado, en el que se utilizaron hojas de remolacha frescas cortadas y envasadas, y se evaluó el potencial de los antimicrobianos naturales nisina, natamicina, extracto de té verde y sus combinaciones tanto para controlar el crecimiento de la microbiota nativa de hojas de remolacha, así como para prevenir el desarrollo de *Listeria innocua* y *Escherichia coli* (subrogantes de las cepas patogénicas) cuando ocurre una contaminación en el producto”.

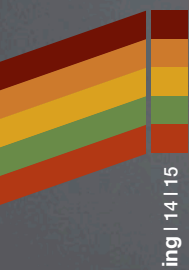
Pero eso no fue todo. Desde este laboratorio de la FIUBA también se trabajó, en el marco de esta línea de investigación, utilizando la tecnología de envasado de atmósferas modificadas como posible método de preservación. Integrante del Instituto de Tecnologías y Ciencias de la Ingeniería (INTECIN) – CONICET en el Laboratorio de Investigación en Tecnología de Alimentos de la FIUBA, Fernandez explica que: “Se comenzó seleccionando el material de empaque más promisorio entre los disponibles comercialmente en

Argentina. La mezcla de gases seleccionada fue la usualmente recomendada para vegetales de hoja. Una vez seleccionados los antimicrobianos y el material más promisorio, se evaluó el efecto de la combinación de estos tratamientos, y se obtuvieron resultados prometedores”.

A partir del año 2016, como alternativa de revalorización de las hojas de remolacha se trabajó en el desarrollo de batidos mixtos de frutas y verduras, donde se utilizó como ingrediente. Los estudios relacionados con esta línea se desarrollaron en colaboración con el Instituto de Tecnología de Alimentos del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Para la preservación de estos batidos, se aplicaron tratamientos con altas presiones hidrostáticas (APH) con el objetivo de optimizar las variables de proceso, presión y tiempo de tratamiento para mejorar la estabilidad de los atributos de calidad, garantizar la inocuidad y extender la vida útil del producto. Luego de la optimización del tratamiento, se evaluó la estabilidad de los batidos tratados en condiciones optimizadas, durante el almacenamiento en refrigeración y a temperatura ambiente.

En ese paso se realizó el testeo correspondiente para comprobar la efectividad del tratamiento frente a una contaminación con subrogantes de patógenos durante un almacenamiento en abuso de refrigeración. Con la tecnología de APH se obtuvieron resultados positivos desde el punto de vista microbiológico, nutricional y de reducción de la actividad de algunas enzimas de interés; sin embargo, las enzimas asociadas al pardeamiento del producto resultaron resistentes al tratamiento. “A partir de estos resultados, se decidió continuar las investigaciones combinando esta tecnología con antimicrobianos naturales o con el uso de temperaturas medias durante el proceso. Durante este año comenzamos a trabajar en el uso de antimicrobianos naturales, irradiación gamma y ultrasonido, como tecnologías alternativas para este producto, y se obtuvieron hasta el momento resultados muy interesantes”, se entusiasma Fernandez desde su laboratorio, ubicado en el Pabellón de Industrias de Ciudad Universitaria, un espacio de trabajo equipado para realizar distintos tratamientos y determinaciones, entre los que se destacan un equipo de ultrasonido; una centrífuga refrigerada; varias estufas de cultivo y de incubación; un espectrofotómetro y un espectrofotómetro de microplacas, entre otras herramientas de trabajo ■

Página anterior:  
La Dra. Fernandez sostiene una muestra del batido mixto de frutas y verduras desarrollado como alternativa para la revalorización de las hojas de remolacha.



INGENIERÍA  
AL PLATO

# Biofactorías en la industria alimentaria

La Dra. María Victoria Agüero describe los beneficios de la extracción de bioactivos a partir de subproductos vegetales.



**S**egún registros del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación, el 12,5 por ciento de la producción agroalimentaria de Argentina se pierde o desperdicia. El porcentaje equivale a dieciséis millones de toneladas de alimentos, de las cuales, casi la mitad, corresponde a frutas y hortalizas. Frente a esta problemática –resultante de un cúmulo de deficiencias en los procesos de recolección, almacenamiento y transporte de los alimentos, como así también en los marcos regulatorios o el sistema de precios, entre otras aristas–, existen diferentes actores de la sociedad que buscan aportar soluciones: organismos del Estado, empresas, ONGs, organizaciones de base y, también, profesionales de la ciencia y la tecnología, como la Dra. María Victoria Agüero, quien junto con el grupo de trabajo del Laboratorio de Investigación en Tecnología de Alimentos, perteneciente al Instituto de Tecnologías y Ciencias de la Ingeniería Hilario Fernández Long (INTECIN), se dedica a innovar en los procesos de conservación de alimentos, con especial interés en aquellos asociados a frutas y hortalizas.

“Nuestros trabajos desarrollados en la línea de investigación de hortalizas están orientados al diseño y la optimización de procesos necesarios para la producción de hortalizas refrigeradas mínimamente procesadas. Además, trabajamos en el aprovechamiento de los subproductos generados tanto en la producción primaria de hortalizas como en su procesamiento mínimo, a través del desarrollo de nuevos productos (batidos vegetales y ensaladas estabilizadas por métodos no térmicos y antimicrobianos naturales) y de la extracción de compuestos bioactivos para su posterior uso en la preservación y enriquecimiento de alimentos”, explica Agüero.

Este tipo de innovaciones, cuenta la investigadora, encontraron su punto de partida en la Facultad de Ingeniería de la UBA en 2012, con el arribo de Agüero al laboratorio, en consonancia

con sus estudios posdoctorales y su ingreso a la carrera de investigador del CONICET. “La conservación de hortalizas refrigeradas mínimamente procesadas mediante tecnologías no térmicas ha tenido un rápido desarrollo gracias a la incorporación y formación de recursos humanos, la obtención de financiamiento específico desde la UBA y la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT) y la colaboración con otros grupos nacionales como la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), como así también, las estadías de investigación en las universidades de Santa Catarina (Brasil) y de Lérida (España)”.

Y agrega sobre las posibles aplicaciones en el ámbito de la industria: “Nuestras investigaciones intentan aportar nuevas ideas y soluciones tecnológicas a diferentes necesidades que surgen de los sectores involucrados y tienen un alto potencial de transferencia, ya que trabajamos en el área de poscosecha y desarrollo de productos mínimamente procesados, un sector que está en pleno desarrollo en nuestro país. Argentina cuenta con varios cinturones hortícolas con productores que están ávidos de desarrollos que puedan aportar valor agregado a sus producciones, así como respuestas a problemáticas puntuales, ya sea en la precosecha como en la poscosecha”.

En relación a las pérdidas que se generan durante la producción y el procesamiento de hortalizas, en parte originadas por la eliminación de porciones de la plantas que no son utilizadas en el producto final (tallos, hojas), dice Agüero que se trata de “un serio problema de contaminación ambiental y una pérdida de rentabilidad para el productor/procesador, debido a la ineficiencia en el aprovechamiento de la materia prima producida a campo”.

La búsqueda de alternativas para revalorizar estos residuos se asume como una de las prioridades establecidas por el Programa Nacional de Reducción de Pérdidas y Desperdicios de Alimentos, creado en 2015 por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación, en el marco de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas.

En ese sentido, además de una demanda por parte del Estado, los estudios ligados al aprovechamiento de los subproductos encuentran sustento

---

**“Estas técnicas de extracción resultan de gran interés para modernizar los procesos convencionales, haciéndolos más verdes, limpios y seguros”.**

en la creciente preocupación de los consumidores por el cuidado del medioambiente, en el diseño de nuevas legislaciones ambientales o en la necesidad de introducir prácticas sostenibles en las industrias procesadoras de alimentos.

“La búsqueda de alternativas para aprovechar integralmente los recursos naturales se convierte en un desafío que los científicos debemos abordar cuanto antes, para estar preparados y para poder proveer soluciones a este fenómeno. La recuperación de subproductos hortícolas no sólo permite una mejora de la sustentabilidad de la cadena agroalimentaria, sino también múltiples beneficios económicos y sociales, ya que los productores podrían desarrollar un valor agregado a partir de recursos actualmente desaprovechados”, advierte la doctora en Ingeniería, investigadora adjunta del CONICET y docente de la FIUBA.

Consultada por la amplitud de iniciativas asociadas a su línea de trabajo, Agüero responde a *.ing* que, en los últimos años, el Laboratorio de Investigación en Tecnología de Alimentos ha avanzado en el diseño y desarrollo de procedimientos de desinfección a partir de sanitizantes naturales alternativos al hipoclorito de sodio; procesos de preservación empleando los antimicrobianos naturales nisina, natamicina y extractos de té verde y tratamientos a bajas dosis de radiación gamma y pulsos lumínicos intensos.

“En 2013 iniciamos los estudios en el área de revalorización de subproductos hortícolas. La primera estrategia abordada fue el desarrollo de un producto mínimamente procesado: hojas frescas, desinfectadas, cortadas y refrigeradas. En cuanto a las tecnologías de preservación, estudiamos el agregado de antimicrobianos naturales para controlar tanto el desarrollo de la microflora nativa como las eventuales contaminaciones con patógenos de interés o el empleo de atmósferas modificadas. La segunda línea de acción tiene que ver con la formulación de batidos vegetales empleando hortalizas y frutas. En este caso, una vez ajustada y seleccionada la formulación, determinamos su estabilidad evaluando parámetros de calidad microbiológica y nutricional, como así también, parámetros físicoquímicos y sensoriales. Para este producto, optimizamos un tratamiento de preservación empleando altas presiones hidroestáticas”, detalla.



La Dra. María Victoria Agüero.



Procesador ultrasónico de alta intensidad empleado para la extracción de compuestos fitoquímicos.

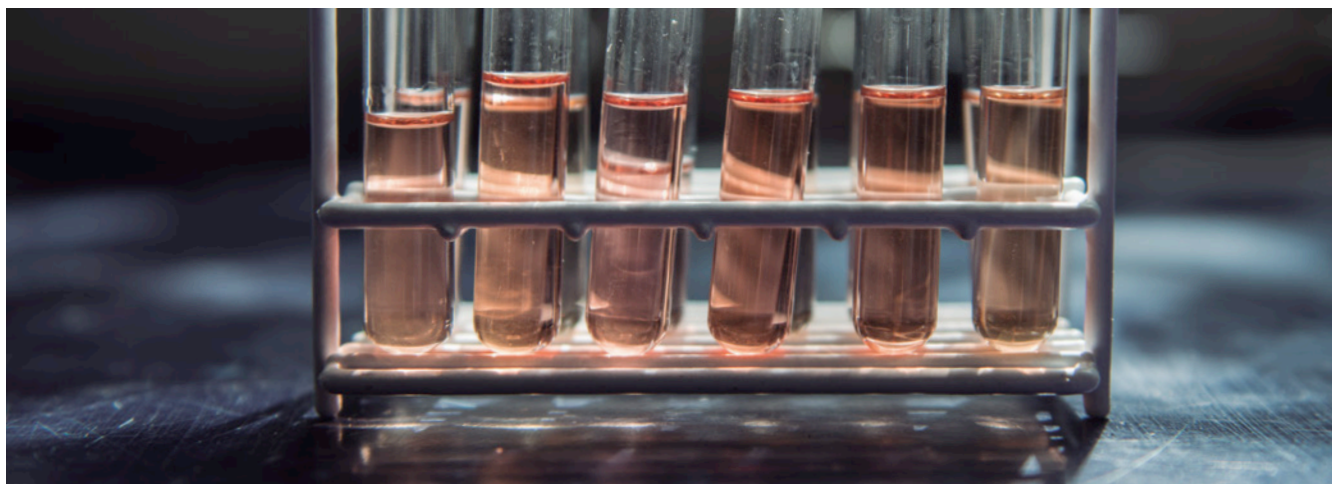
Señala Agüero que en los últimos años el laboratorio encaró también el desarrollo de estudios orientados a optimizar los procesos de extracción de compuestos bioactivos contenidos en esos subproductos, mediante el uso de agua y soluciones etanólicas. “La extracción de fitoquímicos se realiza principalmente mediante extracción sólido-líquido, a partir del uso de solventes orgánicos. En esta línea de acción hemos trabajado con residuos del procesamiento de palta (cáscara y semilla), desarrollando un método de extracción acuosa en un solo paso para recuperar polifenoles, y se evaluó la actividad antimicrobiana de estos extractos frente a *Listeria innocua* en espinaca. Además, en 2017 dimos inicio a los estudios de extracción de compuestos bioactivos a partir de hojas y tallos de remolacha. Para esos estudios, utilizamos soluciones etanólicas (consideradas GRAS –Generally Recognized As Safe– y compatibles con el desarrollo de alimentos) como alternativa a los solventes orgánicos tradicionales (metanol, acetona, entre otros). Este tipo de técnicas de extracción resulta de gran interés para modernizar los procesos convencionales, haciéndolos más verdes, más limpios, más seguros y más fáciles de implementar”, dice.

Los resultados de estas investigaciones, dice Agüero, fueron muy promisorios, en la medida en que se encontró un alto grado de eficiencia en las condiciones de extracción con respecto a los procesos tradicionales. “Actualmente, en esta línea de investigación, estamos empleando la tecnología ultrasonido para mejorar la eficiencia del

proceso de extracción, gracias a la adquisición de un equipo mediante un Proyecto de Investigación Científica y Tecnológica (PICT). Además, estamos optimizando las variables de proceso para la obtención de un extracto rico en compuestos bioactivos, utilizando agua como medio extractor”, afirma.

Y concluye: “La elaboración de alimentos con el agregado de extractos naturales que contienen fitoquímicos de alto valor resulta una excelente alternativa para incrementar su carácter nutricional y dar valor agregado a recursos subutilizados, mejorando así la sustentabilidad del sistema productivo. En este sentido, hemos avanzado en la evaluación de las propiedades antioxidantes y antimicrobianas de los extractos obtenidos en el laboratorio, así como en el uso de los mismos como aditivo natural en batidos vegetales, contribuyendo a su preservación y fortificación, dadas las propiedades beneficiosas para la salud atribuidas a los fitoquímicos presentes” ■

Extracto acuoso de compuestos fitoquímicos  
obtenido de subproductos hortícolas.



# latam.srk.com

> 1400 consultores • 45 oficinas • 20 países • 6 continentes



Ofrecemos experiencia global para proyectos de infraestructura y minería en las áreas de ingeniería civil, ingeniería geotécnica, interacción suelo-estructura, mecánica de rocas, ingeniería sísmica, geología, hidrogeología e ingeniería hidráulica.

 **srk** consulting

**45**  
1974-2019

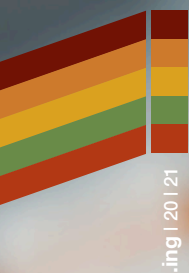


**Buenos Aires**  
Chile 300  
+54 11 4342 8887

**Mendoza**  
Av. Emilio Civit 404  
+54 261 425 6616

**Salta**  
Av. Juan D. Perón 1303  
+54 387 436 5344

**www.latam.srk.com**  
info@srk.com.ar



INGENIERÍA  
AL PLATO



# Antimicrobianos naturales y alimentos

Las doctoras **Lía Gerschenson** y **Carolina Ollé Resa**, integrantes de dos laboratorios dedicados a la investigación y la optimización de la calidad de alimentos procesados, describen los beneficios de la utilización de antimicrobianos naturales en la preservación de productos comestibles.

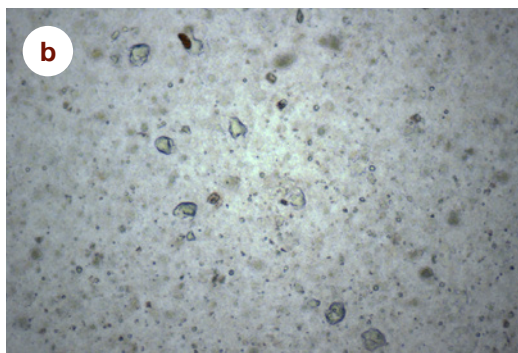
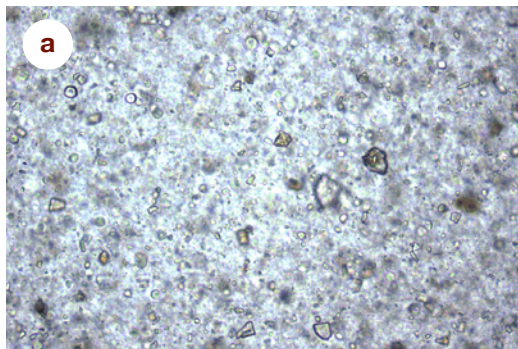
Página anterior:  
Películas a base de proteína de maíz  
(zeína) con aceite esencial de tomillo.

Ya sea en su etapa de elaboración, almacenamiento o distribución, los alimentos que llevamos a nuestra mesa están expuestos al deterioro microbiológico, es decir, a daños potenciales por parte de bacterias, hongos y levaduras. El desarrollo de estos microorganismos depende de diversos factores: el tipo de alimento, la temperatura, las condiciones de envasado; y no sólo afecta la vida útil de las comidas, sino también su sabor.

Abocadas a inhibir o disminuir esos efectos y a través de un trabajo conjunto, investigadoras del Laboratorio de Optimización de la Calidad de Alimentos Procesados (LOCAP) de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y del Laboratorio de Investigación en Tecnología de Alimentos (LITA) de la Facultad de Ingeniería de la UBA se sirven de compuestos químicos cuyo origen puede hallarse en animales, vegetales o microorganismos. Se trata de los antimicrobianos naturales, una sustancia que bajo la forma de recubrimientos y películas comestibles permite satisfacer las exigencias de los consumidores actuales, cada vez más orientados a la ingesta de alimentos saludables y seguros, libres de aditivos químicos sintéticos, y preocupados por la protección del medioambiente.

Consultadas por *.ing* acerca de la aplicación de los antimicrobianos en sus trabajos, las doctoras Lía Gerschenson y Carolina Ollé Resa, integrantes del LOCAP y del LITA, respectivamente, responden que la selección y el uso de estos compuestos está regulada por el Código Alimentario Argentino y que al momento de aprovechar sus capacidades, se debe “causar el mínimo impacto organoléptico en el alimento, contribuir a la vida útil deseada según sus condiciones de elaboración, almacenamiento y distribución y evitar interferir con el proceso microbiológico que está previsto que ocurra en el mismo, como en el caso de la maduración del queso o el levado de productos horneados”.

Es a partir de esas premisas que las investigadoras encaran sus aportes a la producción de materiales biodegradables activos, a través de una línea de trabajo ligada a la producción de recubrimientos y películas comestibles con actividad microbiana. “Los recubrimientos y películas comestibles son matrices biopoliméricas que se aplican sobre los alimentos para ayudar a preservar su calidad –explican las doctoras



Micrografía óptica superficial de películas comestibles después de diferentes tiempos de contacto con una superficie de alta aw simulando un alimento.

(a) Película comestible conteniendo natamicina después de 0 días de contacto.

(b) Película comestible conteniendo natamicina después de 10 días de contacto (aumento: 400x).

Se puede observar una reducción del tamaño de los cristales de natamicina con el tiempo de almacenamiento, indicando la lenta liberación del antimicrobiano al alimento.

Gerschenson y Ollé Resa—. Sus ventajas indican que pueden ser ingeridos por los consumidores; que disminuyen los desechos de envasado ya que hacen posible la utilización de embalajes de menor espesor o complejidad; que regulan el intercambio de oxígeno, dióxido de carbono y vapor de agua; que mejoran las propiedades mecánicas y preservan la textura; que pueden mejorar las características nutricionales y organolépticas y que pueden regular diversas condiciones del alimento, a través del soporte de antioxidantes y antimicrobianos”.

Detallan las investigadoras que, inicialmente, esta línea de trabajo se basó en el estudio del comportamiento físicoquímico y de la actividad antimicrobiana de películas comestibles a base de almidón de mandioca, en las que se incluían los antimicrobianos naturales natamicina (antifúngico) y nisina (antibacterial), plastificados con glicerol. El siguiente objetivo fue mejorar las propiedades físicoquímicas de las películas obtenidas, sin afectar la biodisponibilidad de los antimicrobianos. Para ello, estudiaron el comportamiento de las películas adicionadas con distintos tipos de fibra, entre ellas las de zapallo, avena y arroz. Por último, analizaron también la potencialidad que tenían los recubrimientos desarrollados para controlar microorganismos indeseados en distintos tipos de quesos.

Sobre los objetivos actuales de estos aportes, cuentan Gerschenson y Ollé Resa que están trabajando en la producción de películas comestibles a base de zeína (proteína de maíz) y de mezclas de almidón y zeína, pero que, al mismo tiempo, mantienen sus intenciones de aplicar nuevos antimicrobianos naturales a las películas ya desarrolladas.

“La aplicación de películas comestibles sobre alimentos se realiza desde el siglo XII, por ejemplo, a través del empleo de cera para retrasar la deshidratación de cítricos en China. Sin embargo, hoy en día la producción de formulaciones innovadoras permite desarrollar películas ‘a la carta’, es decir, con características mecánicas, organolépticas y funcionales, determinadas según su potencial aplicación. Esto permite su utilización tanto en productos cárnicos, vegetales como lácteos”, señalan las investigadoras, cuya actividad es financiada con subsidios de la UBA, el CONICET y la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT).

---

**“Las películas comestibles pueden actuar como barrera al vapor de agua y al oxígeno, y son biodegradables, por lo tanto no perjudican al medio ambiente”.**



Las doctoras Lía Gerschenson y Carolina Ollé Resa.

Y agregan en relación a su posible impacto en el ámbito de la industria: “El desarrollo de películas comestibles con antimicrobianos naturales tiene aplicación en el campo de la preservación de alimentos. Estas películas podrían controlar la liberación y disminuir la concentración necesaria de los antimicrobianos, contribuyendo así a optimizar su eficiencia en la inhibición o decrecimiento del desarrollo de microorganismos indeseados. Adicionalmente, las películas comestibles pueden actuar como barrera al vapor de agua y al oxígeno, y son biodegradables, por lo tanto no perjudican al ambiente”.

En cuanto a los casos más emblemáticos en lo que hace a la transferencia de conocimiento desde estos laboratorios de la UBA, las entrevistadas destacan la aplicación de materiales biodegradables, a partir de las cuales se podría reducir el material que se utiliza para el empaquetamiento de alimentos y, de esa manera, colaborar en el cuidado del medioambiente.

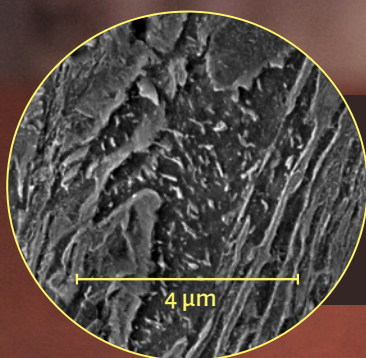
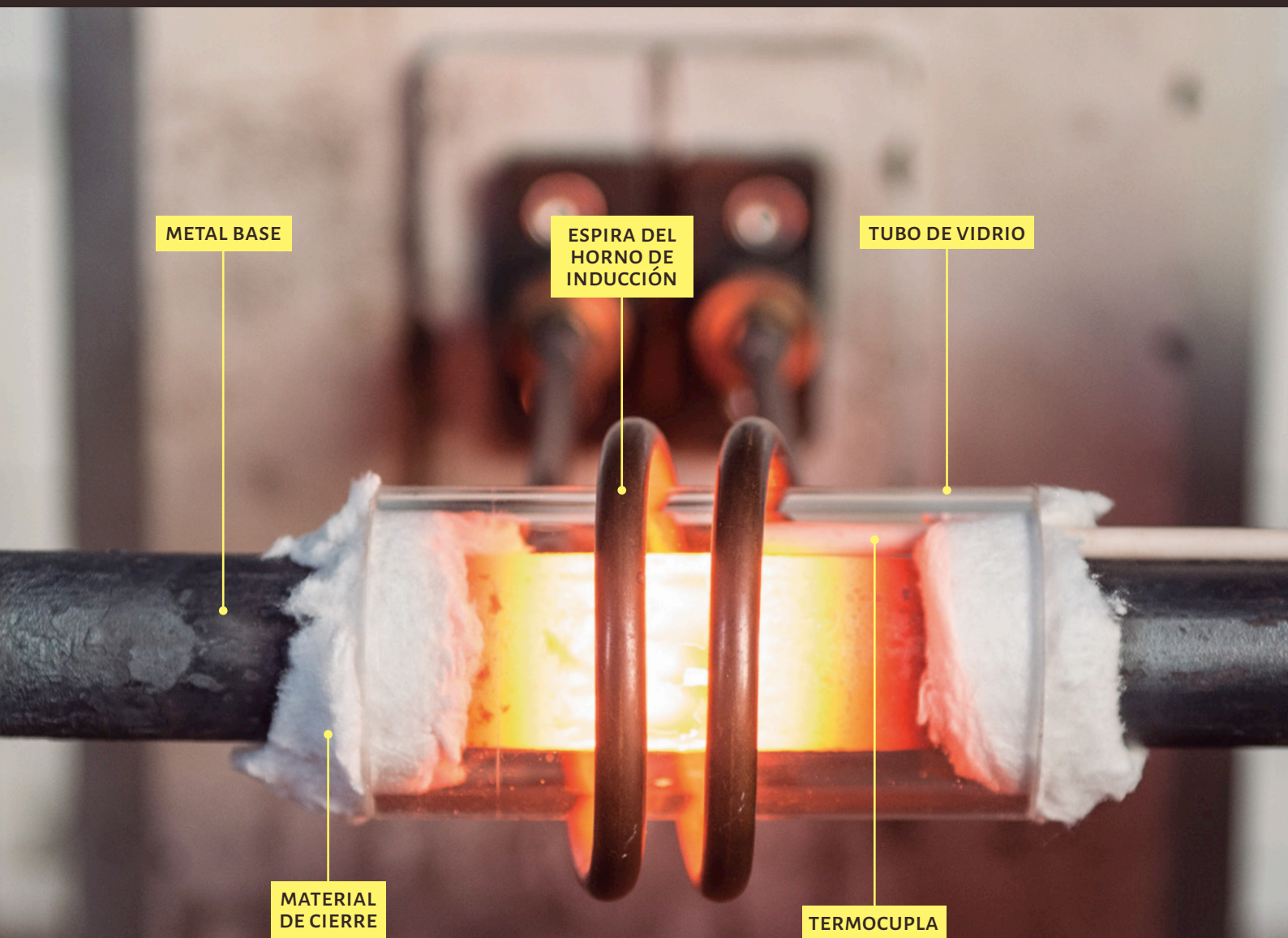
Otro avance citado por las investigadoras se dio en el marco de la tesis de grado de la Inga. Sofía Berti, hoy integrante del grupo y también becaria doctoral del CONICET, bajo la dirección de la Dra. Silvia Flores (LOCAP) y la codirección de la Dra. Rosa Jagus (LITA). Durante ese trabajo, se estudió el proceso de maduración de queso Gouda con un recubrimiento comestible a base de almidón de mandioca gelificado, junto con los antimicrobianos naturales natamicina y nisina. De acuerdo con las conclusiones, el recubrimiento presentó un gran potencial para ser utilizado como factor de estrés adicional en la preservación de quesos semiduros, con mayor eficiencia que el recubrimiento en base acuosa que se usa habitualmente en la industria.

Al momento de explicarle a .ing por qué orientaron su actividad profesional hacia esta área de conocimiento, tanto Gerschenson como Ollé Resa coinciden en su afán por colaborar en la producción de alimentos más saludables. Desde sus respectivas llegadas a los laboratorios del Pabellón Industrias de Ciudad Universitaria –desde 1975 en el caso de Gerschenson y desde 2010 en el caso de Ollé Resa–, ambas científicas reafirman la importancia de estos proyectos, con consecuencias en la preservación de los nutrientes de los alimentos, pero sobre todo, en la minimización del uso de aditivos sintéticos con potenciales efectos negativos en la salud ■

*CORRALES VIEJOS 46*

**IATASA**  
INGENIERÍA

[www.iatasa.com](http://www.iatasa.com)



### ANÁLISIS MICROESTRUCTURAL

En la junta se identificaron estructuras coalescentes, que pueden tratarse tanto de martensita como de bainita coalescentes.

# Soldadura de piezas metálicas por difusión mediante una fase líquida transitoria

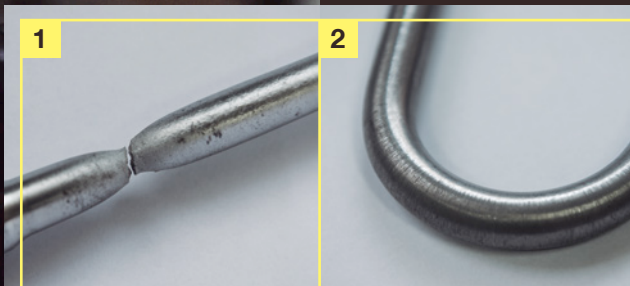
La unión por medio de una fase líquida transitoria (*Transient Liquid Phase Bonding, TLPB*) se presenta como una opción a los procesos tradicionales de soldadura por arco eléctrico. Esta técnica se destaca por utilizar cintas metálicas amorfas como material de aporte.



## CINTAS METÁLICAS AMORFAS

Tienen un espesor de unas pocas decenas de micrones, lo que les confiere una fácil manipulación y una alta ductilidad.

En particular, las cintas metálicas amorfas tienen un punto de fusión inferior al del metal base a soldar. De esta manera, calentando a una temperatura intermedia entre la temperatura de fusión de la cinta y la del metal base, se consigue, únicamente, que se funda la primera. Como resultado de este proceso, se obtiene la unión de las piezas a soldar con su solidificación correspondiente durante el enfriamiento.



Esta novedosa técnica de soldadura ya ha demostrado sus potencialidades en lo que respecta a las propiedades mecánicas de las piezas soldadas –**tanto en ensayos de tracción (1) como de flexión (2)**– en una variedad de aleaciones, donde se destacan los aceros.

# Modelado computacional de procesos de fractura hidráulica

Eduardo Dvorkin, Damián Smilovich y Raúl Radovitzky

**Eduardo Dvorkin:** Ingeniero Electromecánico (UBA) y Ph.D. in Mechanical Engineering (MIT). Facultad de Ingeniería (UBA) y Sim&Tec S.A. (Buenos Aires, Argentina)

**Damián Smilovich:** Ingeniero Civil (UBA). Facultad de Ingeniería (UBA) y Sim&Tec S.A. (Buenos Aires, Argentina)

**Raúl Radovitzky:** Ingeniero Civil (UBA) y Ph.D. in Aeronautical Engineering (Caltech). Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, USA

## 1. Introducción

La producción de petróleo y gas a partir del *shale*<sup>1</sup> presenta un alto potencial económico y se encuentra en desarrollo principalmente en USA, Rusia, China, Argelia y Argentina (Vaca Muerta).

Dada la muy baja porosidad de los reservorios *shale*, es imprescindible fracturarlos para poder producir petróleo o gas. Industrialmente se utiliza la fractura hidráulica [1]. En la figura 1 presentamos un esquema de este procedimiento.

En los últimos años se han invertido, internacionalmente, importantes recursos de I+D en el desarrollo de simuladores computacionales para ser utilizados en el modelado de diferentes alternativas de fractura hidráulica a fin de optimizar estos procesos.

Los requisitos básicos que debe tener un simulador computacional de fractura hidráulica son:

- Basarse estrictamente en la física de los materiales, modelando iniciación y propagación de las fracturas con la metodología que proporciona la mecánica de fracturas [2].
- Alta escalabilidad al paralelizarse las simulaciones, ya que en general estas presentan un muy importante requerimiento de recursos computacionales y la paralelización es imperativa.

## 2. Modelos lineales y no lineales en mecánica del sólido

Los modelos que simulan el comportamiento de sólidos bajo carga pueden ser modelos lineales o no lineales.

Los modelos lineales son aquellos en los que efectos (ej.: deformaciones o desplazamientos del sólido) y causas (ej.: cargas) tienen una relación constante. En los modelos no lineales la relación no es constante y varía a medida que cambia el estado de deformaciones del sólido.

Existen dos tipos fundamentales de no linealidades en mecánica del sólido [3] [4]:

### 2.1. No linealidad material

Cuando la relación entre tensiones y deformaciones no es constante. Ejemplos: materiales con plasticidad (deformaciones permanentes), materiales fracturables, materiales con *creep* (deformación diferida en el tiempo).

### 2.2. No linealidad geométrica

Cuando el equilibrio requiere ser planteado en la configuración deformada (no conocida *a priori*). En la figura 2 presentamos una estructura de barras con 3 articulaciones y comparamos los resultados obtenidos con un modelo lineal y uno no lineal.

Desde ya los modelos no lineales son aproximaciones más completas a la realidad física, pero, como contraparte, son más complejos que los modelos lineales e insumen mayores tiempos de cálculo.

## 3. El método de elementos finitos en la mecánica de sólidos

Normalmente un problema de ingeniería que involucre procesos físicos como deformación

de sólidos, fractura de sólidos, flujo de fluidos, transferencia térmica, etc., es modelado con un sistema de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales con sus condiciones de borde y sus condiciones iniciales si el problema es evolutivo. Estos sistemas, en general, no pueden ser resueltos analíticamente y se debe recurrir a soluciones aproximadas utilizando métodos numéricos [5].

En nuestro caso, utilizamos el método de elementos finitos (MEF). No es el objetivo de este trabajo desarrollar las bases del MEF, para ello el lector interesado puede recurrir, entre otros libros de texto, a [3] o [6] y a los cursos que se dictan en la FIUBA<sup>3</sup>.

En el MEF, el problema se discretiza dividiendo el dominio del problema diferencial en elementos y estos elementos tienen un número variable de nodos. En la figura 3 mostramos un ejemplo de modelado de sólidos 3D.

Los desplazamientos, según las tres direcciones coordenadas, se interpolan como:

$$(01) \quad u_i = \sum_{k=1}^{NNOD} h_k u_i^k \quad (i = 1, 2, 3).$$

Donde  $NNOD$  es el número de nodos y las  $h_k$  son las funciones de interpolación, las propiedades fundamentales de estas funciones de interpolación son [3] [6]:

$$(02) \quad \text{En el nodo } j; \quad h_i = 1 \text{ si } i = j; \quad h_i = 0 \text{ si } i \neq j;$$

de las definiciones anteriores surge que el parámetro  $u_i^k$  es el desplazamientos del nodo  $k$  en la dirección  $i$ . Las funciones  $h_k$  son construidas de forma que los desplazamientos entre elementos sean continuos. Las deformaciones y tensiones no son necesariamente continuas y los saltos interelementales de deformaciones/tensiones son usados como indicadores de error [3]. Para poder interpolar exactamente movimientos rígidos y los estados de deformación constante, las funciones de forma de los nodos correspondientes a cada elemento ( $e$ ) satisfacen la ecuación:

$$(03) \quad \sum_{k=1}^{NNOD(e)} h_k^{(e)} = 1.$$

Siendo  $NNOD(e)$  el número de nodos del elemento ( $e$ ).

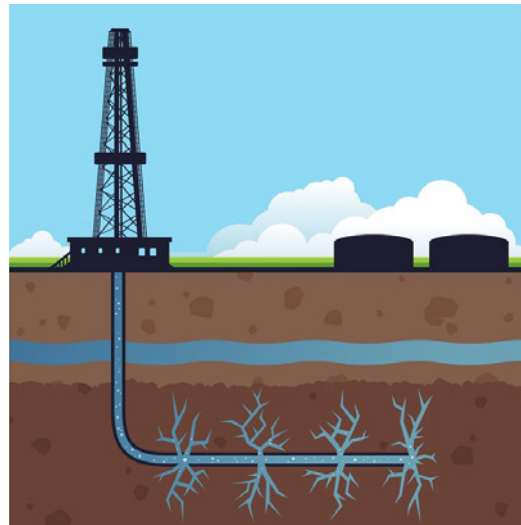


**Fig. 1:**  
Esquema del proceso de fractura hidráulica<sup>2</sup>.

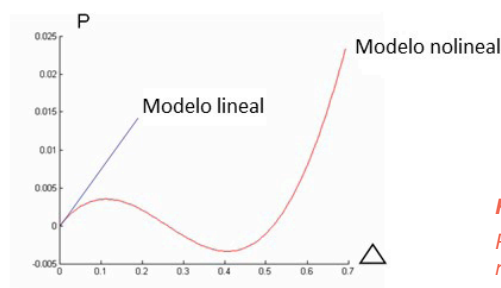
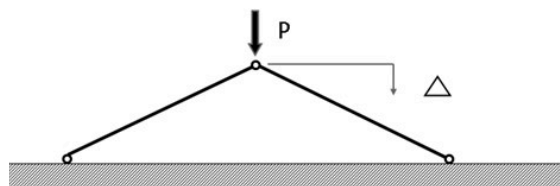


**Fig. 2:**  
Resolución utilizando un modelo lineal y uno no lineal.

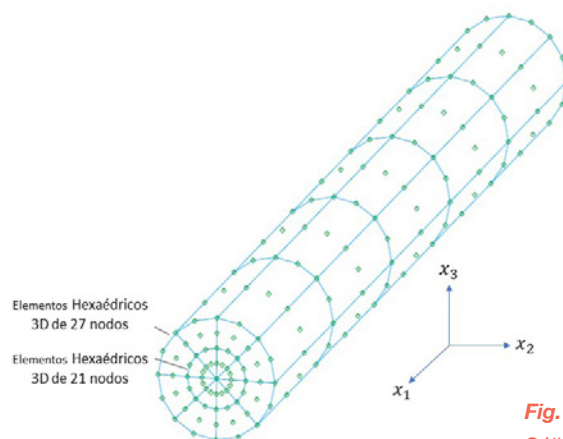


**Fig. 3:**  
Sólido cilíndrico modelado con elementos finitos.

<sup>1</sup> El shale o roca de esquisto es una formación sedimentaria que contiene gas y petróleo.

<sup>2</sup> <https://sites.google.com/site/ernestogmsite/articulos-y-ensayos/energia/fracking>

<sup>3</sup> Introducción al MEF, Mecánica Continuo, MEF Avanzados en Sólidos, MEF Avanzados en CFD.

Llamamos  ${}^0x_i$  a las coordenadas de un punto en la configuración inicial ( $t=0$ )<sup>4</sup>; los elementos isoparamétricos [3] [6] se usan para interpolar la geometría y, también, las ecuaciones (1), es decir:

$$(04) \quad {}^0x_i = \sum_{k=1}^{NNOD} h_k {}^0x_i^k \quad (i = 1, 2, 3)$$

Donde  ${}^0x_i^k$  son las coordenadas de los nodos en la configuración inicial. De (01) y (04) resulta que para una configuración -t:

$$(05) \quad t x_i = \sum_{k=1}^{NNOD} h_k t x_i^k \quad (i = 1, 2, 3).$$

### 3.1 Problemas lineales

Las incógnitas del problema discretizado son los desplazamientos nodales que agrupamos en un vector  $U$ ; utilizando diversas metodologías (minimización de un funcional o minimización de errores al reemplazar las funciones desplazamiento por las interpolaciones adoptadas) llegamos a [3] [6]:

$$(06) \quad KU = R.$$

Siendo  $n$  el número de desplazamientos incógnita, las dimensiones de las matrices en (06) son:

$K (n \times n)$ : matriz de rigidez;  $U (n \times 1)$ : vector de desplazamientos nodales y  $R (n \times 1)$ : vector de cargas nodales equivalentes a las cargas exteriores actuantes.

Notas:

- $U$  es una solución aproximada al problema planteado y convergerá en la solución "exacta" al aumentarse el número de elementos en la discretización;
- las condiciones de borde en desplazamientos (Dirichlet) se cumplen exactamente;
- las condiciones de borde en fuerzas aplicadas (Neumann) se cumplen aproximadamente (con la misma aproximación que las ecuaciones de equilibrio).

### 3.2. Problemas no lineales

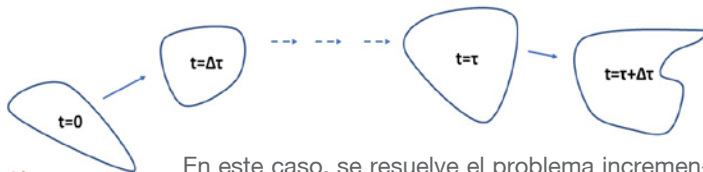


**Fig. 4:**  
Resolución incremental de un problema no lineal.

En este caso, se resuelve el problema incrementalmente (figura 4), para evolucionar de la configuración en  $\tau$  a la configuración en  $(\tau + \Delta\tau)$  en primera aproximación, se linealiza el problema:

$$(07) \quad KU = {}^{\tau+\Delta\tau}R - {}^{\tau}F.$$

En (07)  $U$  es el desplazamiento incremental que lleva los nodos de  $\tau$  a  $(\tau + \Delta\tau)$ ; el vector  ${}^{\tau+\Delta\tau}R$

contiene las cargas nodales equivalentes a las fuerzas externas en  $(\tau + \Delta\tau)$  y el vector  ${}^{\tau}F$  contiene las fuerzas nodales equivalentes a las tensiones actuantes en la  $\tau$ . Para remover la aproximación que introduce en (07) la linealización, debe iterarse [3] [4] con la siguiente ecuación para la iteración ( $ite$ ):

$$(08.a) \quad K \Delta U (ite) = {}^{\tau+\Delta\tau}R - {}^{\tau+\Delta\tau}F (ite-1)$$

$$(08.b) \quad U (ite) = U (ite-1) + \Delta U (ite)$$

En (08.a) el término  ${}^{\tau+\Delta\tau}F (ite)$  contiene las fuerzas nodales equivalentes a las tensiones actuantes en  $(\tau + \Delta\tau)$  en la iteración ( $ite$ ). En [3] se discuten los criterios a usar para terminar los procesos iterativos, en términos muy generales podemos decir que se debe iterar hasta que:

$$(09.a) \quad {}^{\tau+\Delta\tau}R - {}^{\tau+\Delta\tau}F (ite) \approx 0$$

$$(09.b) \quad \Delta U (ite) \approx 0$$

## 4. Fractura de materiales

### 4.1. Iniciación de fracturas

Los materiales frágiles a un determinado nivel de cargas pueden iniciar una fractura. Para diferentes tipos de rocas, en las referencias [7] y [8] se discuten teorías de iniciación de fracturas; es decir, funciones del estado tensional describen la iniciación de procesos de fractura.

Utilizando el criterio de la tracción normal a una superficie, la fisura se inicia sobre esa superficie cuando:

$$(10) \quad T = \sqrt{\sigma:(nm) + \beta^{-2} \sigma:(nm)} \geq \sigma_c.$$

En la ecuación (10), el vector  $n$  es la dirección normal a la superficie considerada, el vector  $m$  es una tangente,  $\beta$  es un coeficiente heurístico y  $\sigma_c$  es la resistencia a fractura de la roca<sup>5</sup>.

### 4.2 Propagación de fracturas

Coherente con la ecuación (10) podemos definir la apertura equivalente de una fractura:

$$(11) \quad \delta = \sqrt{\Delta_n^2 + \beta^2 \Delta_t^2}.$$

Donde,  $\Delta_n$  es la apertura normal (Modo I) y  $\Delta_t$  es la apertura tangencial (Modo II).

En una probeta sometida a tracción directa, la relación tensión real-desplazamiento en el centro de la probeta es la que se muestra en figura 5. Después de comenzar la fisuración, la tensión cae al aumentar la apertura de la fisura (*strain softening*). En [4] demostramos que este tipo de relaciones constitutivas no puede ser representado con una relación tensión-deformación sino que se debe usar una relación tensión-desplazamiento como la de la misma figura 5.

## 5. El método DG

El método de *discontinuous* Galerkin (DG) aplicado al modelado de procesos de fisuración puede encontrarse desarrollado en las referencias [9], [10], [11], [12], [13] y [14], y a esas publicaciones referimos para la descripción detallada del método DG y de su formulación matemática.

Los conceptos básicos son:

1. En la figura 6 ilustramos dos elementos triangulares vecinos cuando se utiliza, para discretizar el continuo, el MEF tradicional, con continuidad de desplazamientos entre elementos vecinos.
2. En la figura 7 ilustramos dos elementos triangulares vecinos cuando se utiliza el método DG. La línea roja entre los elementos, que ahora no comparten sus nodos, es un elemento de interfaz (se definen en todas las interfaces entre elementos ya sean 2D o 3D). Si en la ecuación (10)  $T < \sigma_c$  el elemento de interfaz impone, mediante una penalización, la igualdad de desplazamientos entre nodos vecinos; en caso contrario, impone una ley  $T = T(\delta)$  como la indicada en la figura 8, debe tenerse en cuenta que  $G_f$  es una propiedad del material [15].

## 6. El modelo fluido acoplado

El fluido de fractura que se inyecta (figura 1) fluye a través de las áreas fracturadas, y las fracturas son producidas por la presión de este fluido; es decir, estamos frente a un problema fluido-sólido acoplado.

Dado que en las fracturas el espesor es menor que las dimensiones en las otras dos direcciones, asumiremos que en el interior de las fracturas hay un flujo de Reynolds (flujo de lubricación) [16]; es decir, las variables que definen el flujo no varían en la dirección del espesor de las fracturas. De esta forma, en un modelo 3D (2D), el modelo del flujo es 2D (1D).

Solucionando el problema acoplado mediante un método escalonado (*staggered*):

- se inicia resolviendo el flujo en la prefractura existente (originada con el proceso de *shooting* [1]),
- se carga la roca con las presiones resultantes menos la presión poral (presión efectiva [17]),
- se resuelven las ecuaciones en el sólido incluyendo la iniciación y propagación de fracturas,
- se vuelve a resolver el flujo en el nuevo dominio fracturado.

<sup>4</sup> En problemas dinámicos  $t$  es el "tiempo reloj", en problemas cuasistáticos usamos  $t$  como un ordenador de eventos.

<sup>5</sup> Llamamos  $(ab)$  al producto tensorial [4] de los tensores de orden arbitrario  $a$  y  $b$ . En la literatura también se indica ese producto tensorial como  $(a \otimes b)$ .

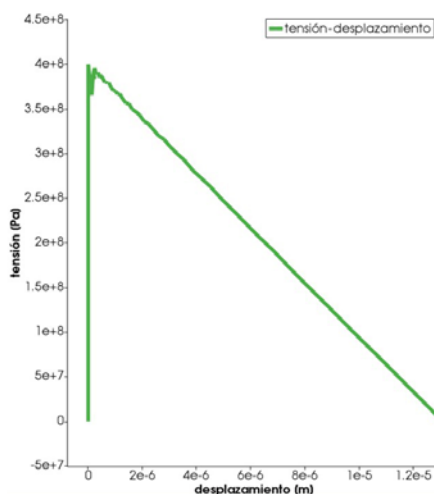


**Fig. 5:**  
Ensayo de tracción directa.

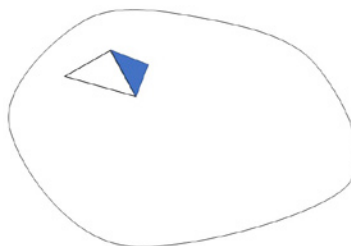


**Fig. 6:**  
Discretización con desplazamientos continuos entre elementos.

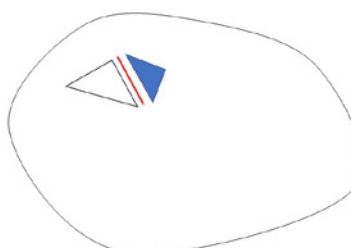


**Fig. 7:**  
Discretización DG.

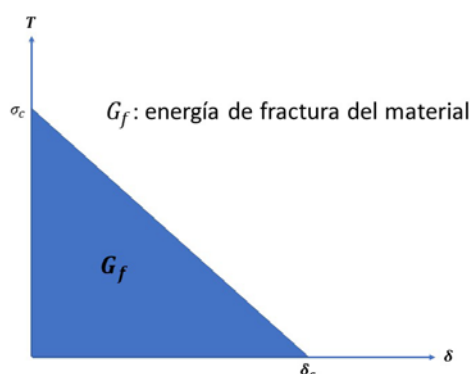


**Fig. 8:**  
Energía de fractura del material por unidad de área nueva creada.

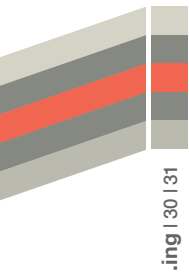


**Fig. 9**  
Fractura inicial  
presurizada  
(la figura es  
un zoom y no  
abarca todo  
el dominio de  
problema).

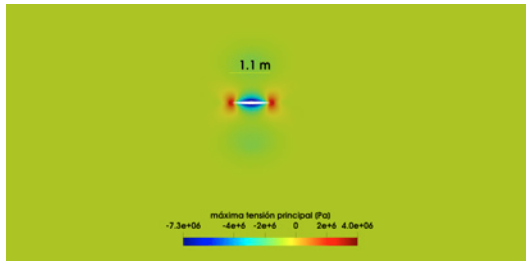


**Fig. 10**  
Fractura  
cuando ya se  
han inyectado  
0.003 m<sup>3</sup>  
de fluido de  
fractura.

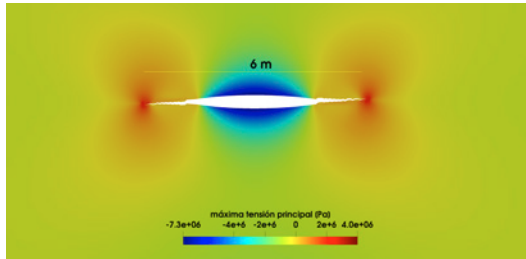


**Fig. 11**  
Fractura  
cuando ya se  
han inyectado  
0.012 m<sup>3</sup>  
de fluido de  
fractura.

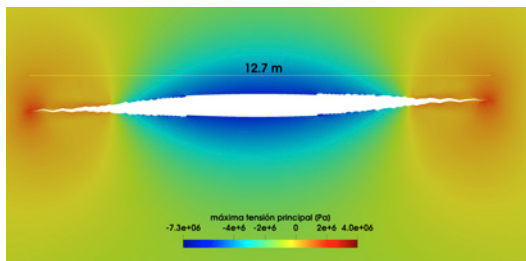


**Fig. 12**  
Longitud de  
fractura ocupada  
por el fluido (este  
no completa toda  
la fractura).

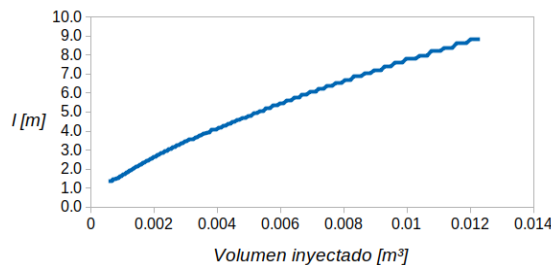


**Fig. 13**  
Apertura máxima  
de la fractura.

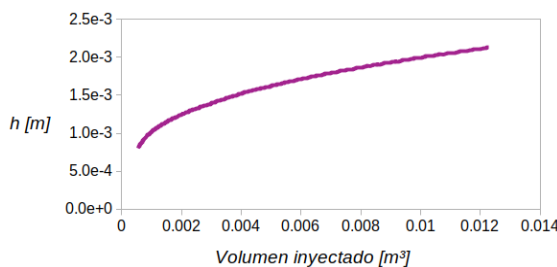
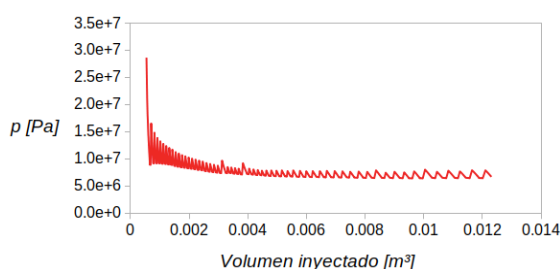


**Fig. 14**  
Presión efectiva  
del fluido.



Es importante hacer notar que por las diferencias de tiempos característicos entre los modelos de fluido (velocidades proporcionales a la velocidad de inyección del fluido) y de sólido (velocidades proporcionales a la velocidad del sonido en el medio), al modelo de fluido lo resolvemos como estacionario.

Las ecuaciones del modelo de fluido son:

$$(12) \quad \nabla \cdot \left( \frac{h^3 \rho}{12\mu} \nabla p \right) = \rho \frac{dh}{dt}.$$

En la ecuación (12),  $h$  es el espesor de la fractura,  $p$  es la presión del fluido,  $\rho$  es la densidad del fluido en el punto y el término  $\frac{dh}{dt}$  debe satisfacer la condición de *solvabilidad*, que para cada instante es:

$$(13) \quad q = \int_{A_F} \frac{dh}{dt} dA$$

Donde  $q$  es el flujo que se inyecta y  $A_F$  es el área ocupada en ese instante por el fluido, la que debido al fenómeno de *fluid lag* [18] no coincide con el área fracturada.

Discretizando con elementos finitos convencionales en la ecuación (12) se obtienen las presiones en los nodos.

En los puntos del contorno en los que se inyecta flujo, se aplican condiciones de borde de Neumann:

$$(14) \quad \left( \frac{h^2 \rho}{12\mu} \right) \frac{dp}{dn} = -\hat{q}_n.$$

$\rho$  es la densidad del fluido,  $\mu$  es su viscosidad dinámica,  $n$  es la dirección normal al contorno de entrada de fluido y  $\hat{q}_n$  es el caudal másico de entrada.

En el frente de la fractura se aplican condiciones de borde de Dirichlet:  $p = p_{\text{poral}}$  [17].

## 7. Ejemplo numérico

Presentamos resultados que permiten ilustrar el funcionamiento del simulador YFRAC desarrollado por YTEC, ParaSim (USA) y Sim&Tec. Para ello modelamos el muy difundido caso KGD [1] que es el que se utiliza en forma estándar en la industria petrolera para producir resultados que sirven para controlar las operaciones de campo. El caso KGD considera una roca homogénea e isotrópica, un fluido newtoniano y un estado plano de deformaciones.

Simularemos un cuadrado de 20 m de lado con una fractura inicial de 1 m de longitud. Asumimos que el caudal de inyección de fluido de fractura es constante.

En la figura 9 mostramos esa fractura inicial ya presurizada y, con una escala de colores, las tensiones principales máximas.

En la figura 10 mostramos la propagación de la fractura cuando ya se han inyectado 0.003 m<sup>3</sup> de fluido de fractura. Finalmente, en la figura 11 mostramos la fractura cuando ya se han inyectado 0.012 m<sup>3</sup> de fluido de fractura. Debemos hacer notar que, en todos los casos, el frente del fluido está retrasado respecto del frente de la fractura.

En la figura 12 graficamos la longitud que dentro de la fractura contiene fluido, en función del volumen inyectado; en la figura 13 graficamos la apertura máxima de la fractura, en función del volumen inyectado; y, finalmente, en la figura 14 graficamos la presión del fluido a la entrada a la fractura, en función, nuevamente, del volumen inyectado.

### Conclusiones

Hemos discutido algunas generalidades sobre el MEF aplicado a la solución de problemas no lineales de la mecánica de sólidos, sobre el modelado de fractura de rocas utilizando el método DG y sobre la metodología de simulación computacional del proceso de fractura hidráulica, una simulación que acopla un modelo de flujo de fluidos y un modelo de deformación y fractura de sólidos.

### Bibliografía

- [1] Valkó, P. y Economides, M. J. *Hydraulic Fracture Mechanics*. John Wiley & Sons Ltd., 1995.
- [2] Broek, D. *Elementary Engineering Fracture Mechanics*. Martinus Nijhoff Publishers, 1984.
- [3] Bathe, K. J. *Finite Element Procedures*. Prentice Hall, 1996.
- [4] Dvorkin, E. y Goldschmit, M. *Nonlinear Continua*. Springer, 2005.
- [5] Crandall, S. *Engineering Analysis*. McGraw-Hill, 1956.
- [6] Zienkiewicz, O. y Taylor, R. *The Finite Element Method*. Mc Graw hill, cuarta edición (2 volúmenes), 1991.
- [7] Colmenares, L. y Zoback, M. "A Statistical Evaluation of Intact Rock Failure Criteria Constrained by Poliaxial Test Data for Five Different Rocks". *Int. J. Rock Mechanics and Mining Sciences*, vol. 39, pp. 695-729, 2002.
- [8] Zoback, M. *Reservoir Geomechanics*. Cambridge, University Press, 2007.
- [9] Camacho, G. y Ortiz, M. "Computational Modelling of Impact Damage in Brittle Materials". *Int. J. of Solids and Structures*, vol. 33, n.º 20, pp. 2899-2938, 1996.
- [10] Noels, L. y Radovitzky, R. "A General Discontinuous Galerkin Method for Finite Hyperelasticity. Formulation and Numerical Applications". *Int. J. Numerical Methods Engrg.*, vol. 68, pp. 64-97, 2006.
- [11] Noels, L. y Radovitzky, R. "Alternative Approaches for the Derivation of Discontinuous Galerkin Methods for Nonlinear Mechanics". *Journal of Applied Mechanics*, ASME, vol. 74, pp. 1031-1036, 2007.
- [12] Noels, L. y Radovitzky, R. "An Explicit Discontinuous Galerkin Method for Nonlinear Solid Mechanics: Formulation, Parallel Implementation and Stability Properties". *Int. J. Numerical Methods Engrg.*, vol. 74, pp. 1393-1420, 2008.
- [13] Seagraves, A. y Radovitzky, R. "Advances in Cohesive Zone Modeling of Dynamic Fracture". *Dynamic Failure of Materials and Structures*, ed. Springer, 2010, pp. 349-405.
- [14] Radovitzky, R.; Seagraves, A.; Tupek, M. y Noels, L. "A Scalable 3D Fracture and Fragmentation Algorithm Based on a Hybrid, Discontinuous Galerkin, Cohesive Element Method". *Computer Methods Appl. Mech. and Eng.*, vol. 200, pp. 326-344, 2011.
- [15] Smilovich, D.; Radovitzky, R. y Dvorkin, E. "Mesh Dependent Properties to Produce Mesh Independent Results in Fracture Mechanic Simulations", WCCM, New York, 2018.
- [16] Panton, R. L. *Incompressible Flow*. John Wiley & Sons, Inc., Nueva York, 1984.
- [17] Terzaghi, K. y Peck, R. *Soil Mechanics in Engineering Practice*. John Wiley & Sons, 1996.
- [18] Jeffrey, R. y Schlumberger, D. "The Combined Effect of Fluid Lag and Fracture Toughness on Hydraulic Fracture Propagation". SPE 18957, 1989.

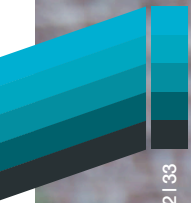


Gestión de servicios  
Administración de proyectos  
Gestión de eventos científicos  
Búsqueda de financiamiento  
Formulación de proyectos  
Valorización de I+D  
Ubatec CATI

**EL PUNTO DE ENCUENTRO ENTRE  
LA COMUNIDAD CIENTÍFICA  
Y EL SECTOR PRODUCTIVO**

**Unidad de vinculación tecnológica de la UBA**

Av. Pres. Roque Sáenz Peña 938 6° piso - Ciudad de Buenos Aires - República Argentina  
info@ubatec.uba.ar - www.ubatec.uba.ar



NUESTROS  
GRADUADOS

.ing | 32 | 33



# Viaje al centro de la tierra

La FIUBA cuenta con uno de los especialistas más destacados de la región en el análisis de suelos. Se trata del **Ing. Alejo O. Sfriso**, que desde la sede de Av. Las Heras impulsa desde la investigación y la docencia el análisis ingenieril de los suelos.

**N**ació en marzo de 1964. Es ingeniero civil y doctor en ingeniería, ambos títulos obtenidos en la Facultad de Ingeniería de la UBA. Su vínculo con la profesión comenzó en la infancia, cuando su padre decidió llevarlo a obras y a colocarle un casco blanco. Desde aquel entonces a esta parte, el entusiasmo de Alejo Oscar Sfriso por el estudio de los suelos fue en aumento, hasta constituirse en uno de los referentes más importantes del sector, tanto en el plano de la producción científica como en la docencia de grado y posgrado.

Sfriso recuerda que “cuando yo tenía unos diez años, mi papá fundó un laboratorio de ingeniería geotécnica al que llamó ‘Triaxis’ y empezó a llevarme a las obras para hacer estudios de suelos. Así que, en mi trabajo actual como ingeniero geotécnico, ¡tengo cuarenta y cinco años de experiencia!”, cuenta sin dejar de esbozar una sonrisa. Ese interés por el estudio de los suelos tiene un particular origen doméstico. “En 1974 yo tenía diez años. Mi papá tomó un curso en el Centro Argentino de Ingenieros, aprendió a hacer ensayos triaxiales allí e hizo el primero en el *garage* de nuestra casa. Yo fui testigo presencial de esa escena, y conservo el resultado en un cuadro que cuelga de mi oficina”.

Es habitual que en esta sección de *.ing* se consulte a los entrevistados y entrevistadas por su experiencia en el pasaje de colegio secundario a la universidad. En este caso, la respuesta de Sfriso es contundente, ya que afirma que se trató de algo “sorprendentemente traumático”. Y recuerda: “Yo estudié en un pequeño colegio secundario de Longchamps, en el sur del Gran Buenos Aires. En el último año de la secundaria hice el ingreso a la UCA –temía no ingresar a la UBA– y luego hice el curso de ingreso en 1982. Eran tres meses en la sede de Av. Paseo Colón. Mi primer año como estudiante fue bueno, pero luego fallé, quizá porque no era suficientemente maduro. Y perdí varios años con mínimos progresos en mi carrera. De aquella época recojo la experiencia de que tenemos la obligación y compromiso de apoyar fuertemente a nuestros alumnos más jóvenes, en el tránsito, a veces doloroso, de la adolescencia a la adultez”.

Con el tiempo, Sfriso se especializó en obras de ingeniería geotécnica para infraestructura y minería a partir de la aplicación de métodos numéricos. A la fecha, es vicepresidente

para Sudamérica de la Sociedad Internacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica. Es docente universitario en la UBA, en la materia Mecánica de Suelos y Geología, y exdocente de la UNLP en las materias Geotecnia III y Mecánica de Rocas.

Respecto al actual potencial de su especialidad, Sfriso ve a la ingeniería geotécnica como una rama madura y bien establecida de la ingeniería civil, cuyo potencial de crecimiento como ciencia es moderado, y como tecnología es cuasi infinito. “Con mejores equipos de construcción, sensores difusos y masiva cantidad de datos, las fuentes de innovación y progreso son innumerables, en Argentina y en el mundo”.

En estos días, Sfriso se encuentra trabajando con los problemas de estabilidad y deformación de presas de relaves, que son esas presas de residuos mineros que han saltado a la tapa de los diarios por algunas fallas catastróficas que han ocurrido en los últimos tres años. “Los últimos proyectos están en Argentina, Chile, Perú, Sudáfrica, Australia y Armenia y son muy interesantes. Sigo muy activo con problemas asociados a procedimientos constructivos y a su optimización con herramientas de la geomecánica computacional. Además, recientemente me involucré con la redacción del reglamento argentino de fundaciones para el Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles (CIRSOC)”, explica este destacado graduado de la FIUBA, que también colaborará en un documento que será fundamental para el desarrollo de la ingeniería nacional ■

**“Con mejores equipos de construcción, sensores difusos y masiva cantidad de datos, las fuentes de innovación y progreso son innumerables, en Argentina y en el mundo”.**



PROTAGONISTAS  
DE LA FIUBA

.ing | 34

# Navegando en el subsuelo de Paseo Colón

Entrevista al **Ing. Miguel Ángel Rapa**, responsable de coordinar las tareas educativas del Canal de Experiencias de Arquitectura Naval, una herramienta pedagógica de más de quinientos mil litros de agua.

“La industria naval argentina desarrolló intensas actividades, casi desde los orígenes de la nación. En la década del 40 se construyeron en el país los primeros buques militares de concepción moderna y en 1953, con la creación del Astillero Río Santiago, se inicia un período de franco crecimiento del sector. Estos hechos conllevan la necesidad de contar con un canal de experiencias hidrodinámicas, herramienta indispensable para el proyecto y desarrollo de buques. Así las cosas, en el año 1963, a instancias del ingeniero Edmundo Manera, se inaugura en nuestra facultad el canal de experiencias, que hoy lleva el nombre de su fundador”, introduce el Ing. Miguel Ángel Rapa, designado recientemente para coordinar las tareas pedagógicas que se llevan a cabo en el Canal de Experiencias de Arquitectura Naval (CEAN), un espacio de enseñanza destinado a los alumnos de ingeniería naval, equipado con instrumental de alta precisión que funciona en el subsuelo de la sede de Av. Paseo Colón 850 de la Facultad de Ingeniería de la UBA. Vale señalar que dicho canal tiene setenta y dos metros de largo, casi cuatro de ancho y una profundidad máxima de dos metros.

“El objetivo inicial fue contar con un laboratorio de pequeña escala que, además de dar apoyo a la industria, sirviera para desarrollar actividades académicas y formar profesionales especializados que luego serían los idóneos para desempeñarse en un canal de mayor envergadura. Lamentablemente, aunque me consta la existencia de al

menos dos proyectos, ese nuevo canal sólo quedó en el mundo de las ideas”, cuenta el coordinador del CEAN.

En un aspecto más personal sobre su recorrido para llegar a gestionar este espacio educativo, Rapa recuerda que ya desde la adolescencia empezó a sentir interés por la especialidad a la que dedicaría su vida entera, dado que su padre tenía un taller mecánico, en el que convivía con máquinas, herramientas, motores y dispositivos vinculados a la ingeniería. Fue ese contexto el que lo llevó a decidirse por el Liceo Naval Militar Almirante Brown donde, además de cumplir con las pautas académicas oficiales, se impartían prácticas y asignaturas relacionadas con el quehacer naval, incluyendo períodos de embarcos de instrucción. “De ese modo tomé contacto con los medios navales desde una edad muy temprana. Finalizado el ciclo secundario, para mí resultó muy fácil optar la carrera de ingeniería naval”.

Cuenta el Ing. Rapa que, además de su función académica, el CEAN desarrolla estudios de resistencia al avance, de propulsión naval y comportamiento de buques en el mar a través de la programación, ejecución y análisis de resultados de ensayos con modelos a escala de cascos y hélices. “Aún con su reducido tamaño y los problemas edilicios que deben enfrentarse a diario, el CEAN ha incorporado una apreciable cantidad de equipos e instrumentos de medición, muchos de desarrollo propio, que le ha permitido brindar sus servicios de apoyo a industrias y profesionales, nacionales y extranjeros”, afirma Rapa ■



**Por su prestigio internacional,** profesionales de todo el mundo eligen a la FIUBA para profundizar y actualizar sus conocimientos en ingeniería.

[posgrado@fi.uba.ar](mailto:posgrado@fi.uba.ar)

**Inscripción abierta**

# NEW APPLIED NOW



**HAGAMOS POSIBLE**  
LO IMPOSIBLE

**SUMATE**

[accenture.com/empleosargentina](https://accenture.com/empleosargentina)

**>  
accenture**