

# SECCIONES PERMANENTES

## CONFEDI en la Presidencia de ASIBEI

Ing. Carlos Humberto Savio

El Consejo Federal de Decanos de Facultades de Ingeniería – CONFEDI , conformado por un grupo de Decanos, con la finalidad de solucionar problemáticas universitarias planteadas, se une al Instituto de Ciencias de la Educación (ICE) para propiciar, en el año 1977, el 1er Encuentro Iberoamericano de directivos en la Enseñanza de Ingeniería. Este encuentro se llevó a cabo el día 7 de noviembre de 1977, en la sede del ICE, en la Universidad Politécnica de Madrid (UPM).

En este encuentro se constituye la Asociación Iberoamericana de Instituciones de Enseñanza de Ingeniería (ASIBEI), oportunidad en la que se conforma el Comité Ejecutivo con la presidencia del Ingeniero Jorge González, representante de CONFEDI. El Ingeniero González preside el ASIBEI por el periodo 1997-1999, donde se trabaja para generar una organización permanente que represente el estudio de temas relacionados con la formación de Ingenieros en el ámbito Iberoamericano. Al mismo tiempo, se generan acciones para apoyar el desarrollo de la enseñanza de Ingeniería en cada país, estableciendo también estrategias de mejoras para identificar los rasgos y características del Ingeniero Iberoamericano.

Por otra parte, en Asamblea General de ASIBEI, que se realiza el 4 de octubre de 2010 en la ciudad de Lisboa (Portugal), se aprueba la designación de CONFEDI como vicepresidente de ASIBEI durante el periodo 2011-2013, lo que implica que se ocupará la Presidencia de esta institución durante el periodo 2013-2015. En esta circunstancia se presenta una propuesta de trabajo que busca promover la excelencia docente, la investigación y la vinculación con el sector productivo. Se busca fortalecer el desarrollo de programas para ingeniería, en los cuales se busca formar ingenieros con visión sistémica en una perspectiva regional y supranacional. De este modo, se fomenta la creación de asociaciones nacionales o regionales de instituciones de enseñanza de la ingeniería en los países que no cuentan con esta organización. El plan de acción que se elabora, genera la necesidad de trabajar con los países latinoamericanos, fortaleciendo el intercambio y la movilidad de profesionales universitarios, propiciando, además, el reconocimiento de títulos. Así, el 20 de mayo de 2013, en reunión de Comité Ejecutivo de ASIBEI en la ciudad de Barquisimeto (Venezuela) se analiza el documento presentado por CONFEDI en base al cual se suscribe el Acuerdo de Promoción y Fortalecimiento de Programas de Intercambio y Movilidad de Docentes, Investigadores y Estudiantes de Ingeniería en Iberoamérica. Se considera que el intercambio y la movilidad son elementos claves en la integración nacional y regional en cuanto permiten que los estudiantes conozcan diferentes sistemas académicos y diversas realidades económicas y sociales.

Luego, en el mes de noviembre de 2013, en la ciudad de Valparaíso (Chile), CONFEDI asume la presidencia de ASIBEI. Los representantes que acá se reúnen coinciden en la necesidad de contar con lineamientos comunes en cuanto a las competencias genéricas de egreso de los nuestros ingenieros. En ese sentido, la propuesta elevada por CONFEDI comprende diez competencias genéricas, complejas e integradas, que tienen relación con los saberes teóricos, contextuales y procedimentales, que a la vez se vinculan con el saber hacer formalizado, empírico y relacional, siempre referidos al contexto profesional, o sea la situación en la que el profesional debe desempeñarse.

A la vez, estas competencias se dividen en cinco competencias tecnológicas y cinco competencias sociales, políticas y actitudinales.

En este contexto se pone a consideración el Plan Estratégico de ASIBEI, conformado en base a



seis ejes de trabajo. Ellos son: movilidad, formación del ingeniero iberoamericano, consolidación internacional de ASIBEI, calidad en la educación en ingeniería, formación de profesores y desarrollo e innovación tecnológica.

Se considera, sin lugar a dudas, que CONFEDI asume un compromiso importante a nivel internacional en cuanto a la formación del ingeniero. Se observa claramente la responsabilidad asumida por los Decanos de Ingeniería de nuestro país, que con su trabajo y accionar aportan esfuerzos para cumplir con los objetivos propuestos.

La participación conjunta es un referente importante para el avance de la regionalización académica en esta época signada por la globalización y en la cual se forman nuevas generaciones de ingenieros con alto grado de autonomía y compromiso social.

**Ing. Carlos Humberto Savio**

Decano Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas de la Universidad Nacional de Catamarca

Presidente del CONFEDI

Presidente de ASIBEI



Educación de calidad para una sociedad más justa..



**Ministerio de  
Educación**  
Presidencia de la Nación

Pizzurno 935. C1020ACA. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Teléfono (011) 4129 - 1000.  
<http://portales.educacion.gov.ar/spu/>

# SECCIONES PERMANENTES

## La RADI cumple dos años de vida

Ing. Jorge Pilar e Ing. Néstor F. Ortega

Con el número 4, la Revista Argentina de Ingeniería (RADI) estará completando dos años de presencia continua, difundiendo distintas actividades relacionadas con la Ingeniería de nuestro país. Fueron buenos años, de trabajo intenso, con un interesante intercambio de ideas entre los responsables de la publicación y el Comité Ejecutivo de CONFEDI.

¿Cómo nació la RADI? El CONFEDI ya estaba patrocinando una revista, desde una década atrás: la Revista Argentina de Enseñanza de la Ingeniería, una revista que se había transformado en referencia nacional en la temática. Sin embargo, todavía estaba haciendo falta una publicación que conjugue el quehacer de la facultades de Ingeniería de Argentina y, además, en la que los docentes e investigadores jóvenes y los con más experiencia de nuestras facultades, pudieran publicar sus trabajos y reflexiones.

El CONFEDI decidió encarar la empresa y fueron el Ing. Roberto Giordano Lerena, Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad FASTA, de Mar del Plata, junto con el Ing. Jorge Vicario, de la Universidad Nacional de Río Cuarto, los que asumieron la responsabilidad de concretar el primer número de la RADI.

Además de elegir un nombre, hubo que definir un formato, una diagramación, y al mismo tiempo no desatender nuestras responsabilidades institucionales. Sin embargo, ninguno de los integrantes del equipo de edición se quejó en ese momento (ni se quejan hoy). Al contrario, el entusiasmo era notorio en esos comienzos y -por suerte- todavía nos acompaña en la actualidad. De todas maneras, es justo reconocer el gran esfuerzo que demandó, tanto en la generación de ideas, como en la realización de los trabajos, que en los días previos al lanzamiento se incrementaron hasta alcanzar un ritmo febril.

La realización del Congreso Argentino de Ingeniería – CADI 2012, realizado en la ciudad de Mar del Plata, fue la oportunidad del lanzamiento de la RADI, que publicó trabajos seleccionados de ese congreso. Hoy, con el CADI 2014 se repite la experiencia y son los trabajos de este congreso los que nutren al cuarto número de la revista.

En definitiva, en estos dos años que pasaron tan rápido, mucho se hizo, pero todavía queda mucho más por hacer. Dentro de los desafíos que tenemos por delante está lograr que la RADI sea una publicación indexada, con el fin de que ella pueda convertirse en una referencia de los desarrollos relacionados con la Ingeniería de nuestro país y de América Latina. Parte de esos desarrollos se forjan en las aulas, gabinetes y laboratorios de nuestras facultades de Ingeniería y se materializan en distintos lugares del país y son parte del motor de nuestro desarrollo.

De todas formas, los que trabajamos para realizar esta revista, tenemos la convicción que cada día que transcurra contaremos con más aporte y colaboradores para este proyecto, lo que permitirá consolidarla. Es nuestra convicción y esperanza que la RADI trascienda las fronteras nacionales y sea conocida y respetada en el ámbito de la Ingeniería iberoamericana.

**Dr. Ing. Jorge Pilar**

Director Revista Argentina de Ingeniería, Exdecano Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Nordeste.

**Dr. Ing. Néstor F. Ortega**

Presidente Comisión de Ciencia y Tecnología, Director Decano Departamento de Ingeniería, Universidad Nacional del Sur.





# Proyecto de estímulo a la graduación (DeltaG)

Ing. Jorge Omar Del Gener<sup>1</sup>

En el marco del Plan Estratégico para la Formación de Ingenieros 2012-2016 (PEFI 16), la Secretaría de Políticas Universitarias del Ministerio de Educación de la Nación, en conjunto con CONFEDI, viene llevando a cabo distintas acciones a fin de lograr los objetivos previstos en dicho Plan.

Si analizamos el Eje Estratégico A del mismo, denominado “Mejoramiento de Indicadores Académicos”, que en su objetivo específico A.4 plantea “Incrementar la graduación de estudiantes avanzados”, notamos, según datos estadísticos elaborados por la Secretaría de Políticas Universitarias, que se lograron mejorar en el año 2011 los indicadores de resultados de las carreras de ingeniería, alcanzándose un total de treinta y dos mil cuatrocientos ochenta y siete (32.487) estudiantes avanzados de ingeniería que habían aprobado más de 26 materias llegando a un crecimiento del 86% con respecto a 2003, incremento que no fue acompañado por la graduación ya que sólo tuvo un crecimiento del 33% con respecto a ese mismo año, desfase provocado en su gran mayoría por la actividad laboral que conjuntamente con sus estudios vienen desarrollando estos alumnos, ya que según relevamientos parciales realizados por las Universidades más del ochenta por ciento (80%) de los estudiantes avanzados están insertos laboralmente, la mayoría en actividades relacionadas con su profesión y en relación de dependencia.

Por lo tanto, con el fin de incrementar la graduación de estudiantes avanzados de ingeniería, y luego de haber lanzado la convocatoria de Becas a Estudiantes Avanzados de Carreras de Ingeniería, realizada en el marco del Programa Nacional de Becas Bicentenario, dirigida especialmente a estudiantes avanzados que cursan regularmente la carrera, se consideró pertinente

1. Decano Facultad Regional Avellaneda - UTN

tratar en forma especial la situación de aquellos estudiantes avanzados que han discontinuado o retrasado la finalización de su carrera y que trabajan, lo cual asegura una potencialidad de cumplimentar parte de las actividades académicas necesarias para recibirse, a partir de competencias adquiridas en el ámbito laboral.

Y atento a esta situación, la Secretaría de Políticas Universitarias mediante la Resolución 3915 del 9 de diciembre de 2013 aprobó los lineamientos generales y las bases de la convocatoria del “Proyecto de Estímulo a la Graduación de Estudiantes de las Carreras de Ingeniería (DeltaG)” dirigido a aquellos estudiantes avanzados de Ingeniería y Agronomía que por estar insertos en el mercado laboral discontinuaron el cursado de su carrera, o bien dejaron de cursar, pero debían rendir un cierto número de materias y realizar su trabajo final de grado para recibirse, recordando que, dentro de lo posible, se debían fomentar proyectos de fin de carrera que relacionaran los requerimientos académicos con las necesidades de innovación del territorio, en particular en el caso de los alumnos que trabajan, en su propio ámbito laboral.

A fin de lograr los objetivos propuestos, fue de vital importancia el compromiso y la participación de las Instituciones Universitarias, de manera de asegurar la inserción institucional y académica de la tarea del estudiante para obtener su graduación, así como los acuerdos con empleadores para definir un plan de trabajo que culminara con la graduación del mismo. Es por ello que se convocó a Universidades Públicas y Privadas a participar de este Proyecto que tiene una asignación presupuestaria de pesos cin-



cuenta millones (\$50.000.000) a fin de beneficiar hasta dos mil (2.000) estudiantes avanzados de carreras de ingeniería con un monto estímulo de pesos veinticinco mil (\$ 25.000) por estudiante, los cuales se pagarán en función del cumplimiento, en tiempo y forma, de los planes de trabajo propuestos, es decir, cuando se gradúen.

En síntesis, la convocatoria estuvo dirigida a Universidades Públicas y Privadas que dictan carreras de Ingeniería y Agronomía y que fueron las encargadas de presentar las propuestas de sus candidatos y co-responsables del cumplimiento del plan de trabajo de cada estudiante, quienes además de ser estudiantes avanzados insertos laboralmente y con algún retraso en su carrera, debían adeudar cuatro o menos actividades académicas, incluido el Trabajo Final, y que serían beneficiados con el monto estímulo si lograban recibirse en un año.

La convocatoria 2014 cerró el 15 de marzo de este año, fecha límite para que las Universidades participantes elevaran la propuesta de sus candidatos según el orden de mérito establecido por cada una, y posteriormente, se conformó una comisión ad-hoc integrada por siete miembros; tres de la Secretaría de Políticas Universitarias (SPU), uno del Consejo Interuniversitario Nacional (CIN), uno del Consejo de Rectores de Universidades Privadas (CRUP), uno de la Asociación Universitaria de Educación Agropecuaria Superior (AUDEAS) y uno del Consejo Federal de Decanos de Ingeniería (CONFEDI), responsabilidad que en este último caso recayó en mi persona, a los efectos de evaluar las presentaciones y posteriormente elevar el orden de mérito general

Vencido el plazo estipulado, ante la presentación de tres mil seiscientos cincuenta y tres (3.653) postulantes pertenecientes a ciento doce (112) Unidades Académicas, en los primeros días de abril esta Comisión se reunió en el Ministerio de Educación, convocada por la Secretaría de Políticas Universitarias, para comenzar con el proceso de admisión y evaluación. Teniendo en cuenta la documentación presentada, este Comité Evaluador decidió elevar a las Unidades Académicas participantes una planilla con los estudiantes presentados, donde respetando el orden de méritos realizado por la Facultad, se

dividió a dicha planilla en tres (3) grupos de estudiantes :

1.- Estudiantes que declararon trabajar y presentaron constancia laboral, calificando para ser adjudicatarios del Plan Estímulo.

2.- Estudiantes que declararon trabajar y no presentaron constancia laboral, calificando para ser adjudicatarios del Plan Estímulo si con anterioridad al 22 de abril su Unidad Académica presentaba a la SPU la constancia laboral solicitada.

3.- Estudiantes que no declararon trabajar y por no cumplir con este requisito no han calificado para el Plan Estímulo para alumnos que trabajan.

Recibidas las constancias laborales adeudadas se elaboró la planilla final de adjudicación con los estudiantes presentados que alcanzaron a tres mil cincuenta y ocho (3.058) potenciales adjudicatarios del Plan Estímulo pertenecientes a ciento cuatro (104) Unidades Académicas, no calificando quinientos noventa y cinco (595) estudiantes por no estar insertos laboralmente.

En base a estas evaluaciones, el Secretario de Políticas Universitarias tomó la decisión de incrementar el cupo inicial que en principio era de dos mil (2.000) estudiantes y mediante el acto administrativo correspondiente, resolvió la adjudicación de los cupos a las Instituciones que resultaron beneficiarias según la planilla que se adjunta (**Tabla "Resumen de Estudiantes que cumplen requisitos para ser postulantes por unidad académica"**).

En cuanto a la operatoria para cumplir con la transferencia del estímulo a los estudiantes que se reciban, el Decano de la Facultad o autoridad equivalente, responsable de la emisión de los títulos en su Unidad Académica, deberá emitir una Resolución específica indicando los estudiantes, que estando dentro del cupo máximo otorgado por la SPU y habiendo finalizado con las actividades académicas, han iniciado el pedido formal de otorgamiento del título en el marco de la normativa de la Institución.

Los plazos de corte para informar las graduaciones serán los siguientes :

- 31 de julio de 2014
- 30 de setiembre de 2014
- 30 de noviembre de 2014



<b>RESUMEN DE ESTUDIANTES QUE CUMPLEN REQUISITOS PARA SER POSTULANTES POR UNIDAD ACADÉMICA</b>			
<b>UNIVERSIDAD</b>	<b>Gstn</b>	<b>UNIDAD ACADÉMICA</b>	<b>3058</b>
Aconcagua	PR	Facultad de Ciencias Sociales y Administrativas	3
Argentina de la Empresa	PR	Facultad de Ingeniería y Ciencias Exactas	6
Austral	PR	Facultad de Ingeniería	2
Belgrano	PR	Facultad de Ingeniería y Tecnología Informática	1
Blas Pascal	PR	Departamento de Tecnologías de la Información y Comunicación	3
Católica Argentina Santa María de los Buenos Aires	PR	Facultad de Ciencias Fisicomatemáticas e Ingeniería y Química	14
Católica de Salta	PR	Facultad de Ingeniería e Informática	34
Católica de Santiago del Estero	PR	Facultad de Matemática Aplicada	2
Centro Educativo Latinoamericano	PR	Facultad de Química	11
Fraternidad y Agrupaciones Santo Tomás de Aquino	PR	Facultad de Ingeniería	14
Gastón Dachary	PR	Departamento de Informática	11
Instituto Tecnológico de Buenos Aires	PR	Instituto Tecnológico de Buenos Aires	3
Juan Agustín Maza	PR	Facultad de Ingeniería	5
<b>RESUMEN DE ESTUDIANTES QUE CUMPLEN REQUISITOS PARA SER POSTULANTES POR UNIDAD ACADÉMICA</b>			
<b>UNIVERSIDAD</b>	<b>Gstn</b>	<b>UNIDAD ACADÉMICA</b>	<b>3058</b>
Mendoza	PR	Facultad de Ingeniería	24
Palermo	PR	Facultad de Ciencia y Tecnología	4
Salvador	PR	Facultad de Ciencias y Tecnología	8
Buenos Aires	PU	Facultad de Agronomía	139
Buenos Aires	PU	Facultad de Ingeniería	313
Instituto Universitario Aeronáutico	PU	Facultad de Ciencias de la Administración	7
Instituto Universitario Aeronáutico	PU	Facultad de Ingeniería	6
Instituto Universitario de la Policía Federal	PU	Facultad de Ciencias de la Seguridad	2
Nacional de Catamarca	PU	Facultad de Tecnología y de Ciencias Aplicadas	15
Nacional de Chilecito	PU	Escuela de Ciencias Agrarias	1
Nacional de Córdoba	PU	Facultad de Ciencias Agropecuarias	3
Nacional de Córdoba	PU	Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales	109
Nacional de Cuyo	PU	Facultad de Ciencias Agrarias	13
Nacional de Cuyo	PU	Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria	7
Nacional de Cuyo	PU	Facultad de Ingeniería	22
Nacional de Entre Ríos	PU	Facultad de Ciencias Agropecuarias	9
Nacional de Entre Ríos	PU	Facultad de Ciencias de la Alimentación	2
Nacional de Entre Ríos	PU	Facultad de Ingeniería	33
Nacional de Formosa	PU	Facultad de Recursos Naturales	3
Nacional de General Sarmiento	PU	Instituto de Industrias	18
Nacional de Jujuy	PU	Facultad de Ingeniería	20
Nacional de La Pampa	PU	Facultad de Agronomía	10
Nacional de La Pampa	PU	Facultad de Ingeniería	19
Nacional de la Patagonia San Juan Bosco	PU	Facultad de Ingeniería	12
Nacional de La Plata	PU	Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales	26
Nacional de La Plata	PU	Facultad de Ingeniería	52
Nacional de La Rioja	PU	Departamento de Ciencias y Tecnologías Aplicadas	18
Nacional de Lomas de Zamora	PU	Facultad de Ciencias Agrarias	8



Nacional de Lomas de Zamora	PU	Facultad de Ingeniería	12
Nacional de Luján	PU	Secretaría Académica	93
Nacional de Mar del Plata	PU	Facultad de Ingeniería y Facultad de Ciencias Agrarias	19
Nacional de Misiones	PU	Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales	20
Nacional de Misiones	PU	Facultad de Ciencias Forestales	31
Nacional de Misiones	PU	Facultad de Ingeniería	35
Nacional de Quilmes	PU	Departamento de Ciencias y Tecnología	31
Nacional de Río Cuarto	PU	Facultad de Ingeniería	67
Nacional de Rosario	PU	Facultad de Ciencias Agrarias	32
Nacional de Rosario	PU	Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura	160
Nacional de Salta	PU	Facultad de Ciencias Naturales	47
Nacional de Salta	PU	Facultad de Ingeniería	44
Nacional de San Juan	PU	Facultad de Ingeniería	34

<b>RESUMEN DE ESTUDIANTES QUE CUMPLEN REQUISITOS PARA SER POSTULANTES POR UNIDAD ACADÉMICA</b>			
<b>UNIVERSIDAD</b>	<b>Gstn</b>	<b>UNIDAD ACADÉMICA</b>	<b>3058</b>
Nacional de San Luis	PU	Facultad de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales	13
Nacional de San Luis	PU	Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias	63
Nacional de San Luis	PU	Facultad de Química, Bioquímica y Farmacia	7
Nacional de Santiago del Estero	PU	Facultad de Agronomía y Agroindustrias	9
Nacional de Santiago del Estero	PU	Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías	12
Nacional de Santiago del Estero	PU	Facultad de Ciencias Forestales	3
Nacional de Tucumán	PU	Facultad de Agronomía y Zootecnia	10
Nacional de Tucumán	PU	Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología	91
Nacional de Villa María	PU	Instituto Académico Pedagógico de Ciencias Básicas y Aplicadas	61
Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires	PU	Facultad de Agronomía	4
Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires	PU	Facultad de Ciencias Exactas	62
Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires	PU	Facultad de Ingeniería	29
Nacional del Chaco Austral	PU	Departamento de Ciencias Básicas y Aplicadas	9
Nacional del Comahue	PU	Facultad de Ciencias Agrarias	11
Nacional del Comahue	PU	Facultad de Ingeniería	1
Nacional del Litoral	PU	Facultad de Ciencias Agrarias	7
Nacional del Litoral	PU	Facultad de Ingeniería Química	21
Nacional del Litoral	PU	Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas	25
Nacional del Nordeste	PU	Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura	9
Nacional del Nordeste	PU	Facultad de Ingeniería	7
Nacional del Noroeste de la Pcia. Buenos Aires	PU	Escuela de Ciencias Agrarias, Naturales y Ambientales	6
Nacional del Sur	PU	Departamento de Agronomía	7
Nacional del Sur	PU	Departamento de Ciencias e Ingeniería de la Computación	8
Nacional del Sur	PU	Departamento de Ingeniería	30
Nacional del Sur	PU	Departamento de Ingeniería Eléctrica y de Computadoras	22



Nacional del Sur	PU	Departamento de Ingeniería Química	6
Tecnológica Nacional	PU	Facultad Regional Avellaneda	20
Tecnológica Nacional	PU	Facultad Regional Bahía Blanca	20
Tecnológica Nacional	PU	Facultad Regional Buenos Aires	50
Tecnológica Nacional	PU	Facultad Regional Concepción del Uruguay	12
Tecnológica Nacional	PU	Facultad Regional Concordia	4
Tecnológica Nacional	PU	Facultad Regional Córdoba	142
Tecnológica Nacional	PU	Facultad Regional Delta	30
Tecnológica Nacional	PU	Facultad Regional General Pacheco	3
Tecnológica Nacional	PU	Facultad Regional Haedo	17
Tecnológica Nacional	PU	Facultad Regional La Plata	64
Tecnológica Nacional	PU	Facultad Regional Mendoza	119

RESUMEN DE ESTUDIANTES QUE CUMPLEN REQUISITOS PARA SER POSTULANTES POR UNIDAD ACADÉMICA			
UNIVERSIDAD	Gstn	UNIDAD ACADÉMICA	3058
Tecnológica Nacional	PU	Facultad Regional Paraná	47
Tecnológica Nacional	PU	Facultad Regional Rafaela	20
Tecnológica Nacional	PU	Facultad Regional Reconquista	11
Tecnológica Nacional	PU	Facultad Regional Resistencia	22
Tecnológica Nacional	PU	Facultad Regional Río Grande	4
Tecnológica Nacional	PU	Facultad Regional Rosario	81
Tecnológica Nacional	PU	Facultad Regional San Francisco	30
Tecnológica Nacional	PU	Facultad Regional San Nicolás	39
Tecnológica Nacional	PU	Facultad Regional Santa Cruz	3
Tecnológica Nacional	PU	Facultad Regional Santa Fe	68
Tecnológica Nacional	PU	Facultad Regional Tucumán	19
Tecnológica Nacional	PU	Facultad Regional Venado Tuerto	2
Tecnológica Nacional	PU	Facultad Regional Villa María	61
<b>Total de estudiantes</b>			<b>3058</b>
<b>Unidades Académicas</b>			<b>104</b>

- 31 de enero de 2015
- 31 de marzo de 2015

La SPU emitirá el mes inmediato siguiente a las fechas indicadas, la Resolución de Transferencia de fondos indicando la lista de estudiantes incorporados a la misma. En este sentido, durante el mes de agosto se han firmado ciento cincuenta y dos (152) Resoluciones de Transferencia correspondientes a ciento cincuenta y dos (152) flamantes graduados.

Los fondos serán depositados en la Universidad correspondiente, debiendo ésta realizar el pago al estudiante en el marco de su normativa interna, debiendo el comprobante de pago al estudiante ser presentado a la SPU en la rendición final, que deberá realizarse al finalizar el proyecto, el 31 de marzo de 2015.

En síntesis, desde CONFEDI consideramos que este Proyecto Estímulo es de vital importancia para rescatar académicamente a este grupo

de estudiantes avanzados que por circunstancias mayoritariamente laborales habían retrasado su graduación y que su éxito estará ligado, indudablemente, a la materialización del compromiso asumido por cada Institución participante a través del cumplimiento de los planes de trabajo presentados para cada postulante.

Por lo tanto, como Decano de una Facultad de Ingeniería, agradezco a la SPU, y por su intermedio al Ministerio de Educación de la Nación, por las distintas actividades que vienen implementando en el marco del Plan Estratégico para la Formación de Ingenieros 2012-2016, y en especial celebro el lanzamiento de acciones como ésta que considero crucial para que una masa tan importante de estudiantes que están a un paso de graduarse, se sientan acompañados e incentivados por la propia Institución que los albergó y que los vio crecer, a hacer un último esfuerzo que, desde lo individual, les permita culminar con un título una etapa de sus vidas



tan difícil y sacrificada, y desde lo colectivo, puedan brindarle al país todo su conocimiento para asegurar un desarrollo sostenible del modelo productivo y del sistema científico, tecnológico y de innovación.



# La Ingeniería argentina y un paso trascendente

Ing. Oscar Peire<sup>1</sup>

Las Facultades de Ingeniería de la República Argentina, sus autoridades, docentes, investigadores y estudiantes decidieron dar un paso trascendente. Esta decisión no es sólo académica, administrativa, un hallazgo o una nueva investigación. Con el paso de los años, sin dudas, tendremos la objetividad y la suficiente perspectiva para valorarla.

Argentina requiere profesionales de la Ingeniería. Mucho se ha escrito y hablado sobre esa falta en cantidad, en número. Pero hasta ahora no nos hemos puesto a considerar carencias o necesidades de ingenieros en áreas específicas o en disciplinas nuevas, cada vez más amplias y abarcativas.

Transcurrieron ya 10 años del inicio de los procesos de acreditación de nuestras “clásicas” carreras de Ingeniería. Se homogenizaron las denominaciones de esos títulos y se tuvo una puesta en común a nivel nacional. La Ingeniería en nuestro país se consolidó, mejoró y las facultades de Ingeniería hoy tienen planes de desarrollo institucionales claros y precisos en lo académico, investigación, extensión y vinculación.

Nos encontramos en el momento oportuno para aumentar la oferta de terminalidades que surge, sin dudas, a partir del incremento constante de conocimientos, del avance de la ciencia, de la tecnología, pero fundamentalmente se expresa por la falta de profesionales (ingenieros) que la sociedad demanda para atender sus problemas emergentes a partir del desarrollo y el crecimiento.

Analizado en cada ciudad, en cada región, los problemas de hoy y del desarrollo inmediato no son siempre atendidos por profesionales de la Ingeniería con competencias específicas en esas temáticas. Hay temáticas que, por su avance, o por necesidades especiales requieren ingenieros específicamente capacitados para su abordaje y

1. Decano de la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura de la Universidad Nacional de Rosario. Av. Pellegrini 250 – (2000) Rosario. Tel: 0341 4802650 int. 112. E-mail: decano@fceia.unr.edu.ar

análisis: energía (renovables y convencionales), transporte, nanoingeniería, nuevos materiales, mecatrónica, telemática, etc.

El Consejo Federal de Decanos de Ingeniería – CONFEDI, es hoy un actor fundamental en la consolidación y crecimiento de la Ingeniería argentina. Sin dudas, tiene que ver con el presente institucional de nuestras facultades. Constituye, además, un espacio de consenso amplio, plural, propositivo, de debate y referencia insoslayable en lo que respecta al desarrollo de la ciencia y la tecnología, su enseñanza y su mejora permanente.

El CONFEDI, en su 55° Congreso, realizado en la ciudad de Concepción del Uruguay, resolvió proponer la creación de una nueva terminalidad de Ingeniería: Ingeniería en Transporte, instancia a la que se arribó luego de la realización de dos talleres en la Facultad de Ingeniería de la UBA, del rico intercambio entre especialistas, académicos, directores de institutos y departamentos académicos. Se contó, además, con diagnósticos de diversos organismos estatales, nacionales, provinciales y municipales, sumados a quienes ocupan posiciones de responsabilidad ejecutiva, tanto en organismos públicos como privados.

## ¿Por qué esta nueva terminalidad?

La Ingeniería en Transporte trata sobre la aplicación de principios tecnológicos y científicos a la planificación, diseño, operación y administración de las facilidades de todas las moda-

lidades de transporte, con el fin de proveer un movimiento seguro, conveniente, económico y compatible con el medio ambiente, de bienes y personas. La Ingeniería de Transporte constituye una de las áreas de la Ingeniería que más se relaciona con otras disciplinas, como planificación urbana, economía, diseño, comunicación social, ciencia política y estadística, entre otras.

La creación del título de Ingeniero en Transporte se fundamenta en la necesidad de contar con un profesional que tenga actividades reservadas propias y responsabilidad sobre la actividad relacionada al transporte.

La Ingeniería en Transporte se propone entonces, como una carrera incluida en el art. 43 de la Ley de Educación Superior 24.521. Ella permitirá contar con un profesional responsable y con una mirada integral de la actividad del transporte, que además de implementar buenas prácticas en el diseño, planificación, explotación y adecuación del servicio, y en el mantenimiento de la infraestructura, contribuya a generar una verdadera red integral de transporte, con un sistema de normativas adecuadas y una estructura de contralor auditable.

Este ingeniero tendrá la capacidad y los conocimientos necesarios para desarrollarse en las áreas de planificación, diseño, gestión, operación y control de todos los modos de transporte, tanto públicos como privados.

Los proyectos, planes y obras en ejecución de los sistemas de transporte, en su mayoría son pensados, gestados y gestionados desde un campo disciplinar y/o técnico específico y autónomo (vial, ferroviario, portuario, etc.); o pretenden dar soluciones puntuales (cruces a distintos nivel, ampliación de un puente, incorporación de calzadas, o simplemente repavimentaciones o bacheos) a problemas que demandan soluciones integrales. Sin embargo, los distintos proyectos y planes de una región se vinculan, apoyan, consolidan, complementan, potencian entre sí. Uno es generador y/o soporte del otro, se sostienen entre sí como elementos de un único sistema. Por ello resulta imprescindible analizarlos y gestionarlos como lo que son: elementos de un sistema integral.

Tanto en la toma de decisiones como en la formulación de los proyectos y/o programas

prevalecen el campo disciplinar de la ingeniería civil y los aspectos estrictamente funcionales. Para superar estos enfoques parciales y limitantes se requiere una mirada integral, la inserción del saber disciplinar en los ámbitos de toma de decisiones.

Desde esta óptica, el abordaje de la problemática de la movilidad implica la adopción de una escala regional, metropolitana y local de la misma.

La planificación estratégica del transporte en todos sus aspectos requiere contar con profesionales específicamente formados para planificar las infraestructuras que contribuyan al desarrollo territorial, con una visión estratégica, con un enfoque integral, complejo, multidisciplinar, de escala ampliada, desarrollando metodologías para su abordaje. Profesionales que puedan llevar adelante funciones adecuadas a los nuevos desafíos a los que se enfrentan las ciudades y las regiones, procedente tanto de las administraciones públicas locales, provinciales y nacionales, como de las empresas e instituciones económicas de base territorial. Se trata de formar universitarios con aptitudes y conocimientos específicos para desenvolverse en ámbitos locales y regionales, tanto del sector público, privado o no gubernamental.

Esta formación es necesaria para conformar alianzas o redes entre diversas organizaciones, que ha demostrado ser una variable fundamental al momento de impulsar acciones orientadas a aprovechar oportunidades que, muchas veces, se pierden simplemente por falta de conocimiento o insuficiente capacidad institucional.

El Ingeniero en Transporte, aplicando métodos de la Ingeniería, abordará temas de:

- ° **Planificación:** Planificar sistemas de transporte multimodales para optimizar costos, con el mayor ahorro energético y con bajos impactos ambientales, evaluando alternativas de solución para los problemas urbanos, regionales, nacionales e internacionales.

- ° **Operación:** Operar sistemas complejos de transporte en sus diferentes modos, tanto desde la faz pública como privada. Mejorando los flujos de tránsito, aplicando métodos de la ingeniería con el auxilio de tecnologías de la información.

- ° **Administración, gestión y control:** Admi-



nistrar, gestionar y controlar entes, empresas, y sistemas vinculados a la movilidad. Realizando evaluaciones desde el punto de vista: ambiental, socioeconómico y de la seguridad. Efectuando estudios técnico-económicos atendiendo aspectos de explotación del sistema, de su ejecución, de su puesta en funcionamiento y de su eventual modificación o adecuación futura.

° **Seguridad Operativa:** Intervención en los aspectos inherentes con la seguridad operativa de cada uno de los modos de transporte, participando en la confección de Reglamentos técnicos y operativos inherentes a la circulación, explotación y control de los servicios de transporte, los que se brindaran bajo condiciones de seguridad, eficiencia, regularidad y calidad.

° **Investigación, desarrollo y transferencia:** Desarrollará investigaciones (físicas, conceptuales, formulaciones matemáticas, modelaciones, etc.), en las áreas de competencia que permitan el desarrollo de elementos o tecnologías para la mejora continua de los sistemas de movilidad, sus modos y los factores involucrados. Para transferir estas tecnologías al medio que debe ser la razón de ser y la fuente de alimentación de la ingeniería. Dentro de este aspecto debe remarcar la capacitación para generar conocimiento y transferirlo mediante la formación de recursos humanos jerarquizados.

### **Acuerdo en los contenidos curriculares mínimos**

Como fruto de los debates, más los aportes recibidos, se concluyó que el futuro Ingeniero en Transporte debe contar con los conocimientos básicos inherentes a cualquier rama de la Ingeniería para, a partir de ahí, avanzar en las denominadas tecnologías básicas concernientes a la temática del transporte: materiales, estructuras, economía, costos, estadística aplicada e investigación operativa.

Me detengo entonces a especificar aquellas temáticas denominadas Tecnologías Aplicadas, que no necesariamente conforman asignaturas o materias, sino que son grandes denominadores de espacios curriculares variados, pero que sí permiten desarrollar lo específico del conocimiento:

- ° financiamiento y tarifas del transporte;

- ° estudio de demandas de transporte;
- ° logística;
- ° análisis del impacto ambiental del medio y modo de transporte;
- ° sistemas de transporte;
- ° geomática y tecnología de la comunicación;
- ° desarrollo territorial y urbanismo
- ° movilidad urbana;
- ° transporte carretero, ferroviario, aéreo, marítimo y fluvial;
- ° seguridad;
- ° Ingeniería en el tránsito.

Estos puntos constituyen una somera enumeración temática, a los que se incorporará el contenido que aporta la formación integral en idioma, legislación, gestión de la calidad, gestión y evaluación de proyectos de inversión, políticas públicas, la realización de la Práctica Profesional Supervisada, además de un trabajo final, integrador de la carrera.

El profesional de la Ingeniería en Transporte será un profesional con un riguroso contenido técnico específico, con habilidades para analizar, investigar, proponer y aplicar soluciones a los problemas del transporte en sus distintos alcances, además de desarrollar capacidades de trabajo en equipos multi e interdisciplinarios, habilidad de expresión oral y escrita, creatividad hacia la resolución de problemas o desafíos.

### **Una nueva carrera: Ingeniería en Transporte**

El desarrollo de la Ingeniería se dio siempre a partir del desarrollo básico e inicial que representaba la Ingeniería Civil. Con el paso del tiempo y el avance del conocimiento y de nuevas tecnologías, comenzaron a crearse las nuevas terminales en ingeniería: Mecánica, Eléctrica, Industrial, Química, y éstas, a su vez, fueron derivando en: Electrónica, Informática o Computación, etc. Ramas y terminales de Ingeniería que en definitiva dan respuesta a una demanda de necesidades, desafíos y problemas que tiene la sociedad en su constante cambio.

Dimos, entonces, un paso trascendente al crear una nueva terminalidad: "Ingeniería en Transporte". Sin dudas, comenzarán los desafíos de esta decisión: armar un plan de estudios, conformar el plantel docente, desarrollar las áreas

de investigación, asegurar el equipamiento mínimo junto a la bibliografía específica necesaria, crear laboratorios y gabinetes de práctica, etc.

Este esfuerzo, compartido por toda la comunidad universitaria, aportará alternativas y soluciones a la sociedad para su desarrollo, su bienestar y su progreso continuo y sustentable. El desafío ya comenzó.



# Creación de una empresa de base tecnológica

Favio Masson, Pablo Mandolesi y Pedro Jullían

El Grupo de Investigaciones en Sistemas Electrónicos y Electromecatrónicos (GISEE) lo constituyen un grupo de investigadores del Instituto de Investigaciones en Ingeniería Eléctrica (IIIEUNS-CONICET) y docentes del Departamento de Ingeniería Eléctrica y de Computadoras (DIECUNS). Sus miembros están dedicados a la investigación, desarrollo, aplicación y difusión de la electrónica de potencia, la micro y nano electrónica, los sistemas de potencia y la robótica. El grupo está compuesto por siete investigadores y más de 15 becarios, algunos de ellos con lugar de trabajo fuera de la UNS, en el país e incluso en el extranjero.

El grupo de investigación ha desarrollado en los últimos años una intensa actividad en investigación y vinculación tanto con la industria como con universidades del extranjero. Parte del resultado de ésta actividad es la creación del primer spin off de la UNS (AcuMine Argentina SA) y el presente análisis es un resumen de la experiencia del grupo en su creación. Primero, se introducirá la temática de la creación de empresas desde los miedos y certezas que representan para un investigador. Son las preguntas que se presentaron al grupo ante la posibilidad de generar una empresa y las respuestas que se encuentran en la misma comunidad científica. Luego, se resumirá la experiencia de la empresa desde la perspectiva académica, presentando luego algunas conclusiones o enseñanzas que dejó éste ejercicio.

## Las universidades como actores del desarrollo económico

Las universidades en el mundo se han convertido en actores centrales en la economía del conocimiento. Ya no se limitan a sus funciones tradicionales de enseñanza e investigación pri-

matarias y los ejemplos más famosos, y más nombrados en tratados sobre estos temas, son la Universidad de Stanford con el crecimiento de Silicon Valley y el MIT. En consecuencia, muchos actores sociales ven las universidades como “fábricas de conocimiento” para la nueva economía con reservas de conocimientos sin explotar, potencialmente comercializables, a la espera de ser recogidos por las empresas. Sin embargo, esta visión excesivamente mecanicista del proceso por el cual la investigación científica básica se transforma en productos económicamente viables no sólo demuestra una concepción errónea del proceso de comercialización, sino también de lo que las universidades pueden y deben esperar hacer [4]. Es el flujo de conocimiento el que impulsa la innovación. La transferencia de conocimientos dentro de una economía regional debe ser un proceso fluido, iterativo y complejo que involucra a muchos agentes diferentes. Si bien la presencia de una universidad líder, en investigación en una comunidad, en sí misma no es suficiente para estimular el crecimiento económico regional, pero pueden hacer contribuciones significativas al proceso.

En [3] se demuestra, a través de la experiencia de la Universidad de Waterloo, la importancia de la institución cuando ésta no sólo desarrolla la excelencia académica en las disciplinas de investigación, con aplicaciones directas a la industria, sino también, con una prioridad ex-

plícita de desarrollar vínculos con la industria para los fines de desarrollo económico regional y nacional. A pesar de los evidentes beneficios para la sociedad de una mayor interacción de la universidad con la industria, esto no sugiere que una universidad con estrategias emprendedoras es cualitativamente superior a una tradicional. Las universidades generan y difunden conocimientos como un bien común y ambas funciones deben coexistir.

Casos similares pueden observarse en los países de la región, confirmando que algunas de estas conclusiones pueden extrapolarse a países menos desarrollados, aunque su alcance es sustancialmente menor [5]. Un análisis de datos empresariales de Chile reconoce que la colaboración con las universidades aumenta la propensión de una empresa privada a que genere patentes en un 35 por ciento, manteniendo todas las demás variables explicativas en el modelo constante. También, aumenta la probabilidad de participación de la empresa en la innovación de productos, mientras que el análisis no encuentra ningún efecto significativo en el proceso de innovación. En Argentina, la relación entre universidad e industria es débil, siendo los proveedores y clientes los principales factores de innovación para las empresas de este país. Asimismo, existen sólo algunos ejemplos en América Latina de la participación de personal de la universidad en la creación de empresas de base tecnológica. La Escuela de Ingeniería de la Universidad Católica de Chile tiene una de las experiencias más amplias en la región. Desde 1992, la Universidad ha apoyado la creación de cinco empresas spin-off en las que participaron académicos y estudiantes universitarios.

### Los spin off son buenos o malos

Los científicos se ven afectados por las exigencias y restricciones que la sociedad plantea en su trabajo. En las últimas décadas, las sociedades occidentales tienden a esperar de la investigación pública la generación de resultados útiles que se puedan introducir en prácticas en el sector privado. Estas exigencias, en nuestro país se reflejan en un sentimiento social de que la universidad está alejada del ciudadano común. La mayor insistencia en la transferencia de

conocimientos de los programas de investigación pública se puede encontrar en las medidas de política tales como la Ley Bayh-Dole en los Estados Unidos, la Ley de Promoción y Fomento de la Innovación Tecnológica en Argentina y en particular, en la UNS, la aceptación que han tenido programas como los PGI-TIR (Proyectos de Grupos de Investigación en Temas de Interés Regional). Estas acciones están motivadas en gran parte por la intención de hacer el mejor uso de los importantes fondos que gasta la sociedad por la investigación pública. Además, la transferencia de tecnología es una fuente potencial de ingresos para las universidades y otras organizaciones públicas de investigación, que promete reducir su dependencia de los fondos públicos.

Se han proclamado muchas presunciones sobre el rendimiento en investigación de los académicos con actividades de transferencia. La mayor parte de la discusión se ha centrado en las patentes universitarias. Sin embargo, los argumentos en general se pueden extender a empresas universitarias, y los efectos incluso pueden ser más fuertes para los spin-off y sus fundadores. En [2] se analizan una serie de conjeturas (positivas y negativas) sobre los spin off analizando datos del Instituto Max Planck de Alemania. Estas tenían que ver con el efecto adverso en la investigación, las oportunidades de investigación y el efecto de los ingresos económicos. A partir del análisis de alrededor de 3000 invenciones y el número de trabajos y sus citas a partir del ISI Science Citation Index, la primer conclusión a la que arriban los autores es que hay una fuerte evidencia que sugiere una relación positiva entre la actividad inventiva de los científicos por un lado, y su desempeño como investigadores por el otro.

En [1] se presenta un análisis basado en laboratorios de investigación y desarrollo de México y Canadá. Los autores concluyen que bien gestionados, los laboratorios de I + D pueden desempeñar un papel importante en la escisión o creación de nuevas empresas. Además, estos proporcionan una infraestructura de investigación de alta complejidad, que es muy necesaria para el desarrollo de empresas de base tecnológica. Y esto se relaciona bastante con el caso del GISEE. Se ha logrado construir una infraestruc-



tura para la producción de microelectrónica, a partir de convenios Académicos con instituciones de USA (MOSIS) y Taiwán, a lo que se suma la disponibilidad de licencias educacionales de software de diseño de las firmas más importantes en el rubro (CADENCE, SYNOPSIS, MENTOR), junto con licencias comerciales (TANNERRESEACH Inc.). Así, se está acercando a la industria argentina de electrónica la posibilidad real de integración de sus productos. Esto se puede mensurar a partir de la línea de financiación PAE, de la Agencia y del proyecto FONARSEC Tecnópolis del Sur [www.tecnopolisdelsur.com.ar], del que el GISEE es su fundador. Desde allí, una veintena de empresas están haciendo sus circuitos integrados accediendo a tecnología provista por el grupo o a desarrollos que los coloca en forma competitiva en el mercado mundial. Hace diez años esta posibilidad era inexistente.

En términos de la canalización de los resultados, existen diferencias entre el sistema público y el privado. En el primer caso, los resultados son publicados y puestos a consideración y discusión al resto de la comunidad científica. Las compañías, por otra parte, buscan proteger el valor de sus inversiones. Esto podría provocar que los descubrimientos no se publiquen o ésta sea demorada hasta que la innovación sea protegida. Existen estudios que indican que las universidades son responsables de establecer un equilibrio en la apertura de sus resultados científicos y las concesiones de confidencialidad a la industria y los resultados [6].

En términos de la orientación de la investigación, existen recelos sobre el sesgo que tomarían éstas ante el interés de la industria, esto es la contaminación de la agenda de investigación por las necesidades de tesis orientadas a la aplicación. Desde esta perspectiva, la investigación universitaria es caracterizada como independiente que debe seguir objetivos puramente académicos y contribuir a la frontera de la ciencia de una forma sólo guiada por la curiosidad. En ese sentido, hay datos que indican que los centros de investigación orientados a la aplicación invierten un tercio en investigación básica [7] de lo que invierten aquellos que no se orientan a la industria. Sin embargo, si se observan la cantidad de publicaciones en investigación

básica contra el crecimiento del número de patentes, este último tuvo un incremento abrupto, mientras que el número de los primeros se mantuvieron estables. Este resultado se confirma en particular en la industria de los semiconductores [8].

Los investigadores del GISEE relacionados con el Spin Off, han tenido en el quinquenio 2004/2008 una productividad promedio de 5.33 trabajos científicos en revistas o libros. Este es el período donde se gesta la investigación y puesta en marcha de la empresa. La producción promedio de un docente en el DIEC, miembro del IIIE, es de 1.92 trabajos. Si consideramos al GISEE completo en este análisis, su promedio de publicaciones es 5,14. Si consideramos ahora todos los docentes dedicación exclusiva del DIEC, su producción promedio es de 1,62. Traduciendo los números, los investigadores involucrados con la propuesta en forma directa o indirecta poseen una productividad de un trabajo por año, mientras que considerando el promedio en el Instituto o el DIEC es de 1 cada dos años y medio o tres. Esto indica que en parte las conclusiones de los trabajos mencionados se pueden extrapolar a la realidad local. Estos números en términos relativos se mantienen en los años subsiguientes, siendo todos superiores.

### **La creación del spin off: Acumine Argentina SA**

Se reconoce en la literatura que la creación del emprendedorismo en los laboratorios de las universidades está aún en su infancia, más allá de los importantes ejemplos de los Estados Unidos de América. Por ello, es importante disponer de un modelo que permita tanto a las instituciones como a los gobiernos identificar, entender y distinguir los problemas esenciales en la creación de estas compañías. En el contexto científico nacional, en términos de financiación, como de acciones concretas, hay antecedentes y acciones que facilitan, promueven y financian la creación de Spin off. EL CONICET, por ejemplo, les reconoce a sus investigadores la posibilidad de desarrollar un spin off y a la vez desarrollar su plan de trabajo en este. El investigador puede acogerse a la modalidad del Investigador en empresas, participando en la sociedad con con-

dicionamientos éticos y de relación de dependencia, pero fundamentalmente con el requisito que la empresa sea de base tecnológica; en otras palabras, innovadora. Las Universidades Nacionales, y la Universidad Nacional del Sur en particular, se encuentran adaptando o adaptaron ya sus reglamentaciones fomentando la creación de empresas mediante la organización de Jornadas, Concursos, Seminarios, Cátedras de Emprendedorismo y similares.

En este contexto es el que se desarrolla la experiencia Acumine Argentina SA, una empresa de base tecnológica, nacida de un proyecto de investigación conjunta entre el Australian Centre for Field Robotics de la University of Sydney, y el Grupo de Investigación en Sistemas Electrónicos y Electromecatrónicos de la Universidad Nacional del Sur. El objetivo inicial del proyecto de investigación era encontrar una solución al problema de colisiones en ambientes de explotación minera. El éxito del proyecto de investigación derivó en Argentina en el primer spin off de la Universidad Nacional del Sur. La empresa llevó el concepto desarrollado en el proyecto de investigación a un producto final comercializable y fabricable llamado 4CAST. Con altas exigencias de calidad y operatividad: condiciones ambientales extremas (desiertos a 50°C o montañas a 4000 metros de altura y -30°C) y sin posibilidades de fallas.

El sistema original utiliza estrategias de minería de datos y de automatización para la detección temprana de situaciones de riesgo para los conductores de grandes equipos, alertándolos antes que los accidentes se produzcan y generando reportes online de la situación de riesgo general de la explotación minera. La electrónica sigue estándares internacionales de calidad y operatividad.

Es interesante en este punto resaltar que lo que la empresa comenzaba a comercializar no era la receta de un producto o el montaje y la verificación de una placa electrónica. Lo que ésta ofrece al mercado es un concepto totalmente nuevo en términos de seguridad contra accidentes y que los competidores tardaron varios años en entender. Eso hizo que fuera en la práctica imposible la transferencia del conocimiento desarrollado, y debieron ser los involucrados en el

proyecto quienes llevaran adelante la introducción en el mercado del producto.

Así, en términos de gestión la empresa, es particular porque así se lo propusieron los investigadores fundadores. Los investigadores, estudiantes y técnicos que fueron parte del desarrollo son accionistas de la empresa. Sin embargo, una vez expulsada la empresa del sistema académico, los estudiantes, ya profesionales, son los que se encargaron de la gestión y crecimiento posterior de la empresa. De alguna forma, los investigadores reproducen el modelo de formación de recursos humanos académico, acompañando y aportando de forma esencial en la formación, para permitirles luego crecer en forma independiente.

El nacimiento de la empresa tuvo que pagar costos muy altos en relación a la no existencia de antecedentes. Los investigadores, en ese sentido, corrieron varios riesgos. Estos estaban relacionados con la ventana de oportunidad del desarrollo en el mercado y la imposibilidad de resolver rápidamente los aspectos formales. Sin ejemplos a seguir o copiar, el apoyo desde la Secretaría de Vinculación de la UNS y del CONICET fue clave para la concreción de la propuesta. Habiéndose creado la empresa en 2008, recién en 2011 es aprobada la licencia por el Consejo Superior de la UNS y en 2014 firmado el convenio por la presidencia del CONICET. Los investigadores se retiran de la gestión cuando la UNS formaliza la licencia. A partir de allí, el derrotero de la empresa está en manos de aquellos a los que formamos para innovar.

## Conclusiones

En general, existe documentación oficial y formal que pregona el apoyo y promoción de la creación de valor desde las universidades o institutos de ciencia. El proyecto de Ley de Ciencia, Tecnología e Innovación [9] declara que "Los Estados y sus sociedades han llegado al convencimiento que deben estimular cada día más la iniciativa privada y que todos aquellos que tengan capacidad y vocación deben ser estimulados y apoyados a que lo hagan. Una misión básica del Estado en los próximos años deberá ser la eliminación de obstáculos y el aporte de facilidades para que ideas creativas lleguen a plasmarse en

empresas innovadoras. La Ley 23.877 de Promoción y Fomento de la Innovación Tecnológica ha sido premonitoria en este sentido y resulta un pilar fundamental para alcanzar los objetivos de la presente Ley." Más adelante declara "Finalmente se debe insistir que es ésta una ley marco no reglamentarista. Es la comunidad la que, a través de un proceso evolutivo, completará huecos y nichos, consolidando sub-estructuras." También el Libro Blanco De La Prospectiva TIC [10] del que participaron varios investigadores de la UNS. Allí en sus conclusiones se expresa que "El desafío principal para la Argentina, en términos de Ciencia y Tecnología, es lograr cambiar el modelo de I+D&i. Este cambio, una auténtica revolución cultural, es una precondition insoslayable para superar un retraso de 50 años en los próximos 20 años. Esta transformación podría resumirse como el pasaje del paradigma lineal al no lineal de investigación y desarrollo." Para lograrlo propone una serie de doce medidas, una de las cuales es "Fomentar la creación de nuevas empresas y clusters tecnológicos así como potenciar los existentes, sobre la base de mejorar la competitividad y la especialización, promoviendo activamente la asociación entre el sector científico-técnico y educativo con el sector privado, destinando subsidios y líneas de créditos accesibles para ello. Es muy importante apoyar la creación de spin offs a partir de las universidades y centros científicos."

Sin embargo, son los investigadores y/o profesores los que se encuentran solos y deben tomar las decisiones que ponen en riesgo mucho de su prestigio y logros para que estas acciones se concreten. El caso de Acumine Argentina SA es probablemente uno que pudo concretarse entre otros tantos intentos desconocidos, porque quedaron en el camino. Aún el sistema académico no está preparado para recibir y valorar estas iniciativas y en general es más valioso, y simple y sin riesgos para el investigador, que un trabajo científico de dominio público sea citado por una patente en algún lugar del mundo. Realidad que el grupo de investigación conoce ya que al hacer investigación aplicada, varios de sus trabajos son citados en patentes de USA o Europa.

El aprendizaje que queda en los investigado-

res no tiene que ver con la posibilidad de crear nuevos emprendimientos. El más importante es entender, desde una perspectiva empresaria, los dilemas, las urgencias, las ventajas y oportunidades de la iniciativa privada en la economía. Esto sin duda acerca a la ciencia mucho a las empresas y es parte de lo que se está sembrando a partir de proyectos como el FONARSECTICs Tecnópolis del Sur.

La sociedad, sin embargo, es más veloz para valorar estos aspectos [11]. Y es el sistema académico el que debe adaptarse para lograr los cambios que necesita el país donde debemos conciliar la academia y la industria pero poniendo en el centro al investigador, cosa que está lejos aún de suceder.

## Referencias

Claudia Díaz-Pérez and Ricardo Arechavala-Vargas. The Role of Public Research Institutes in Innovation Networks. Prime-Latin American Conference at Mexico City, September 24-26 2008

Guido Buenstorf. Is Academic Entrepreneurship Good or Bad for Science? Empirical Evidence from the Max Planck Society. *Paperson Economics and Evolution* 2006-17, Max Planck Institute of Economics, Evolutionary Economics Group. 2009

Allison Bramwell and David A. Wolfe. Universities and regional economic development: The entrepreneurial University of Waterloo. Elsevier. *Research Policy*, Volume 37, Issue 8, September 2008, Pages 1175-1187

David A. Wolfe. The Role of Universities in Regional Development and Cluster Formation. In Eds. Glen Jones, Patricia McCarney and Michael Skolnick. *Creating Knowledge, Strengthening Nations*. Toronto: University of Toronto Press. 2005

Thorn, Kristian and Soo, Maarja, Latin American Universities and the Third Mission: Trends, Challenges, and Policy Options. World Bank Policy Research Working Paper No. 4002. August 1, 2006

Aldo Geuna and Lionel J.J. Nesta. University patenting and its effects on academic research: The emerging European evidence. Elsevier. *Research Policy*, Volume 35, Issue 6, July 2006,

Pages 790-807

Florida, R. Engineer infrastructure? The university role in economic development, in: Branscomb, L.M., Kodama, F. (Eds.), Industrializing Knowledge. MIT Press, Cambridge MA, 1999.

Bart Van Looy, Marina Ranga, Julie Callaert, Koenraad Debackere and Edwin Zimmermann. Combining entrepreneurial and scientific performance in academia: towards a compounded and reciprocal Matthew-effect?, Elsevier, Research Policy, Volume 33, Issue 3, April 2004, Pages 425-441

Proyecto De Ley De Ciencia, Tecnología E Innovación, [http://www.mincyt.gov.ar/normas/hoja22\\_31.htm](http://www.mincyt.gov.ar/normas/hoja22_31.htm)

Libro Blanco De La Prospectiva TIC, <http://www.mincyt.gov.ar/publicaciones/Prospectiva%20TIC%20-%202020.pdf>

La Primera Veta – Information Technology. Julio 2012. Una de las 10 notas que componían el tema central de la revista: 10 proyectos con tecnologías de vanguardia en 10 universidades argentinas.





# El aporte de las tutorías al incremento de la graduación en Ingeniería

Liliana Cuenca Pletsch<sup>1</sup>

## Resumen

El presente artículo da cuenta de la evolución de los sistemas de tutoría implementados en las Facultades argentinas con carreras de Ingeniería a partir de los resultados de los procesos de Acreditación de carreras y del lanzamiento del Plan Estratégico para la Formación de Ingenieros 2012-2016 (PEFI), cuyo objetivo principal es incrementar la cantidad de graduados en ingeniería en un 50% al 2016 y en un 100% para el 2020.

En este marco, el Consejo Federal de Decanos de Ingeniería (CONFEDI) ha reconocido la importancia de las tutorías, como parte de un conjunto de acciones que deben aportar al objetivo de *Mejora en la retención de alumnos* correspondiente al eje *Mejoramiento de los indicadores académicos* del mencionado Plan Estratégico.

Con el objetivo de relevar las diferentes configuraciones de los sistemas tutoriales, su impacto y evaluación y de desarrollar un programa que integre las acciones vinculadas con el objetivo mencionado en el párrafo anterior, el CONFEDI ha llevado adelante dos talleres, uno en el 2013 y otro en el 2014, cuyas conclusiones se presentan.

*Palabras Clave:* desgranamiento, retención, tutorías, mejoramiento de la enseñanza.

## Introducción

Los procesos de acreditación de carreras de Ingeniería pusieron de manifiesto los altos niveles de desgranamiento y los bajos rendimientos estudiantiles en estas carreras, y originaron que en los planes de mejora se incluyeran acciones para disminuir este problema.

El bajo rendimiento académico de los estudiantes universitarios, en los primeros

1. Decana de la Facultad Regional Resistencia de la Universidad Tecnológica Nacional. Presidente de la Comisión de Enseñanza del CONFEDI.  
decana@frre.utn.edu.ar

años de carrera, es motivo de preocupación y objeto de estudio de múltiples investigaciones en nuestro país. Los trabajos consultados al respecto abordan la problemática del estudiante universitario desde perspectivas diferentes, pero permiten advertir que la permanencia y el abandono, el éxito y el fracaso académico, se definen en la confluencia de múltiples factores. Hay coincidencia entre los autores en cuanto a que estos hechos, especialmente el éxito y el fracaso académico, no pueden explicarse basándose exclusivamente en déficit intelectual o cognitivo, sino que deben considerarse otros condicionantes de índole motivacional y actitudinal [1]. Podría afirmarse que estos aspectos poseen un potencial predictor igual o mayor que los cognitivos o intelectuales. [2].

En este sentido, a partir de 2005, las Instituciones pudieron llevar adelante numerosas acciones con los recursos provistos por el Programa de Calidad de la Secretaría de Políticas Universitarias (SPU), más específicamente, a través de los Proyectos de Apoyo o de Mejoramiento de la Enseñanza (PROMEI y PACENI).

En el 2012 el Estado Nacional, a través de la Secretaría de Políticas Universitarias (SPU), implementó el Plan Estratégico para la Formación de Ingenieros 2012-2016 (PEFI), cuyo objetivo principal es incrementar la cantidad de graduados en ingeniería en un 50% al 2016 y en un 100% para el 2020. Dicho plan busca



asegurar recursos humanos en cantidad y calidad necesarios para el desarrollo del país. Esta necesidad surge de la evolución de la tecnología y la industria, de los mercados internacionales no explotados y una creciente vinculación entre empresas y universidades [3].

Entre las acciones orientadas a atender las situaciones académicas de atraso, deserción, desgranamiento y baja tasa de egreso se destacan las *tutorías*, con presencia en todas las Facultades de Ingeniería del país.

Para debatir sobre el tema, compartir experiencias y trabajar propuestas superadoras, se realizaron Congresos y Jornadas nacionales y regionales. También se conformaron dos Redes: Red Argentina de Sistemas de Tutorías en Carreras de Ingeniería y Afines (RASTIA) en el año 2008 y el Grupo Interinstitucional de Tutorías de Buenos Aires (GITBA) en el 2010. En el año 2010 RASTIA elaboró el documento sobre "*Estado actual y perspectivas de los Sistemas de Tutoría tras los programas de apoyo y de mejora de la Secretaría de Políticas Universitarias. Análisis y propuestas para su continuidad*"[4].

En el mencionado documento se destaca que estos sistemas se han orientado, según el contexto institucional, a: *la articulación entre la universidad y la escuela media, el ingreso a la universidad y el primer año de estudios, la permanencia en la carrera elegida y el egreso. En estos contextos, las tutorías han demostrado eficacia en la detección y abordaje de las causas de deserción, atraso y desgranamiento en las instituciones; la identificación de los grupos más vulnerables; el diseño de estrategias para trabajar con la deserción evitable; la generación de conocimiento sobre la problemática y el campo tanto a través del trabajo cotidiano como de la investigación; el desarrollo de estrategias tendientes a favorecer el pasaje de la escuela secundaria a la universidad.*

En virtud del mencionado relevamiento los integrantes de RASTIA justifican la necesidad de continuidad de los sistemas tutoriales debido a que: al articular acciones entre estudiantes, docentes y autoridades tienen el potencial de promover procesos innovadores para la enseñanza de la ingeniería, promover el análisis de cuestiones curriculares, didácticas

y organizativas, además de indagar en las causas de los bajos rendimientos y el abandono estudiantil y trabajar en propuestas de mejora; su implementación en los cursos superiores permitiría desarrollar programas para resolver los problemas que causan retrasos y deserción en estos niveles; dada la tendencia, en la educación superior, de organizar la formación por medio de un currículo más flexible y centrado en el estudiante, la tutoría es una función que puede transformarse en una nueva manera de hacer docencia, integrando desde una diversidad de perspectivas disciplinares, nuevos roles y modalidades que puedan enriquecer a la enseñanza de grado. Todo ello implica, no sólo sostener el sistema de tutorías sino institucionalizarlo como actividad docente reconocida en los procesos de evaluación docente y de acreditación de carreras.

### El aporte del CONFEDI

Reconociendo la importancia de las tutorías como una herramienta para cumplir con los objetivos del Plan estratégico para la Formación de Ingenieros, el CONFEDI convocó a dos talleres específicos, uno en el 2013 y otro en el 2014, para generar un documento que permita definir una política en esta temática. Se abordaron las cuestiones vinculadas con: las posibles configuraciones del sistema tutorial, la institucionalización del sistema y la evaluación del mismo.

Como resultados del primer taller, se avaló el documento antes descrito y se incorporaron las siguientes conclusiones [5]:

Las tutorías no deben constituir programas a término sino que deben formar parte de la Responsabilidad Social Universitaria (RSU) en la permanente búsqueda de la inclusión de vastos sectores de la sociedad, que requieren de un acompañamiento especial para transitar con éxito la Educación Superior Universitaria;

Así como las Universidades tienen definidos los sistemas de selección de docentes, deben definirse también los mecanismos y criterios para la selección de tutores;

Incorporar a los programas de capacitación docente cursos específicos para tutores, según el tipo de acción tutorial que se implemente en

cada institución;

Los sistemas de tutorías deberán contemplar: planificación de actividades, recursos involucrados, indicadores de avance, medios de verificación e impacto esperado.

Para llevar adelante estas propuestas se considera necesario:

- Asegurar los recursos (cargos, equipamiento y espacio físico adecuado) necesarios para dar continuidad a la tarea que los equipos vienen desarrollando en las distintas unidades académicas;y

- Generarlas condiciones institucionales que garanticen el desarrollo de las acciones que la intervención tutorial muestra como necesarias de llevar a cabo en la institución.

En el segundo taller se analizaron las diversas alternativas de evaluación de los sistemas tutoriales [6]. Se consideró que centrar la evaluación en el número de estudiantes que abandona la carrera o se retrasa en la misma no es acertado, ya que no se tienen en cuenta los restantes procesos que inciden en esta situación (formación previa, sistemas de ingreso a la universidad, metodologías de enseñanza y aprendizaje, condiciones institucionales, entre otras). En consecuencia se proponen tres dimensiones de evaluación: *la incidencia del sistema en los estudiantes, el sistema tutorial en sí mismo y la incidencia de las tutorías en la estructura, organización y dinámica institucional de la Facultad*. A continuación se presentan los aspectos a evaluar en función de cada dimensión:

#### *Incidencia del sistema en los estudiantes*

Los aprendizajes y las capacidades desarrolladas por los estudiantes para afrontar las situaciones y lograr el avance regular en la carrera;

El tipo y calidad del apoyo brindado por los tutores en relación con los problemas experimentados por los estudiantes;

El tipo de consultas que realizan los estudiantes a partir de la intervención de los tutores en lo que respecta a régimen académico, plan de estudios, vinculación de la carrera con el futuro campo profesional, etc.

El sistema tutorial en sí mismo

La identificación de las situaciones a abordar

y los problemas a atender;

Los cambios en la percepción de las situaciones y los problemas sobre los que se trabaja que posibilitan mejoras en su comprensión y en las intervenciones orientadas a su tratamiento;

Coherencia de enfoques métodos y acciones con relación a las situaciones y problemas atendidos y los propósitos perseguidos;

Formación específica continua de los integrantes del equipo;

Apertura y disposición al trabajo colaborativo con otros actores institucionales que trabajan con los estudiantes;

Apertura y disposición al intercambio y eventual desarrollo de experiencias con sistemas de tutorías de otras instituciones;

Calidad de los instrumentos de recogida de datos y de registro de las tareas desarrolladas, que faciliten la toma de decisiones y la mejora de las intervenciones en la práctica.

La incidencia de las tutorías en la estructura, organización y dinámica institucional de la Facultad

La inserción de las tutorías en la institución;  
La vinculación del sistema con otros ámbitos y el trabajo colaborativo en la búsqueda de articular esfuerzos y programas institucionales;

Experiencias de diseminación o transversalización de la función de orientación con incidencia directa en la enseñanza de grado;

Cambios operados en la institución para atender los problemas que se identifican;

Procesos de reflexión y resignificación sobre los problemas identificados y las estrategias y acciones puestas en marcha para atenderlos;

Identificación de condicionantes académicos e institucionales que inciden en el aprendizaje y desempeño de los estudiantes.

También en el marco del segundo taller, los decisores de las Facultades presentes (Decanos, Secretarios Académicos) y Coordinadores de sistemas de tutorías, debatieron con el objetivo de delinear una línea de trabajo vinculada con el objetivo de *Mejora en la retención de alumnos* correspondiente al eje *Mejoramiento de los indicadores académicos* del PEFI. En el entendimiento de que el éxito o el fracaso académico requieren un enfoque

multidimensional, se definieron los siguientes componentes:

*Fortalecer el Ingreso a la Universidad*, que incluye acciones para facilitar el tránsito Escuela Media-Universidad, como ser articulación con Escuela Media e Institutos de Formación Docente, nivelación para el ingreso a la Universidad (que tiene en cuenta el Test Diagnóstico como herramienta y la acción tutorial en el ingreso); y

*Mejoramiento de la Enseñanza y Acompañamiento al alumno durante el tránsito en la Universidad*, que incluye acciones vinculadas con metodologías de enseñanza para el ciclo básico y para el ciclo superior y tutorías para el ciclo básico y el ciclo superior.

Como indicadores posibles se proponen:

Incremento de ingresantes/alumnos que regresan a la Universidad,

Incremento de Graduados,

Disminución de la deserción,

Disminución tiempo de permanencia,

Cantidad de alumnos que participan en las actividades tutoriales,

Cantidad de docentes que se involucran en el proceso de mejoramiento de la enseñanza,

Rendimiento de los estudiantes a partir de la implementación del programa,

Cantidad de alumnos participantes en el programa que logran graduarse.

### Conclusiones y trabajos futuros

Los resultados generados en ambos talleres, en orden a la sistematización de la información sobre las configuraciones posibles de las tutorías y su impacto y al desarrollo de criterios e indicadores de evaluación, constituyen un avance sustantivo para lograr el reconocimiento y la institucionalización del sistema tutorial.

Como acción futura inmediata, el CONFEDI asumió el compromiso de elaborar un Programa integrado para aportar al objetivo de *Mejora en la retención de alumnos* (eje *Mejoramiento de los indicadores académicos*) del PEFI para ser presentado a la Secretaría de Políticas Universitarias.

### Referencias bibliográficas

[1] Cuenca Pletsch L.R., Dalfaro N.A., Maurel

M.C., Soria F.H. (2011) "El desgranamiento temprano en la Facultad Regional Resistencia: Resultados y Conclusiones" . Publicado en *La Universidad Tecnológica Nacional - U.T.N. - en el Nordeste Argentino – N.E.A. Investigación y Desarrollo en la Facultad Regional Resistencia*. ISBN Nº 978-987-27897-3-3. EdUTecNe – Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional:[http://www.edutecne.utn.edu.ar/investigacion\\_fr\\_res/Maurel\\_Ciencias\\_Sociales.pdf](http://www.edutecne.utn.edu.ar/investigacion_fr_res/Maurel_Ciencias_Sociales.pdf)

[2] Ruiz, G.; Ruiz, J.; Ruiz, E. (2010) *Indicador global de rendimiento*. Revista Iberoamericana de Educación. Nº 52/4

[3] Plan Estratégico para la Formación de Ingenieros (PEFI) 2012-2016: [http://pefi.siu.edu.ar/aplicacion.php?ah=st530a7badf1bbc&ai=contenidos||19000030&id\\_idioma=2&id\\_menu=18](http://pefi.siu.edu.ar/aplicacion.php?ah=st530a7badf1bbc&ai=contenidos||19000030&id_idioma=2&id_menu=18) [Consultado: 23/08/2014]

[4] Red Argentina de Sistemas de Tutorías en carreras de Ingeniería y Afines (RASTIA). (2010) "Estado actual y perspectivas de los Sistemas de Tutoría tras los programas de apoyo y de mejora de la Secretaría de Políticas Universitarias. Análisis y propuestas para su continuidad". IV Encuentro de RASTIA. Buenos Aires: [http://www.ing.unrc.edu.ar/rastia/archivos/documento\\_rastia\(continuidad\\_de\\_tutorias\).pdf](http://www.ing.unrc.edu.ar/rastia/archivos/documento_rastia(continuidad_de_tutorias).pdf)

[5] Conclusiones del 1er taller de Tutorías del CONFEDI. "Configuraciones, Impacto y Contexto". Universidad Nacional del Noroeste Bonaerense, sede Pergamino. Buenos Aires. 13 de septiembre de 2013: <http://www.confedi.org.ar/portfolio/1%C2%BA-taller-de-nacional-de-tutor%C3%ADas>

[6] Conclusiones del 2do taller de Tutorías del CONFEDI sobre Evaluación de los sistemas de tutorías. UNiversidad FASTA. Mar del Plata. 13 de Junio de 2014: <http://www.confedi.org.ar/content/2-taller-nacional-de-tutorias-en-ingenieria>

# La formación de Ingenieros en Chile en un contexto de innovación y emprendimiento - Proyecto de Ingeniería 2030

Ramón Blasco Sánchez<sup>1</sup>

## Antecedentes

Hoy la práctica de la ingeniería tiene que cambiar, debido a la demanda de tecnologías y productos que superan las bases existentes del conocimiento y por un entorno profesional cambiante. Los desafíos contemporáneos requieren de una perspectiva sistémica, lo que conlleva la necesidad de buscar colaboración con equipos multidisciplinarios de expertos tecnológicos. Atributos importantes de estos equipos incluyen la excelencia en la comunicación tecnológica y de lenguaje, conocer de las complejidades asociadas a mercados globales y al contexto social.

Se requieren sistemas de educación que desarrollen y estimulen la imaginación de la juventud, formando graduados de ingeniería mejor preparados técnicamente para trabajar en un constante cambio dado por la economía global.

La formación de Ingenieros Civiles en Chile está restringida a las Universidades. Otros profesionales de la ingeniería tales como los Ingenieros de Ejecución se pueden formar además de las universidades en los institutos profesionales y centros de formación técnica. Esta situación ha llevado a una diversificación de carreras de ingeniería que el mercado difícilmente puede absorber, generando distorsiones en lo que el título de Ingeniero significa.

Por otro lado la proliferación de Universidades a nivel nacional ha contribuido a que el Ingeniero Civil vaya adquiriendo denominaciones que responden a características de rentabilidad de la profesión más que a requerimientos de desarrollo tecnológico. Se agrega a esto que los colegios profesionales no tienen tuición sobre los

1. Ingeniero Civil Químico, Ex decano Facultad de Ingeniería, Universidad de Santiago de Chile, Past president ASIBEI, Past President CONDEFI. Ramon.blasco@usach.cl

títulos otorgados dejando esta atribución a la universidades sean acreditadas o no por el Consejo Nacional de Acreditación, Así entonces se encuentran en el mercado profesionales formados en Universidades acreditadas con variable número de años y carreras acreditadas o no y también con diferente número de años.

En esta situación algo caótica caracterizada por diferencias de títulos y duraciones de carreras, diferentes acreditaciones y nula participación de los colegios profesionales surge una propuesta del gobierno de Chile a través de la **Corporación de Fomento (Corfo)** tendiente a colaborar con las universidades en buscar que la formación de Ingenieros Civiles se ajuste a un concepto de Ingeniero de clase mundial, esto se llama el proyecto de “Ingeniería 2030”.

## El desafío de las instituciones de educación superior

La percepción de éxito de nuestros egresados, producto de su alta empleabilidad actual, puede perder relevancia frente a la encrucijada que genera la situación de futuro internacional, donde el tema de servicios globales de ingeniería, outsourcing en procesos, tecnologías de información, innovación, etc. que obligará a la formación de un nuevo tipo de profesional de la



ingeniería.

### **Diagnósticos y propuestas**

Diferentes actores fueron consultados para formular un diagnóstico de la formación de ingenieros en Chile, entre los cuales se destacan las propias Facultades de Ingeniería, Colegio e Instituto de Ingenieros, Ministerio de Educación, CONDEFI, etc.

Desde una perspectiva global las principales conclusiones que avalan la aplicación del proyecto Ingeniería 2030 se plantean en el siguiente contexto:

#### ***Alineamiento positivo para la renovación***

Se ha avanzado un alineamiento importante entre actores relevantes del país respecto de la necesidad de renovar la formación en las Facultades de Ingeniería. Algunas Facultades de Ingeniería ya han iniciado procesos de renovación curricular, en la línea de armonización curricular, acreditación internacional, vinculación con empresas. Sin embargo todavía los procesos incipientes de cambios no se masifican ni se asientan de manera de manera auto sostenible y pueden transformarse solo en experiencias aisladas.

**Formación de Ingenieros:** Desde una perspectiva de formación de ingenieros los diagnósticos realizados conducen a las siguientes conclusiones:

- Valoración positiva e impacto de la profesión de Ingeniero Civil, reconocida por la sociedad por su aporte al desarrollo nacional.
- Necesidad de renovación curricular básica, en particular en temas de actualización de asignaturas, duración de carrera, uso de sistemas de créditos transferibles, salidas intermedias, articulación con postgrado.
- Orientación a clase mundial derivado de la nueva ingeniería que proviene de los países más desarrollados en temas como energías renovables, tecnologías de información, outsourcing, servicios globales, etc.

#### ***Investigación y desarrollo***

Desde la perspectiva de la investigación y desarrollo asociado a las Facultades de Ingeniería de Chile se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- La actividad de I+D ha mostrado avances interesantes en la última década pero en campos

restringidos a la metalurgia, electrónica, química, sistemas de información.

- Aumentar la orientación de I+D hacia la Ingeniería donde las propuestas han estado direccionadas y definidas por las ciencias básicas. Las Facultades de Ingeniería no han logrado posicionar el desarrollo como lo hacen las universidades líderes del mundo, afectando fuertemente el interés de académicos en esta actividad.

- Los resultados de innovación basados en I+D son insuficientes para generar impacto en los mercados. Esto es producto tanto de la, baja inversión en I+D como también de la baja conversión de las actividades en resultados aplicados.

#### **Vinculación con el medio, transferencia y licenciamiento**

Las conclusiones en este aspecto de los diagnósticos indican:

- Escasa adopción de la tercera misión de la universidad, donde salvo algunos casos no es parte establecida en los planes de desarrollo. Al no adoptar la tercera misión las instituciones se encuentran limitadas en la gestión de la vinculación con el medio el licenciamiento y transferencia.

- Falta de visibilidad e insuficiente sistematización de la vinculación con el medio, lo que hace que empresas y comunidad no vean en las facultades de ingeniería un real aporte a sus necesidades.

#### ***Innovación y emprendimiento***

Tres son los aspectos que se detectan como insuficientes en nuestras Facultades de Ingeniería - Insuficiente orientación hacia la innovación y emprendimiento - insuficientes capacidades y competencias para abordar innovación y emprendimiento - insuficientes capacidades para abordar problemas interdisciplinarios.

#### ***Internacionalización***

En general las Facultades de Ingeniería Chilenas no tienen suficiente orientación a lo internacional. Son escasas las referencias a este tema en sus planes institucionales estratégicos y en sus ofertas de pregrado. Insuficientes capacidades y competencias en las instituciones para abordar la internacionalización, producto de una limitada práctica internacional de sus académicos.

## Análisis final y propuestas

No cabe duda que frente a este diagnóstico, aparecen grandes oportunidades para lograr la clase mundial y es en este punto donde el gobierno de Chile inserta su propuesta de formación de Ingenieros de clase mundial el ingeniero 2030.

Durante este año 2013 (Año de la Innovación), CORFO lanzó el Programa **“Nueva Ingeniería para el Año 2030”**, el cual tiene por objetivo situar a las Escuelas de Ingeniería de las universidades chilenas en los mejores lugares de los rankings internacionales. El diseño del programa se realizó en coordinación con CONICYT, el Consejo Nacional de la Innovación para la Competitividad (CNIC), el MINEDUC y el Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, a través de su División de Innovación.

La iniciativa busca que las Escuelas de Ingeniería sean capaces de producir I+D, innovación y transferencia tecnológica competitivas internacionalmente, que sostengan un crecimiento de sus redes internas universitarias y externas con la industria, y que tengan capacidad para graduar un Ingeniero de clase mundial, innovador, con perspectiva mundial, consiente y preparado para los desafíos que el avance tecnológico trae consigo.

Para ello, CORFO entregará apoyo financiero destinado a que las universidades diseñen planes estratégicos para convertir a sus facultades de ingeniería en actores generadores de tecnología e innovación con influencia y perspectiva mundial. La hoja de ruta presentada por las Universidades debe tener foco en cuatro pilares: investigación aplicada, desarrollo y transferencia de tecnología, innovación y emprendimiento.

El tema es extremadamente importante de enfrentar. Tenemos la oportunidad de cambiar nuestros esquemas educativos, la percepción en nuestros colegas es propicia para enfrentar estos cambios y tenemos la obligación de hacerlo, si queremos sobrevivir en el futuro como una Universidad y una Facultad líder en el campo de nuestra competencia. Lo anterior involucra generar una visión de cambio en todos los niveles, desde las más altas autoridades hasta nuestros funcionarios.

## La nueva formación de los Ingenieros

Los servicios globales requieren nuevas competencias que es necesario incorporar y asegurar en la formación de los ingenieros en las universidades, entre las cuales se encuentran las siguientes: Dominio del idioma inglés, desarrollo de la iniciativa empresarial como parte integral de la formación de los ingenieros, mayor orientación a las aplicaciones prácticas en la formación de los ingenieros, desarrollo de competencias relacionadas con la globalización en la formación de los ingenieros, movilidad en la formación de los ingenieros, etc.

En buscar mejorar esta formación Corfo, en su propuesta de Ingeniería 2030 plantea como objetivos:

a. Lograr sustentabilidad de largo plazo de la transformación de la escuela o facultad de ingeniería, de modo de contribuir a desarrollar una economía más basada en el conocimiento, sustentable, diversificada y con aumentos de productividad que nos permita alcanzar el desarrollo con mayores grados de integración social.

b. Fortalecer la formación de ingenieros con competencias en ámbitos de la investigación aplicada, desarrollo y transferencia de tecnología, gestión tecnológica, innovación y emprendimiento y que puedan insertarse en ambientes de trabajo multidisciplinarios y multiculturales.

c. Desarrollar I&D aplicada para resolver problemas relevantes de los sectores productivos y la sociedad chilena.

d. Formación de postgrado coherente con necesidades de innovación y con capacidades de I&D aplicada.

e. Aumentar y consolidar la vinculación, a nivel nacional e internacional, de la escuela o facultad de ingeniería con diversos actores sociales y económicos a través de elementos como: acuerdos de cooperación, contratos de I+D, creación de spin off, entre otros.

Las Facultades de Ingeniería nacionales han sido convocadas a participar de este proyecto a través de un concurso abierto que se resume en dos fases cuyos resultados fueron:

**Fase I:** Desarrollar un plan estratégico que incluya un Benchmarking internacional, con especial foco en los ámbitos de investigación aplicada, desarrollo y transferencia de tecnología,

innovación y emprendimiento.

- Se adjudicaron 15 proyectos, que involucraron a 20 universidades de todas las zonas del país.

**Fase II:** Implementación del Plan Estratégico

- Se recibieron 10 proyectos, involucrando 18 universidades.

- Se adjudicaron 5 proyectos, de los cuales 3 corresponden a proyectos asociativos y 2 a proyectos individuales, que involucran a 10 Escuelas de Ingeniería.

- El monto total del subsidio para la ejecución de todos los proyectos es de 60 millones de dólares, con aportes adicionales del Ministerio de Educación.

- Los proyectos se ejecutan en un período de 6 años, en 2 etapas de evaluación.

### Resumen final de la evolución esperada del Ingeniero Chile

Los resultados esperados de la propuesta "Ingeniería 2030" serán evaluados en diferentes aspectos tales como:

Armonización y pertinencia curricular

- Acortar duración a 5 años (300 SCT)
- Uso del SCT (Acuerdo Consejo Rectores)
- Modularidad y articulación de carreras

con flexibilidad intra e interinstitucional, y con salidas intermedias con empleabilidad

- Postgrados profesionales: master de 1 año y doctorados tecnológicos

- Pertinencia de la especialización de competencias respecto de las demandas del mercado (capacidad de observatorio)

- N° de egresados, cubriendo déficit en sectores estratégicos

- Competencias para la innovación

- Definir claramente perfil del Ingeniero Holístico que gestiona proyectos complejos considerando el entorno, especializado tecnológicamente con gran profundidad en su nicho, emprendimiento innovador

**Internacionalización:** Priorización de las alianzas internacionales contempladas en el proyecto, formalizando las más relevantes para el éxito de la propuesta de forma temprana - alianzas activas verificables.

Acciones concretas para promover multicul-

turalidad se centran en aumentar el reconocimiento internacional una mejor atracción de estudiantes extranjeros, desarrollo de tesis conjuntas en I&D.

**Actividades de I+D+i enfocadas en los problemas tecnológicos y las oportunidades competitivas de la industria local y nacional.**

- Promoción de contratos de investigación con la industria y el sector público.

- Reforzamiento de la multidisciplinaria e interdisciplina.

- Modelos de vinculación con la industria nacional e internacional: anticipar demandas tecnológicas, co-crear, estimular demanda de la industria,

- Alineamiento de programas de postgrado profesionales con I+D+i y necesidades del sector productivo

Empaquetamiento y comercialización de tecnología

Fortalecimiento de la componente de empaquetamiento y comercialización de tecnología (patentes, licencias, spin out), haciendo sinergia con las oficinas de transferencia tecnológica existentes y las estructuras de apoyo a la gestión de contratos de investigación.

Reforzamiento de la capacidad de emprendimiento en la comunidad académica – alineamiento de incentivos.

Avanzar en modelos de Prueba de conceptos, prototipos y Pilotaje para la innovación.

Sin lugar a dudas la propuesta es ambiciosa pero imperiosa si queremos efectivamente que nuestros ingenieros sean parte del desarrollo futuro de Chile.

### Análisis final

Claramente el proyecto de Ingeniería 2030 marcara un cambio radical en la formación de ingenieros civiles en Chile. Las esperanzas puestas y los recursos involucrados deberán asegurar un éxito en esta propuesta. No todas las facultades de ingeniería están siendo participes del proyecto pero sin lugar a dudas todas están involucradas en mayor o menor grado frente a los requerimientos de formación del futuro ingeniero de clase mundial.

## El CADI 2014, una gran experiencia

*Tuvo lugar en Tucumán, entre el 17 y el 19 de septiembre.*

*Asistieron 300 alumnos becados de más de 57 facultades de universidades públicas y privadas de todo el país, y se presentaron más de 260 trabajos.*

Entre el miércoles 17 y el viernes 19 de septiembre se llevó a cabo el CADI 2014, en la ciudad de San Miguel de Tucumán. El CADI es una iniciativa del Consejo Federal de Decanos de Ingeniería – CONFEDI y en esta oportunidad fue organizado por la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la UNT, la Facultad de Ingeniería de UNSTA y la Facultad Regional Tucumán de la UTN.

Durante esas tres jornadas se organizaron actividades en paneles que abordaron temáticas de todas las especialidades de la Ingeniería. El temario estuvo dividido en once capítulos e incluyó tópicos como energía, telecomunicaciones, biomateriales, nanotecnología y la enseñanza de la ingeniería, entre otros y se presentaron más de 260 trabajos. Gracias al apoyo de la Secretaría de Políticas Universitarias del Ministerio de Educación de la Nación, asistieron 300 alumnos becados de más de 57 facultades de universidades públicas y privadas de todo el país,

El acto de apertura se realizó el miércoles 17, en el auditorio de la Facultad de Derecho de la UNT. La primera jornada del CADI convocó a más de cien facultades de todo el país, profesionales, estudiantes y funcionarios nacionales y locales. Presidieron la ceremonia, el Secretario de Obras Públicas de la Nación, Ing. José López, el Presidente del CONFEDI, Ing. Carlos Humberto Savio, el Presidente del CADI 2014 y Decano de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la UNT, Ing. Sergio Pagani, el Presidente del Comité Académico del CADI 2014 y Decano de la UTN-FRT, Ing. Walter Fabián Soria, el Presidente del Comité Organizador y Decano de la Facultad de Ingeniería de la UNSTA, Ing. Federico Fanjul, y la Rectora de la Universidad Nacional de Tucumán, Dra. Alicia Bardón.

El Congreso fue declarado de interés educativo por la Legislatura de Tucumán y la primera jornada se llevó a cabo en un marco imponente de público. Los ejes temáticos que se desarrollaron durante este día fueron: “Innovación y emprendedorismo en Ingeniería”, “Desarrollo regional, vinculación, universidad, empresa y estado” y “Enseñanza de la ingeniería”.

En su segundo día, el CADI 2014 recibió a destacados conferencistas que plantearon interesantes temáticas dentro del campo de la Ingeniería. El Ing. Daniel Morano de la Secretaría de Políticas Universitarias de la Nación, el Dr. Dan Marianescu, de la Universidad del Centro de Florida de E.E.U.U. y el Ing. Ariel Lutemberg fueron los expositores de mayor relevancia dentro de las 70 exposiciones y conferencias que se desarrollaron durante el día jueves.

La tercera y última jornada del CADI 2014 contó con las exposiciones de los capítulos “Obras y Proyectos de Ingeniería”, “Forestal, Agronomía y Alimentos”, “Tecnología de la Información y Comunicación”, “Empresas y Servicios de Ingeniería. Ejercicio Profesional” y “Enseñanza de la Ingeniería”.

El CADI 2014 coronó el cierre con la conferencia del Dr. Vicente Campenni sobre el caso INVAP. Campenni estuvo a cargo del primer satélite desarrollado íntegramente en Argentina.

En el acto de cierre del CADI, las autoridades brindaron una evaluación del encuentro. El Presidente del Comité Ejecutivo del CONFEDI, Ing. Carlos Humberto Savio, sostuvo: **“Luego de tres jornadas de congreso, cabe desde el CONFEDI felicitar a las facultades de Tucumán por este gran y exitoso CADI, en donde se generan posibilidades de nuevos proyectos. Desde el CONFEDI tenemos el compromiso de continuar con este tipo de actividades constantemente y que en cada una se intente superar a la anterior. Esperábamos que concluya con el éxito en que cerró este congreso y nos retiramos muy contentos”.**

Por su parte, el Presidente del CADI 2014, Decano de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la UNT, Ing. Sergio Pagani, reflexionó: **“Nos dejó una gran participación de toda la ingeniería argentina con el fin de juntarnos a pensar y repensar el rol de la ingeniería en estos momentos tan importantes del país. Pienso que ingeniería y los ingenieros tienen mucho por decir en el desarrollo y la dirección que adoptará el país en los próximos años. Estos encuentros son muy importantes porque logran consensuar la dirección que queremos adoptar. Creo que excedió las expectativas. Soñábamos con esta participación masiva que felizmente se logró.”**

El Secretario de Ciencia y Tecnología de la UTN-FRT, Ing. Fernando Allena, se refirió a este gran encuentro de las ingenierías: **“Me sorprendió la cantidad de jóvenes que participaron de forma activa y la calidad de los trabajos: hubo proyectos importantísimos que se expusieron. La cantidad de expositores, con más de 260 trabajos, lo que valió un esfuerzo inmenso por parte de los evaluadores y presidentes de capítulos para organizar el congreso. Para mi forma de ver fue todo un éxito este evento”.**

El próximo CADI, que se realizará en 2016, volverá a propiciar el ámbito para el intercambio de experiencias, que permitirán difundir e impulsar la actividad de la Ingeniería en general y de los académicos en particular, profundizar el conocimiento a partir del debate, generar lazos de cooperación, brindar la oportunidad para los acuerdos interinstitucionales en pro de proyectos compartidos, y el intercambio de ideas, agregando valor a los esfuerzos individuales.

Desde el CONFEDI se agradece la participación y compromiso de todos los asistentes, expositores, organizadores y colaboradores. La misión ha sido cumplida y seguramente esta edición del CADI habrá servido para continuar impulsando el encuentro permanente de la Ingeniería Argentina.

**Secretaría CONFEDI – Secretaría de Prensa**





## Recordando la trayectoria del CONFEDI

El Confedi cumplió 25 años de fructífera labor. Yo creo que es un ejemplo a seguir por las Instituciones que integran la “Comunidad Organizada”. Las Instituciones organizadas perduran y superan al tiempo muchas veces.

Recuerdo su creación, unos pocos Decanos con voluntad de unir y aportar al país, en reuniones hechas con pocos medios y con sacrificios, en épocas duras, donde estaba todo por hacer dentro de un gran desorden que eran las carreras de ingeniería. Recuerdo las primeras reuniones en Córdoba, Mar del Plata, Rosario, San Juan, La Plata, que con el auspicio de estos Decanos pioneros, nos hicieron coincidir en la necesidad de organizar las carreras y encarar los temas académicos.

Nuestro país desordenado que se debatía por los principios, por lo derechos de los ciudadanos tantas veces postergados, de las universidades que recobraban su autonomía, dentro de esa desorientación y sin medios decidimos apoyar e integrar esta Asociación que buscaría los caminos para un país mejor, haciendo mejor lo que estábamos haciendo.

Para la concreción del Libro Azul que fijaba las bases de la unificación curricular fue necesario la convocatoria y realización de varios talleres que con la colaboración voluntaria de la Comunidad académica de ingeniería de todo el país se fue concretando a lo largo de varios años.

También con la colaboración del ICE, Instituto de Cooperación Española que con aporte económico y de profesores españoles ayudó a concretarlo. Después vino el libro Verde y otros documentos y la colaboración para concretar la evaluación y acreditación en la elaboración de los estándares.

Fue esa una época difícil porque el organismo de acreditación nos exigía el cumplimiento de los estándares fijados y nosotros no disponíamos de los medios materiales necesarios. Después sí, vino el PROMEI, Programa de Mejoramiento de la Ingeniería que aunque a destiempo, nos permitió cumplir y acreditar las carreras, siendo una experiencia positiva y valiosa que nos coloca a la vanguardia de los países que están empeñados en la mejora continua y certificar la calidad universitaria.

Debo destacar la enorme capacidad que hemos demostrado de adecuarnos a los tiempos y a las exigencias modernas, dándose la paradoja de algunos países que parecían que marcaban la vanguardia de la acreditación y nos transmitían los procesos, todavía no han concretado lo que proponían a nivel de sus organizaciones nacionales.

Hace ya varios años que el Confedi está consolidado, reconocido en el país y fuera de éste como un organismo de respuesta, consulta y estudio de los problemas, de la actualización y de todo aquello que integra la enseñanza de las Ingenierías.

Salió de nuestro seno la creación de ASIBEI, Asociación Iberoamericana de Enseñanza de Ingeniería. Recuerdo la reunión en la Politécnica de Madrid que dio lugar a su Constitución, en la que nos dieron la primera presidencia, integrada por representantes de Brasil, Colombia, Méjico, Perú, Paraguay, Chile, Uruguay, España y Portugal.

Mucho se ha trabajado para bien de nuestros países y de las futuras generaciones.

A veces pienso que el Confedi reúne las voluntades de los dirigentes de Escuelas de Ingeniería que han puesto con desinterés personal al servicio de la Nación toda su capacidad y voluntad, y esto es lo que ha hecho fructificar esta institución, que en estos nuevos tiempos ha sido reconocida por las autoridades de turno en Educación.

Qué mejor sería nuestra Nación si tuviera muchas Instituciones que desempeñaran con este sentido de servicio, primero el país, la Nación, por último los hombres, transitando hacia la

“Comunidad organizada”.

Mucho falta por hacer, pero nos encuentra este tiempo consolidados en esta nuestra lucha por mejorar la Enseñanza, la Educación y en búsqueda un promisorio futuro para las generaciones venideras.

El dilema es cómo transitar del presente diagnosticado al futuro idealizado, casi siempre incierto. Un saludo de buena voluntad para toda la Comunidad.

**Ing. Eugenio B. Ricciolini**  
**Decano**



## El impacto del PEFI en las carreras de Ingeniería

Quienes venimos bregando por el fortalecimiento de las carreras de ingeniería y la promoción de vocaciones tempranas por esta profesión, celebramos, desde su anuncio, el Plan Estratégico de Formación de Ingenieros 2012-2016, que estableció el desafío de incrementar la cantidad de graduados hasta alcanzar el promedio de un ingeniero cada cuatro mil habitantes.

En un contexto de crecimiento de la actividad industrial -y su consecuente demanda de profesionales capaces de sostener y profundizar la matriz productiva nacional, a partir del diseño y desarrollo de nuevas tecnologías- entendemos que es nuestra responsabilidad, como Universidades, formar ciudadanos que no solo cuenten con una destacada cualificación profesional, sino que se identifiquen con el compromiso social, la conciencia ambiental y la capacidad de liderazgo que estos tiempos requieren.

En este marco, son varios los programas que se han puesto en marcha, organizados en tres ejes: mejoramiento de indicadores académicos; desarrollo territorial sostenible e internacionalización de la Ingeniería Argentina.

El primero de estos ejes, vinculado a los indicadores académicos, ha requerido de políticas estratégicas como el aseguramiento de competencias de ingreso y egreso, el incremento de sistemas de tutorías que impacten en la retención de estudiantes y en la implementación de planes de estímulo para la graduación de alumnos avanzados que ya están insertos en el mercado laboral.

En el caso de la formación cuaternaria, se han implementado programas como Doctorar (Ingeniería y Agronomía), Agrovalor y Precitye; los proyectos de Desarrollo Tecnológico y Social, y los programas del MINCYT y de Crédito del Ministerio de Industria.

En lo que refiere a generar vocaciones tempranas, se trabajó en la difusión del rol del ingeniero en la sociedad y se promovió la articulación entre escuelas técnicas y facultades de orientación científico tecnológica con el fin de facilitar el tránsito entre niveles educativos.

Con el objetivo de asegurar perfiles de formación y cantidad de recursos humanos para la consolidación de cadenas productivas de valor, se han implementado observatorios territoriales de recursos humanos, que monitorean la relación demanda-oferta de recursos humanos, profesionales y técnicos en el territorio; la inserción de graduados; y el nivel de satisfacción de graduados y empleadores.

Asimismo, se han creado mesas sectoriales de alcance nacional y se han concretado acuerdos con ministerios, cámaras empresariales, y universidades en áreas estratégicas como: agricultura y ganadería; industria; transporte y logística; minería; telecomunicaciones; energía.

Por último, en la que concierne a la internacionalización de la Ingeniería, se ha avanzado en cooperación con países latinoamericanos y del Caribe, así como con países de la Unión Europea. Argentina acrecentó la presencia institucional en foros internacionales y posee representación en el Comité de Educación de la Federación Mundial de Ingeniería (FMOI) de la UNESCO.

Se han consolidado los proyectos de intercambio de estudiantes y docentes de países del MERCOSUR y México (Programa JIMA); y se concretó un acuerdo panamericano de intercambio de estudiantes y docentes, a través de una gestión conjunta entre Asociación Iberoamericana de Instituciones de Enseñanza de Ingeniería (ASIBEI) y la Organización de Estados Americanos (OEA). Además, se ha dado impulso a los programas de cooperación con Alemania (DAAD y CUA) y Francia (ARFITEC), y a los acuerdos de cooperación con Rumania e Italia, y se ha fortalecido la presencia de CONFEDI en ASIBEI y IFEEES, así como en el grupo de formación de recursos humanos científicos y

tecnológicos de la OEA.

Todas estas acciones han redundado en mejoras en los índices académicos; no sólo se han incrementado los ingresantes (en las carreras de ingeniería aumentó poco más del 7%) sino los reinscriptos, que aumentaron en razón de un 30%, aproximadamente. En ese mismo porcentaje, se cuenta el aumento de graduados.

El CONFEDI ha tenido un rol protagónico en muchos de estos programas, colaborando desde el papel institucional que le compete, haciendo especial hincapié en el aseguramiento de la calidad.

Entendemos que la Ingeniería es una disciplina fundamental para consolidar el desarrollo industrial, relacionar conocimiento con innovación productiva y disminuir los niveles de dependencia tecnológica. Después de años de invisibilización y falta de política, la Ingeniería vuelve a estar en la agenda del Estado, y, aunque aún quede mucho por hacer, el establecimiento de un plan estratégico que convoque a todos los actores y promueva acciones tendientes a fortalecer esta profesión, es un primer paso fundamental para construir el país que soñamos.

**Ing. Guillermo Oliveto**  
**Secretario de Comunicación del CONFEDI**



# Estudios de sistemas híbridos para una población aislada

Hector D. Lorenzetti<sup>1</sup>; Abdelbassat Abdelbaki, A<sup>1</sup>; Ezequiel P.M. Leiva<sup>2</sup>, Carlos R. Rodríguez<sup>3</sup>

## Resumen

El propósito del presente estudio es el diseño de sistemas energéticos híbridos eólico-hidrógeno para su comparación con un sistema basado en el uso de combustible fósil solamente. Dicho estudio se aplicó a la localidad “Tres lagos”, provincia de Santa Cruz, Argentina. La herramienta utilizada para el análisis y diseño del sistema es el programa de uso libre HOMER<sup>®</sup>, el cual optimiza el funcionamiento de un sistema microenergético particular para cada hora del año, utilizando datos de equipos seleccionados por el modelador y considerando variables que afectan la generación de energías renovables (como la velocidad y distribución de velocidades de viento).

*Palabras clave:* Sistema híbrido, hidrógeno, costo de la energía, HOMER, Patagonia.

## Abstract

The present study's purpose is to design a hybrid energy system to be used in a typical remote population of southern Patagonia in Argentina, a region with typical class 7 winds. The data employed for the present simulations correspond to “Tres Lagos” town in Argentina, with ca 200 inhabitants.

The analysis was carried out through free software Homer<sup>®</sup>, which models the operation of a particular micropower system for every hour of the year, using manufacturer data from equipments selected by the modeler, and takes into account local parameters like wind speed and wind speed probability distribution.

*Key words:* Standalone hybrid system, Hydrogen, Cost of energy, HOMER, southern Patagonia.

1. Laboratorio de Energías Renovables (LER) - Unidad Académica Caleta Olivia - Universidad Nacional de la Patagonia Austral.

2. INFIQC, Departamento de Matemática y Física, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Nacional de Córdoba, Haya de la Torre s/n, 5010 Córdoba, Argentina.

3. Departamento de Matemática, Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Av. Vélez Sarsfield 299, CP5010, Córdoba, Argentina, ramiro246@gmail.com.

## Introducción

La principal red de transporte de energía eléctrica de Argentina es el SADI (Sistema Argentino de Interconexión), el cual recibe y distribuye la potencia eléctrica generada en la mayor parte del país. El mercado eléctrico en el área SADI está manejado por el MEM (Mercado Eléctrico Mayorista) donde a fines del año 2012 la potencia total instalada ascendía a 31 GW [1].

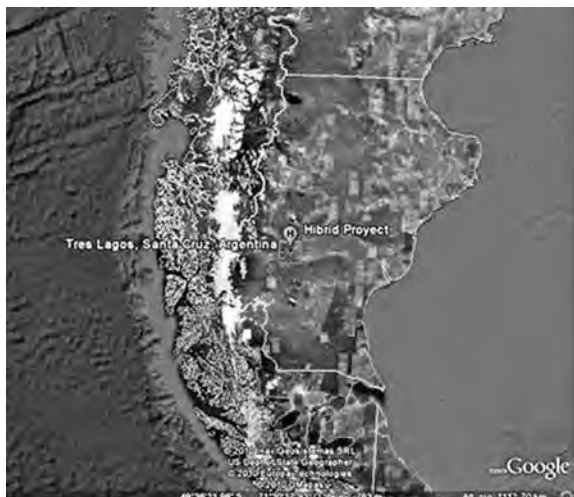
El SIP (Sistema Interconectado Patagónico) era una red eléctrica independiente, hasta que el Plan Energético Nacional puso en marcha la ejecución del vínculo SADI-SIP. Sin embargo, características geográficas y demográficas de algunas localidades hacen que el suministro de energía eléctrica por medio de líneas convencionales presente un alto costo dada su baja densidad de utilización, lo que motiva a que aún se encuentren aisladas de la red.

Este es el caso de la localidad Tres Lagos sobre la que se realiza el presente estudio, ubicada en la región de la Patagonia, Departamento Lago





Argentino, Provincia de Santa Cruz, con coordenadas geográficas: S 49° 35.826', W 71° 26.211' a 257 metros snm. La imagen satelital del área bajo estudio, tomada de Google Earth, se muestra en la Figura 1. Su población, según el censo INDEC 2001, ascendía a 186 habitantes.



**Figura 1.** Imagen del área bajo estudio, ubicación de Tres Lagos en la provincia de Santa Cruz.

Típicamente, las comunidades aisladas necesitan sólo de una pequeña cantidad de energía para satisfacer sus necesidades básicas. En la actualidad para obtener luz, algunas usan pequeñas lámparas de querosene, queman madera o usan gas licuado de petróleo a un costo subsidiado por el Estado. El consumo de energía a satisfacer en Tres Lagos, proporcionado por SPSE (Servicios Públicos Sociedad del Estado), es de 1.589 kWh/d con un pico de demanda medio de 94 kW. En el caso bajo estudio, el consumo mensual promedio es de 48.512 kWh (41.600 kWh en enero y 55.424 kWh en junio). Suponiendo que habitan 50 familias, la potencia necesaria media por familia es del orden de 1,5 kW. De esta manera el sistema a diseñar deberá considerar una potencia de 100 kW (lo que representa un flujo de energía 74.400 kWh/mes, considerando la cantidad de días correspondiente a un mes dado), para satisfacer holgadamente la demanda de energía y el pico de potencia.

Esta situación es ideal para plantear un modelado de sistema en isla (o fuera de red), el cual es el mayor sector micro-red en todo el mundo. Esto se debe a los atractivos retornos financieros de la reducción del consumo de combustible

diesel, como a los avances en energía solar, eólica, almacenamiento de energía, y los controles que permiten a los sistemas de funcionar principalmente con energías renovables. Por otra parte, la campaña de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la necesidad de alcanzar la seguridad e independencia energética también están impulsando el crecimiento de los sistemas en isla a nivel mundial [2].

En Argentina existe un alto potencial de fuentes energéticas renovables y es posible establecer escenarios tecnológica y económicamente factibles con grandes ventajas ambientales [3]. Como ejemplo de ello, en la región austral del país, las condiciones de viento son tales que ubican a la Patagonia Argentina entre las zonas más aptas del planeta para la producción y aprovechamiento de la energía eólica. Esta información se desprende de los altos valores del FC [4] (Factor de Capacidad: energía generada por unidad de potencia nominal) que indican que los mismos podrían duplicar los promedios mundiales. De este modo, se presume que un proyecto basado en el uso de esta energía debería ser viable en esa zona.

La situación descripta motiva el análisis de pre-factibilidad de aplicación de sistemas híbridos, basados en energías limpias renovables y alguna convencional de apoyo. En este trabajo, se diseñaron distintos esquemas para sistemas energéticos, entre los cuales se considera la producción de electricidad mediante el uso de generadores diesel convencionales y la combinación de sistemas híbridos eólico-diesel y eólico-diesel-hidrógeno mediante un generador eólico que prevé la producción de hidrógeno electrolítico con el objetivo de almacenar el exceso de esta electricidad intermitente, a la vez que este combustible alimentará un generador eléctrico constituido por un motor a combustión interna. Adicionalmente se considera la presencia de un generador diesel que servirá de complemento y respaldo para la configuración energética planteada.

La herramienta utilizada para el análisis y diseño del sistema es el programa de uso libre HOMER® [5], el cual optimiza el funcionamiento de un sistema microenergético particular para cada hora del año, utilizando datos de equipos

seleccionados por el proyectista y considerando variables de energías renovables (como la velocidad y distribución de velocidades de viento). El programa determina si el sistema cumple con las cargas requeridas y calcula los costos del ciclo de vida, incorporando diferentes elementos adecuados para el aprovechamiento de las energías renovables y tradicionales.

### Materiales y metodología

El programa HOMER realiza tres tareas principales: simulación, optimización y análisis de sensibilidad. En el proceso de simulación, el programa modela el rendimiento de una determinada configuración del sistema de generación distribuida, para cada hora del año, con el objetivo de determinar su viabilidad técnica y costo del ciclo de vida. En el proceso de optimización, HOMER simula muchas configuraciones diferentes del sistema en busca de aquellas que satisfagan las restricciones técnicas con el menor costo de ciclo de vida. En el proceso de análisis de sensibilidad, realiza varias optimizaciones en una serie de supuestos acerca de las variables de entrada, para medir los efectos de la incertidumbre o cambios en los datos ingresados al modelo. El proceso de optimización determina el valor ideal de las variables sobre las que el proyectista tiene el control, tales como la naturaleza de los componentes que conforman el sistema, o el tamaño o cantidad de cada uno. El análisis de sensibilidad ayuda a evaluar los efectos de esta incertidumbre en variables como la velocidad del viento, o la evolución de los precios del combustible.

### Demanda de energía y recursos

Carga eléctrica primaria: la demanda eléctrica, es decir la tasa a la cual la energía eléctrica es requerida para satisfacer una carga dada (en ordenadas) debido al uso de los diversos aparatos que consumen electricidad. Su variación a lo largo del año (en abscisas) se muestra en la Figura 2.

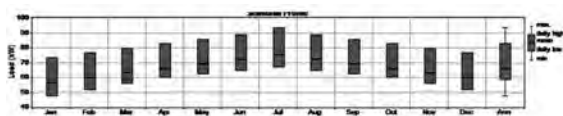


Figura 2. Carga eléctrica primaria.

Recursos naturales: el relevamiento de los datos de viento durante el año 1999 fue realizado mediante un convenio celebrado entre la UNPA (Universidad Nacional de la Patagonia Austral) y SPSE.

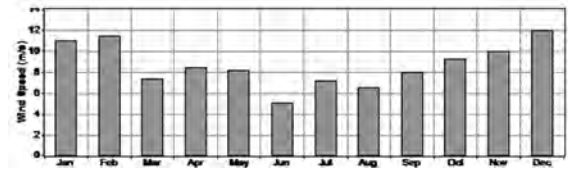


Figura 3. Perfiles de velocidad mensual promedio

Los promedios mensuales de velocidad de viento (en ordenadas) medidos a 18 m de altura y 257 msn se muestran en la Figura 3, exhibiendo una velocidad promedio anual de 8,70 m/s e indicando que durante 8 meses al año la velocidad media supera los 8 m/s. Asimismo los perfiles de viento de los meses que presentan valores más extremos, se muestran en la Figura 4.

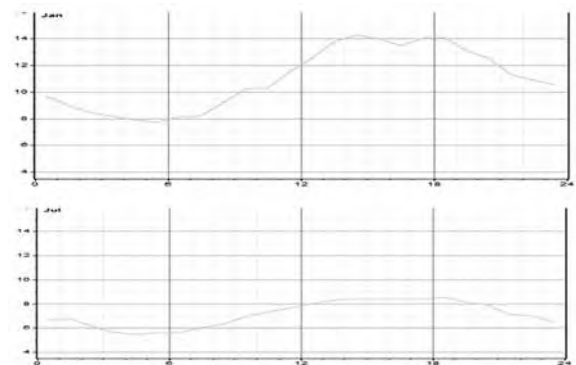


Figura 4. Perfiles de viento, enero y julio. En ordenadas, se representa la velocidad del viento

La velocidad media de viento no da información de cuán aprovechable es el recurso sino simplemente del valor esperado de su distribución de probabilidad, que en el mejor de los casos, aproxima pero carece de contenido para entender verdaderamente el recurso en el campo. De este modo los datos de viento se analizaron usando la distribución de Weibull, que se muestra en la Figura 5, con valores obtenidos mediante el análisis estadístico propio (UNPA\_SP) de los datos. Los parámetros de esta distribución son  $k = 1,987$  y  $c = 9,808$ .

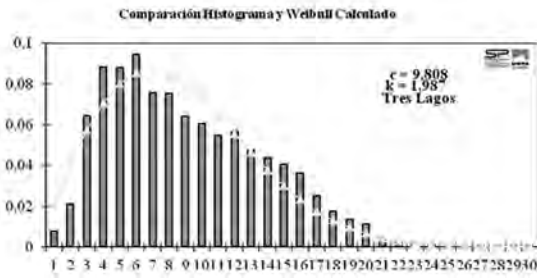


Figura 5. Distribución de probabilidad de las velocidades de viento obtenida por UNPA-SPSE.

A su vez, se utilizaron los datos de radiación solar (en ordenadas, radiación diaria) de la región, para poder estudiar la posibilidad de aprovechamiento de la energía fotovoltaica. Este perfil de radiación se muestra en la Figura 6.

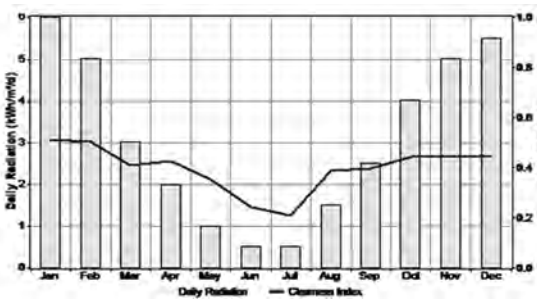


Figura 6. Perfil de radiación solar de la zona en estudio

### Costos y equipos componentes

La Tabla 1 muestra los costos en dólares (U\$S) y la performance de los diversos componentes utilizados en las propuestas esquemáticas de constitución de los sistemas aislados de la red eléctrica, tomados del trabajo de Ibrahim et al., 2010 [6] y las referencias allí citadas, donde los costos fueron provistos por trabajos presentados en la DOE (Secretaría de Energía) de los EEUU.

### Sistemas analizados

Componente	Unidad	Costo (Co)	Costo de	O & M	Ciclo	Eficiencia
		\$	reemplazo \$			%
Electrolizador	kW	1500 \$/kW	80% Co	30 \$/año	7 años	75
Tanque H <sub>2</sub>	kg H <sub>2</sub>	1300 \$/kg	1200 \$/kg	15 \$/año	25	
Generador diesel	kW	350 \$/kW	60% Co	0.8 \$/kWh	15000 horas	30
Aerogenerador	kW	2000 \$/kW	80% Co	2 \$ Co/año	25 años	
Generador H <sub>2</sub>	kW	500 \$/kW	80% Co	0.02 \$/kWh	15000 horas	30
Celdas fotovoltaicas	kW	1800\$/kW	1800\$/kW	30\$/año	20 años	-12%
Convertidor	kW	750\$/kW	750\$/kW	0	15 años	90%
Baterías	kWh	250\$/kWh	250\$/kWh	0	4 años	
Volante inercia	kW	1500 \$/kW	1500 \$/kW	1000\$/año	15 años	

Tabla 1. Costos y performance de los equipos considerados

Se consideraron 47 combinaciones de dife-

rentes sistemas y los de menor CoE (Costo de la Energía) obtenidos se muestran en la Tabla 2. Con el objetivo de sintetizar, presentamos tres sistemas representativos:

Sistema 1. 100% renovable (solar y eólico). Sistema incluyendo un aerogenerador, una instalación fotovoltaica y un banco de baterías, como se puede observar en la figura 7.

Sistema 2 (híbrido). Sistema incluyendo un aerogenerador, una instalación fotovoltaica, un electrolizador, un motor a combustión interna funcionando con hidrogeno y un banco de baterías. Se encuentra en la figura 8.

Sistema 3 (híbrido). Es el sistema 2, al cual se ha agregado un generador diesel (figura 9).

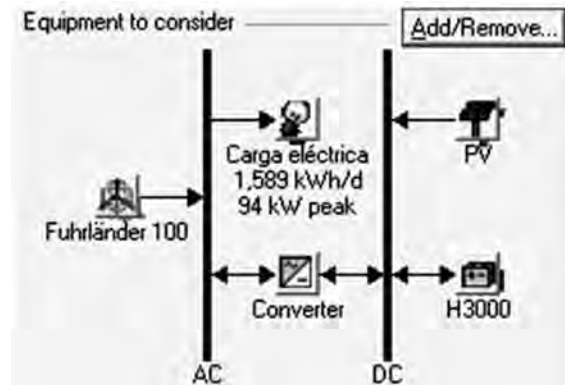


Figura 7. Sistema 1

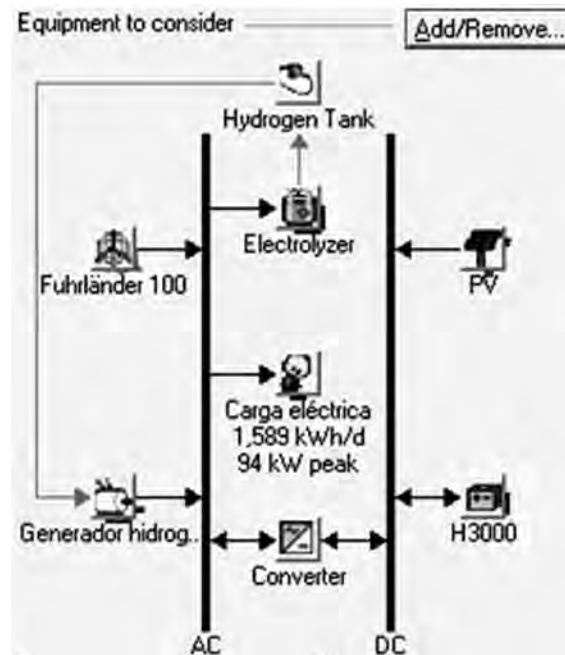


Figura 8. Sistema 2



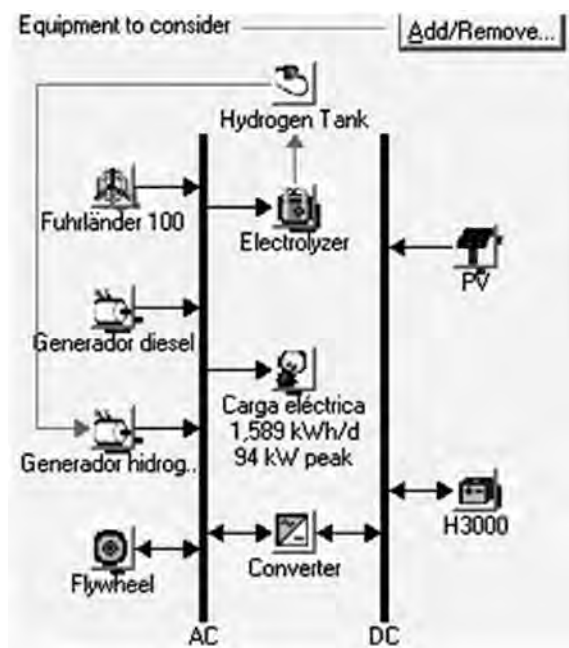


Figura 9. Sistema 3

### Resultados y discusión

Se utilizó la herramienta de análisis HOMER® con la cual se plantearon diferentes configuraciones de sistemas de energía, compatibles con la satisfacción de demanda del sitio estudiado. Se analizaron 47 configuraciones que contemplan distintas categorías: sistemas con fuentes primarias renovables puras tales como eólica y solar y sistemas híbridos que combinan las anteriores y un generador diesel como respaldo. En estos sistemas de Generación Distribuida, considerada como aquella que se produce cerca del consumidor [7], es necesaria la complementariedad de sistemas de almacenamiento energético para acumular los excedentes de energía eólica o solar. Se consideraron para este efecto la producción de hidrógeno por electrolisis con eficiencia 75%, un banco de baterías plomo-ácido marca Hoppecke de 2 [V], 3000 [A/h] y un volante de inercia (Flywheel) que almacena la electricidad como energía cinética. Todos estos almacenadores entregan la energía acumulada como corriente continua, por lo que es necesario adicionar un inversor (converter) para convertirla en alterna.

Las salidas del programa que se consideraron relevantes son: el Capital Inicial en [U\$S], el Valor Presente Neto del proyecto (NPC en [U\$S]), el Costo de la Energía (CoE en [U\$S/kWh]), la fracción de utilización de renovables, el exceso

de energía (en %) y las emisiones de CO<sub>2</sub> en [kg/año]. Del total de configuraciones -mencionadas en la metodología- se seleccionaron aquellas con menor (CoE) correspondientes a cada categoría analizada, haciendo un total de 8 sistemas cuyos valores se muestran en la Tabla 2.

La valoración acerca del sistema a seleccionar como el más apto, para una aplicación particular, contempla un análisis detallado sobre las 6 últimas columnas. Se debe adoptar un criterio de ponderación de estos valores, ya que algunos son de carácter financiero y otros técnicos o ambientales. En el orden financiero, el NPC es importante para la valoración de inversiones en activos fijos. De este modo, la alternativa que maximiza el NPC suele ser la mejor. Este criterio, sin embargo, no considera los factores técnicos y ambientales que, en alguna alternativa, aunque podrían involucrar un NPC menor, resultan más estratégicas. Debe tomarse en cuenta que el NPC considera que la energía se vende en su totalidad, en cada caso, al CoE correspondiente y con la inversión inicial necesaria. Esto es, en el caso del sistema solar puro, aunque presenta el NPC más alto, se observa que el CoE y la inversión inicial están entre - 3 y 8 veces y 4 y 17 - superiores a los demás sistemas. En el otro extremo, la configuración que presenta el menor CoE (0,394 [U\$S/kWh]), es el sistema eólico-diesel, que emite 216.000 [kg/año] de CO<sub>2</sub>.

La variabilidad de la fuente primaria renovable, de predictibilidad reducida, conduce a considerar la mayor diversificación energética, con el consiguiente aprovechamiento de los distintos recursos naturales disponibles, como el tipo de sistema que reporta mayor confiabilidad y estabilidad a la red.

Esta situación se evidencia cuando se contrasta la demanda anual de carga eléctrica, con la producción de fuentes renovables. Se observa que hay meses en los que hay excedentes de energía y otros en los cuales la producción es inferior a la demanda. Esto se debe a que mientras mayor es la carga eléctrica en los meses invernales, del mes 5 al 9, menor es la oferta de recursos renovables (figura 10).

A la hora de diseñar la configuración de un sistema, éste debe ser capaz de satisfacer a la demanda pico, de modo que es difícil (o impo-



sible) el balance nulo de energía neta mensual.

En el período de déficit energético (ca de 3000 kWh), es imprescindible contar con un sistema de respaldo energético, provisto tanto por fuentes no renovables como el diesel, como por el almacenamiento de los excedentes energéticos producido por renovables en los meses no comprendidos entre mayo y septiembre. Esta situación enfatiza la importancia de contar con múltiples sistemas de almacenamiento. Todas estas consideraciones están mejor contempladas y resueltas por el sistema 3 (figura 9).

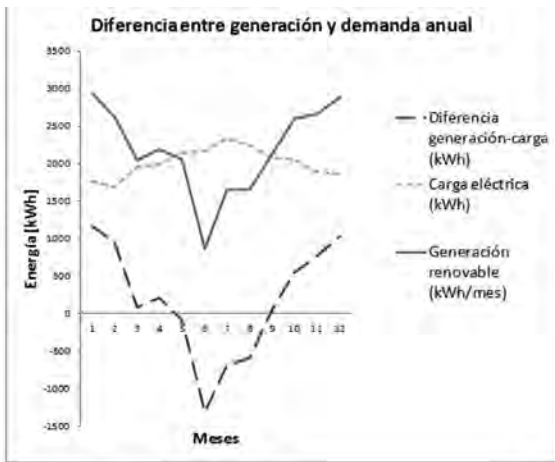


Figura 10. Diferencia entre generación y demanda anual.

**Conclusiones**

Se presentó una evaluación técnica, económica y ambiental sobre la satisfacción de la demanda de energía, en una población aislada de la red eléctrica de la Patagonia Austral. Se propusieron una cantidad de sistemas de energía, con diversas configuraciones de fuentes pri-

marias, conformando un conjunto de sistemas puros o híbridos, todos capaces de satisfacer la demanda energética.

Se modelaron todos los sistemas en isla (o fuera de red) mediante el programa de uso libre HOMER®, con el cual se propone al sistema: eólico, solar, hidrógeno, diesel más banco de baterías, como aquel capaz de considerar la mayor diversificación energética y aprovechamiento de los distintos recursos naturales disponibles. Se concluye que éste sistema reporta mayor confiabilidad y estabilidad a la red.

**Agradecimientos**

Agradecemos a la Unidad Académica Caleta Olivia de la Universidad Nacional de la Patagonia Austral y a la empresa Servicios Públicos Sociedad del estado por la provisión de los datos de viento. Agradecemos también a los ingenieros R. Oliva y J. Lescano por el aporte de datos de la zona.

**Referencias**

- [1] <http://www.cammesa.com/>
- [2] <http://www.microgridconference.com/index.html>
- [3] Ley 26.190 de energías renovables del Senado y Cámara de Diputados de la Nación Argentina
- [4] Estado de la Industria Eólica en Argentina 2009. Cámara Argentina de Energías Renovables.
- [5] <http://homerenergy.com/>
- [6] Mohd Zamri Ibrahim, Roziah Zailan, Marzuki Ismail and Abdul Majeed Muzathik, 2010. Pre-Feasibility Study of Hybrid Hydrogen



Sistema de Energía	Eólico [kW]	Solar [kW]	Diesel [kW]	H <sub>2</sub> [kW]	Electrol [kW]	Baterías	Volante [kW]	Capital Inicial [U\$S]	NPC [U\$S]	CoE [U\$S/kWh]	Frac renov	Exceso Elect [%]	CO <sub>2</sub> [kg/año]
Eólico	400					900		2.300.000	2.482.373	0,788	1	69,6	0
Solar		3500				1200		8.250.000	8.460.487	2,693	1	82,1	0
Eólico - solar - baterías	400	300				600		2.315.000	2.493.716	0,793	1	74,1	0
Eólico - diesel	100		100			40	100	467.500	1.250.728	0,394	0,64	14,7	216.000
Eólico - solar - diesel - baterías	100	100	100			40		497.500	1.339.484	0,422	0,73	24,6	224.378
Solar - diesel		200	100					470.000	2.033.744	0,641	0,23	10,9	460.951
Eólico - diesel - hidrógeno	100		100	30	100	40	100	636.500	1.426.424	0,45	0,68	0,48	205.503
Eólico - solar - diesel - baterías - hidrógeno	100	100	100	30	100	40	100	816.500	1.505.730	0,475	0,73	2,81	173.387

Tabla 2. Sistemas principales de menor CoE.



Based Energy Systems for Coastal Residential Applications. Energy Research Journal 1 (1): 12-21, 2010.

[7] Smart Grid: Fundamentos, tecnologías y aplicaciones. Rommel A. Vinci, Osvaldo M. Micheloud. 2012



# Técnica de filtración ISO 9308 aplicada al monitoreo de agua de red

Mg. Silvia Moyano, Mg. Graciela Marín

## Resumen

Se evaluó la reproducibilidad de la técnica de filtración (ISO 9308-1) para la detección de coliformes totales y *Escherichia coli*, y su aplicación en muestras de agua de baja contaminación, como el agua de red domiciliaria. De este modo poder resolver inconvenientes en la interpretación de resultados originados debido a la presencia de otros tipos de bacterias que no pertenecen al grupo coliformes. Dichas bacterias desarrollan dando colonias anaranjadas-amarillas típicas de coliformes en el medio de Agar de Lactosa TTC con (Tergitol@7) y pueden generar falsos positivos. Palabras clave: Norma ISO 9308, filtración por membrana, agua de red, colonias atípicas.

## Abstract

This work was evaluated the reproducibility of filtration techniques (ISO 9308-1) for detection of total coliforms and *Escherichia coli*, and its application in water samples with low pollution, and the corresponding home network water. Thus to solve problems related to the interpretation of results caused due to the presence of other types of bacterial groups that do not belong to the coliform group. These groups develop resulting orange-yellow colonies typical of coliform agar medium TTC Lactose (Tergitol @ 7) and can generate false positives. *Keywords:* ISO 9308, membrane filtration, network water, atypical colonies.

## Introducción

El monitoreo del agua potable provista a una población es indispensable para garantizar la calidad de vida debido que puede ser vehículo de importantes enfermedades infecciosas. La

Director Técnico Laboratorio, U.T.N. Facultad Regional Villa María, Av. Universidad 450, (5900) Villa María, Córdoba, 0353-4537500 Int. 201; Proyecto: "Calidad Del Agua Subterránea y Superficial y Gestión Del Recurso Hídrico en la Región Centro de la Provincia de Córdoba". Proyecto PID Código UTI 1782- Secretaría de Ciencia, Tecnología y Posgrado- Universidad Tecnológica Nacional. silmoyano@hotmail.com

importancia de métodos de detección confiables y con sensibilidad adecuada exige la aplicación de técnicas internacionales que presenten estas características. La prueba estándar para el grupo coliformes en muestras de agua puede realizarse mediante las técnicas de fermentación en tubos múltiples [1], o de filtro de membrana [2]. Son aplicables estos dos métodos teniendo en cuenta sus limitaciones específicas y el propósito del estudio. La técnica de filtro de membrana, que consiste en la siembra directa para la detección y cálculo de la densidad, es tan eficaz como la fermentación en tubos múltiples para la detección de bacterias de este grupo. La Norma ISO 9308 para la determinación de coliformes totales y *Escherichia coli* en muestras de agua es la exigida por la comunidad económica europea para evaluar la calidad del agua. Esta norma se basa en el método de filtración por membrana (Norma española ISO 9308) [2].

La modificación de los detalles del procedimiento, ha hecho que los resultados por ambas técnicas sean comparables. Aunque existen limitaciones a la aplicación de la técnica del filtro de membrana, puede ciertamente ser equiparable a la anterior si se emplea teniendo



en cuenta de manera estricta sus inconvenientes y sus especificaciones técnicas.

Entre los detalles a verificar se encuentra el hecho que la Norma ISO 9308 establece que luego de la filtración de la muestra de agua, la membrana se coloca en placas con Agar de Lactosa TTC con (Tergitol@7) donde todas las colonias amarillas desarrolladas, sin considerar el tamaño, que fueran oxidasa negativa, se pueden clasificar como perteneciente al grupo coliformes.

Con el fin de desarrollar dicha comparación, se realizó la evaluación de los detalles de aplicación de las técnicas de filtración en muestras de agua de baja contaminación provenientes de red de provisión urbana y otras fuentes con similares características [4] [5], para determinar los principales inconvenientes relacionados con la interpretación de resultados en cuanto a la presencia de otros tipos de grupos bacterianos no coliformes en muestras con bajo grado de contaminación que desarrollan dando colonias anaranjadas- amarillas típicas de coliformes en el medio de cultivo Agar de Lactosa TTC con (Tergitol@7), establecido en la Norma ISO 9308-1 para la detección de coliformes totales y *Escherichia coli* en muestras de agua.

### Metodología desarrollada y materiales utilizados

Con el propósito de evaluar muestras de baja contaminación de coliformes, se realizó el muestreo de agua de provisión de red urbana y de muestras de otros orígenes que presentaban antecedentes de esta situación. Se analizaron 109 muestras de agua con esta característica particular, en el Laboratorio de Química y Microbiología de la Universidad Tecnológica Nacional Regional Villa María.

Los análisis se realizaron utilizando las dos técnicas: la de filtración por membrana y el número más probable. En los métodos de filtración se utilizó la técnica establecida por la Norma ISO-9308-1:2000 (Coliformes totales y *E.coli*) [2] y para la del Número Más Probable las técnicas 9221-A y B (coliformes totales) del Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater (SMEWW), 21th (APHA, 2005) [1].

Se tuvieron en cuenta algunos detalles relacionados con el desarrollo de la Técnica de Filtración por Membrana en donde se filtran 100 ml de muestra utilizando monitores estériles descartables con la membrana filtrante. El filtro fue colocado en placa con Agar de Lactosa TTC con (Tergitol@7) y luego incubado durante 48 ( $\pm$ ) 2 horas a 36 ( $\pm$ ) 1 °C.

Las colonias típicas de coliformes se presentan como amarillas- anaranjadas con o sin halo amarillo (CULTIMED) [6] (MERCK) [7]. A las colonias desarrolladas se le realizó el aislamiento en un medio no selectivo (Agar nutritivo) aplicando luego la prueba de la oxidasa (tabletas reactivas). Para la investigación de *Escherichia coli*, estas colonias fueron sembradas en Agua peptonada Indol, para observar la producción de Indol a 44,5 ( $\pm$ ) 0,5°C.

### Resultados y discusión

Se obtuvieron los resultados en estas muestras de baja concentración, por las dos técnicas mencionadas, sirviendo ambos grupos de datos para realizar comparaciones con el fin de asegurar los resultados, siendo la técnica del número más probable utilizada como técnica referencial, ya que es con la que se cuenta con mayor experiencia en su aplicación.

En la aplicación de la técnica de filtración por membrana, para la caracterización de las colonias típicas, se tuvieron en cuenta las características descritas en los manuales de los fabricantes de medios de cultivo tanto el de Merck y como el CULTIMED (MERCK, 1994; CULTIMED, 2003) (tabla 1 y 2). En dichos manuales, se especifica que al Agar de Lactosa TTC con (Tergitol@7) puede agregarse el 2,3,5-Trifenil-2H-Tetrazolio Cloruro (TCC) dando colonias amarillas con halo (*E.coli*) o colonias rojas con halo amarillo (coliformes sin *E.coli*). Durante el desarrollo de evaluación de desempeño se observó que el agregado del TCC hace que las colonias de coliformes (sin *E.coli*) adquieran un color más anaranjado o amarillo oscuro pero no la coloración roja con halo amarillo, establecida en dicho manual (tabla 1).

**Tabla N° 1:** Características de las colonias desarrolladas en Agar de Lactosa TTC con (Tergitol@7) según el Manual de Medios de

cultivo MERCK.

Colonias	Microorganismos
Sin TTC (2,3,5-Trifeni-2H-Tetrazolo Cloruro) Amarillo con halo amarillo Amarillo-verdosas, grandes mucosas. Azules	<i>Escherichia coli</i> <i>Enterobacter-Klebsella</i> Gémenes lactosa negativos.
Con TTC (2,3,5-Trifeni-2H-Tetrazolo Cloruro) Amarillo con halo amarillo Rojas con halo amarillo. Rojas con halo azulado Incoloras.	<i>Escherichia coli</i> Coliformes sin <i>E. coli</i> . Gémenes lactosa negativos. Monilia y otros.

**Tabla N° 2:** Características de las colonias desarrolladas en Agar de Lactosa TTC con (Tergitol@7) según el Manual de Medios de cultivo CULTIMED.

Microorganismos	Temperatura Incubación		Color de la colonia	Halo
	35°C	44°C		
<i>Escherichia coli</i> ATCC-25922	Satisfactorio	Buena	Amarillo con centro naranja	Amarillo
<i>Citrobacter sp</i>	Satisfactorio	Inhibido	Amarillo con centro naranja	Azulado
<i>Klebsiella sp</i>	Satisfactorio	Inhibido	Rojo a amarillo	Amarillo
<i>Enterobacter aerogenes</i> ATCC 13046	Satisfactorio	Inhibido	Rojo a amarillo oscuro con centro naranja	Amarillo
Especies no fermentadoras	Satisfactorio	Inhibido	Violeta claro	Azulado

En la Norma ISO 9308 se establece que se debe examinar la membrana y contar las colonias, sin tomar en consideración el tamaño, que presentan un desarrollo del color del medio bajo la membrana (Norma española ISO 9308, 2000). Esto último (el viraje del medio bajo la membrana) no pudo ser considerado, debido a la utilización de monitores estériles donde se coloca el medio de cultivo después del filtrado de la muestra. Por eso se interpretó como colonias típicas todas las colonias amarillas-anaranjadas desarrolladas en Agar de Lactosa TTC con (Tergitol@7).

Para ser confirmadas como coliformes se siguieron las etapas propuestas por la Norma ISO 9308, de sembrar las colonias típicas en Agar Nutritivo y realizar la prueba de la oxidasa (Norma española ISO 9308, 2000). Además estas colonias desarrolladas en Agar nutritivo se sembraron en Caldo Lauril Sulfato, que es el medio de cultivo establecido por el Standard Methods for the examination of water and wastewater (APHA, 2005) para la determinación de bacterias coliformes en muestras de agua por el número más probable. Se consideró como perteneciente al grupo coliforme a toda bacteria capaz de producir turbidez y gas en Caldo Lauril sulfato.

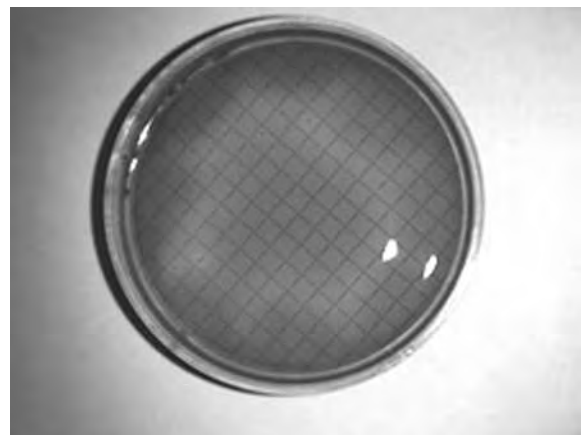
Las 109 muestras de agua analizadas por el método de fermentación por tubos múltiples dieron resultados negativos para la determinación de coliformes totales. Por el

método de filtración por membrana, al cabo de 48 horas de incubación a 36 (±) 1°C, el 36,69 % (40 muestras de las 109 analizadas) presentaron colonias anaranjadas - amarillas típicas para ser confirmadas como coliformes (tablas 3 y 4). Debido al crecimiento de colonias amarillas desarrolladas en el Agar Tergitol que no resultaron ser coliformes cuando se sembraron en Caldo Lauril sulfato simple concentración se decidió realizar la observación microscópica de dichas colonias, observándose sólo las aisladas de 27 muestras (tabla 3).

**Tabla N°3:** Resultados obtenidos por el método de filtración por membrana para coliformes totales (Norma ISO 9308-1-2000).

N° de muestras analizadas	colonias amarillas o anaranjadas % de muestras		N° de muestras con colonias típicas
	No presentan	Si presentan	
109	63,30% (69 muestras)	36,69% (40 muestras)	27

Las colonias amarillas- anaranjadas con o sin halo típicas, se sembraron en Agar Nutritivo y luego Caldo Lauril Sulfato simple concentración para confirmar la pertenencia del grupo coliforme. De las 40 muestras con colonias típicas aisladas, 39 muestras no desarrollaron en Caldo Lauril Sulfato luego de 48 horas de incubación a 36 (+) 1°C, lo que descartó que sean bacterias coliformes. En la figura 1 se observan colonias amarillas – anaranjadas desarrolladas no coliformes en Agar de Lactosa TTC con Tergitol@7 de una muestra de agua de la red domiciliaria.



**Fig. N°1:** Colonias amarillas “no coliformes” en Agar de Lactosa TTC con (Tergitol@7) confirmadas por el no crecimiento en Caldo Lauril sulfato.

Sólo en una muestra se desarrollaron



dos colonias amarillas (tabla 4) que fueron confirmadas como coliformes. Esta confirmación se basó en que resultaron ser oxidasa negativa y desarrollaron turbidez y producción de gas en tubos de Lauril Sulfato simple concentración. Esta muestra por la técnica del NMP (Collins C.H. y Taylor C, 1969) (tabla de 5-1-1) presentó resultado negativo con respecto a coliformes totales, lo que demostraría la mayor sensibilidad de la técnica de filtración por membrana en relación al método de fermentación por tubos múltiples. Por lo tanto la muestra sería apta para consumo analizada por la técnica de tubos múltiples y no apta con el método de filtración por membrana (Dipas, 1995; Norma española ISO 9308, 2000).

**Tabla N° 4:** Resultados obtenidos por el método de filtración (Norma ISO 9308-1-2000) y el Número más Probable en muestras de agua.

N° de muestras analizadas	% de muestras negativas por el método de filtración por membrana (0 ufc/100 ml)	% de muestras negativas por el número más probable (<2 NMP/100 ml)
109	99,8 % (108 muestras)	100 % (109 muestras)

En cuanto a la caracterización microscópica de las colonias amarillas-anaranjadas que crecieron en Agar de Lactosa TTC con (Tergitol@7), como puede observarse en las tablas 5 y 6 que se exponen en las páginas siguientes, el 41 % correspondieron cocos Gram (+) y el 41% de bacilos Gram (+) esporulados chicos.

Es importante resaltar que en dos muestras hubo desarrollo de dos colonias anaranjadas con el viraje total del color del Agar de Lactosa TTC con (Tergitol@7) en el monitor por filtración de color verde a amarillo y que en la observación microscópica correspondieron a bacilos Gram (+) esporulados chicos (tabla 5.)

**Tabla N° 5:** Observación microscópica de colonias amarillas- anaranjadas.

N° de muestra	N° de colonias típicas	N° de colonias observadas	Características microscópicas de las colonias observadas:
1	70	13	6 bacilos Gram (+) esporulados chicos. 7 cocos Gram (+)
2	20	5	2 cocos Gram (+) 3 bacilos Gram (-)
3	14	4	4 cocos Gram (+)
4	81	8	2 cocos Gram (+) 5 bacilos Gram (+) esporulados grandes 1 bacilo Gram (+) esporulado chico
5	2	2	2 bacilos Gram (+) esporulados chicos 3 bacilos Gram (+) esporulados chicos (colonias blancas en AN)
6	5	5	2 cocos Gram (+) (colonias blancas en AN)
7	1	1	1 bacilo Gram (+) esporulado chico. Colonia amarilla y el medio todo amarillo
8	2	2	2 Cocos Gram (+)
9	27	6	4 bacilos Gram (+) esporulados chicos 2 bacilos Gram (+) delgados
10	1	1	1 bacilo Gram (+) esporulado chico. Colonia amarilla y medio todo amarillo
11	1	1	1 bacilo Gram (-) corto

12	4	4	1 bacilo Gram (-) corto 1 coco Gram (+) 2 bacilos Gram (+) esporulados chicos
13	6	6	3 cocos Gram (+) 2 bacilos Gram (+) esporulados chicos 1 bacilo Gram (+) esporulado grande
14	2	2	2 bacilos Gram (+) esporulados chicos
15	2	2	2 cocos Gram (+)
16	1	1	1 coco Gram (+)
17	2	2	2 cocos Gram (+)
18	1	1	1 bacilo Gram (+) esporulado chico.
19	1	1	1 bacilo Gram (+) esporulado chico.
20	1	1	1 coco Gram (+)
21	2	2	2 bacilos Gram (+) esporulados chicos.
22	1	1	1 bacilo Gram (+) esporulado chico.
23	2	2	1 coco Gram (+) 1 bacilo Gram (+) pleomórficos
24	1	1	1 coco Gram (+)
25	1	1	1 coco Gram (+)
26	2	2	2 bacilos Gram (+) esporulados chicos
27	1	1	1 bacilo Gram (+) esporulado chico.

**Tabla N° 6:** Porcentaje de las distintas morfologías presentadas por las colonias amarillas desarrolladas en el Agar de Lactosa TTC con (Tergitol@7).

N° de colonias	% de cocos Gram (+)	% de bacilos Gram (+)		Otras morfologías
		esporulados chicos	esporulados grandes	
78	41 % (32)	41 % (32)	7,65 % (6)	10,25 % (8)

Ante estos resultados obtenidos se procedió a la siembra por aislamiento de cepas tipificadas de *Streptococcus agalactiae* ATCC 27956, *S.bovis* ATCC 9809, *S. dysgalactiae* ATCC 27957 y *Enterococcus faecalis* ATCC 19433, donde desarrollaron colonias amarillentas pequeñas.

El Manual de Merck de medios de cultivo (MERCK, 1994) para el Agar de Lactosa TTC con (Tergitol@7), en el control de calidad de este medio expresa que cuando se realiza la prueba con *Enterococcus faecalis* ATCC 11700, el desarrollo de esta bacteria es nulo/ligero con un viraje amarillento del medio. Esto indicaría que en muestras de agua con bajo grado de contaminación pueden desarrollar en Agar de Lactosa TTC con (Tergitol@7) otros grupos bacterianos, además de los coliformes. Este inconveniente de la técnica de filtración por membrana podría ser evitado sembrando las colonias amarillas- anaranjadas desarrolladas en Agar Tergitol en un medio no selectivo como Agar nutritivo (tal como lo detalla la Norma ISO 9308), y luego sembrar estas colonias desarrolladas en Caldo Lauril simple concentración. La ausencia de turbidez y de gas en este caldo permite descartar que la bacteria aislada sea del grupo de los coliformes.

En relación las morfologías microscópicas observadas de las colonias amarillas-anaranjadas típicas crecidas en Agar de Lactosa TTC con Tergitol@7 se detallan en la tabla 7. Se puede



observar que la morfología más predominante, tanto en el agua de los pozos de provisión como de la red domiciliaria correspondió bacilo Gram (+) esporulados chicos. La otra morfología más frecuente fue de cocos Gram (+) (31,6% de las colonias amarillas observadas en las muestras de agua extraída de la red) (tabla 7).

**Tabla N° 7:** Porcentaje de las distintas morfologías presentadas por las colonias amarillas desarrolladas en el Agar de Lactosa TTC con (Tergitol@7)

N° de colonias observadas	% de cocos Gram (+)	% de bacilos Gram (+)		Otras morfologías
		esporulados chicos	esporulados grandes	
AGUA DE POZO DE PROVISIÓN DE VILLA MARIA				
7	14,3 % (1)	71,4 % (5)	0 % (0)	14,3 % (1)
AGUA DE RED DE VILLA MARIA				
76	31,6% (24)	51,3 % (39)	7,9% (6)	9,2% (7)

### Conclusiones

Las conclusiones del estudio en la evaluación de la técnica de filtración por membrana ISO 9308 para la determinación de Coliformes totales y *Escherichia coli* fueron:

- Para la determinación de Coliformes totales y *E.coli*, el método de filtración resulta ser reproducible, con relación a las técnicas de fermentación por tubos múltiples, dando resultados comparables. De las 109 muestras de agua potable analizadas los resultados obtenidos con ambas técnicas fueron idénticos en el 99,10%.

- De las 40 muestras de agua que presentaron crecimiento de colonias amarillas- anaranjadas en Agar de Lactosa TTC con (Tergitol@7) cuando se sembraron en Caldo Lauril sulfato simple concentración, 39 muestras no mostraron turbidez ni producción de gas, confirmando el resultado negativo para coliformes totales. La muestra restante dio resultado positivo por el método de filtración por membrana (2 ufc/100 ml) y negativo con la técnica de fermentación por tubos múltiples (< 2 NMP/100 ml). Esto puede indicar una sensibilidad superior de la técnica de filtración con respecto al método del número más probable en niveles bajos de contaminación.

- En la observación microscópica de las colonias amarillas desarrolladas en el Agar de Lactosa TTC con (Tergitol@7). de muestras de agua potable el 41% correspondieron a cocos Gram (+) y 41 % a bacilos Gram (+) esporulado.

- En el Agar de Lactosa TTC con (Tergitol@7) crecieron colonias amarillas de las cepas tipificadas del género *Streptococcus*, lo que confirma la presencia de colonias amarillas en las muestras de agua cuya identificación microscópica perteneció al grupo de cocos Gram (+).

- Luego de la observación microscópica de las colonias amarillas- anaranjadas desarrolladas en Agar de Lactosa TTC con Tergitol@7, la morfología predominante correspondió bacilo Gram (+) esporulados chicos. La otra morfología bacteriana presente, fue la de cocos Gram (+).

- El inconveniente de la técnica de filtración por membrana debido al desarrollo de colonias amarillas-anaranjadas que no son coliformes en Agar de Lactosa TTC con (Tergitol@7), se puede evitar sembrando estas colonias crecidas en un medio no selectivo (Agar nutritivo), en Caldo Lauril simple concentración. La ausencia de turbidez y de gas en este caldo permite descartar que la bacteria aislada sea del grupo de los coliformes. Esta modificación de la técnica permite confirmar el resultado obtenido.

### Referencias

[1] APHA, AWWA, WEF *Standard Methods for the examination of water and wastewater* Ed. 21th, 2005.

[2] Norma Española UNE-EN ISO 9308-1. *Detección y recuento de Escherichia coli y de bacterias coliformes. Parte 1: Método de filtración de membrana (ISO 9308-1:2000)*. 2000.

[3] Moyano Silvia, Pegoraro Lidia, Marín Graciela. *Comparación de técnicas del número más probable y filtración de membrana para el análisis microbiológico de agua*. III Reunión Anual PROIMCA y I Reunión Anual PRODECA. Mendoza. Argentina.2011.

[4] Moyano Silvia; Marín Graciela; Pegoraro Lidia. *Aplicación de la técnica microbiológica de filtración (ISO 9308-1) en la detección de coliformes totales en muestras de agua con baja contaminación*. Congreso Internacional sobre Gestión y Tratamiento del Agua- Córdoba, Argentina.2012.

[5] CULTIMED. *Manual Básico de Microbiología*. España. 2003.

[6] MERCK. *Manual de medios de cultivo*.  
Alemania. 1994.



# Estudio y análisis del potencial marino en las costas de la Patagonia Austral Argentina

Horacio León<sup>1</sup>, Daniel Lorenzetti<sup>1</sup>,  
Abdelbassat Abdelbaki<sup>1</sup>, Hugo  
Chacón<sup>1</sup>, Claudio Fernández<sup>1</sup>,  
Carlos Labriola<sup>12</sup>

## Resumen

El consumo de los recursos energéticos fósiles, el impacto ambiental asociado a la producción y al uso de las energías tradicionales, la distribución de las reservas de energía, y el incremento de los precios de las materias primas energéticas, otorgan a las fuentes renovables una importancia progresiva en la matriz energética, sobre todo en los países desarrollados.

La utilización de la energía obtenida de los distintos recursos renovables es un segmento importante en las distintas estrategias de políticas energéticas y medioambientales.

Mares y océanos del mundo constituyen una fuente de recursos tanto en alimentos, como energéticos y minerales de gran importancia para el ser humano.

El mar es el primer colector solar ya su vez el sistema de almacenamiento y transporte de energía más grande del mundo, por lo tanto existe un enorme potencial energético, el cual mediante diferentes tecnologías, puede ser transformado en electricidad y satisfacer en gran parte las necesidades energéticas actuales.

Este recurso energético se manifiesta de distintas formas: oleaje, corrientes marinas, mareas, gradientes térmicos y de salinidad, por lo tanto en la actualidad se están investigando y desarrollando variadas tecnologías para su aprovechamiento. Una de las claves para que estos tipos de aprovechamientos sean factibles es el de recabar datos para el estudio del recurso en distintos lugares (como todo tipo de energía re-

1. Unidad Académica Caleta Olivia – Universidad Nacional de la Patagonia Austral (UACO-UNPA) – Laboratorio de Energías Renovables. hleon@unp.edu.ar – 297 4854888 Interno 150

2. Universidad del Comahue, Facultad de Ingeniería.

novable).

La energía undimotriz y mareomotriz tienen un gran potencial para producir energía eléctrica, en regiones de latitudes altas como las costas patagónicas. Los integrantes del Laboratorio de Energías Renovables de la Universidad Nacional de la Patagonia Austral -Unidad Académica Caleta Olivia, están estudiando y trabajando en esta temática, llevando a cabo los proyectos de investigación 29B/125 “Análisis de sistema de convertidores fluido-dinámicos de energía renovable para la Patagonia Austral de Argentina” 2011/2014 y su continuación, el proyecto 29B/163 “Sistemas de convertidores fluido-dinámicos de energía renovable para la Patagonia Argentina”.

Para dichos proyectos se ha recopilado información de instituciones y organismos provinciales, nacionales e internacionales con el fin de evaluar el recurso energético en las costas de la Patagonia Central y Austral de la república Argentina. Esta primera evaluación global permite indicar que el recurso undimotriz y de corrientes marinas puede ser explotado en varias zonas de las costas patagónicas.

*Palabras Clave:* energía del mar, energía un-

dimotriz, Patagonia Argentina.

**Introducción**

Por la crisis energética y problemas de contaminación ambiental dada por la emisión de CO<sub>2</sub>, en los últimos años universidades, centros de investigación y empresas del mundo se han abocado a la investigación y al desarrollo de equipos que permitan aprovechar fuentes de energía alternativas que sean sustentables, renovables y limpias como ser el sol y sus derivados. Una fuente de energía alternativa y renovable que está en reciente investigación y desarrollo es el mar. El océano es un acumulador y transportador de grandes cantidades de energía.

Los distintos tipos de energía posibles de obtener se clasifican en forma general de la siguiente manera:

- Energía térmica oceánica
- Energía por gradiente salino
- Energía de las olas o undimotriz
- Energía de las mareas ó mareomotriz.

Dentro de la mareomotriz se distinguen dos aspectos bien definidos: La energía potencial dada por la diferencia de altura entre mareas y la energía de las corrientes marinas generadas por las mareas en puntos singulares de las costas.

En la tabla 1 se observan valores teóricos estimados, a nivel mundial de los distintos recursos que se pueden obtener del mar en términos de energía (Fuente: IBERDROLA 2010)

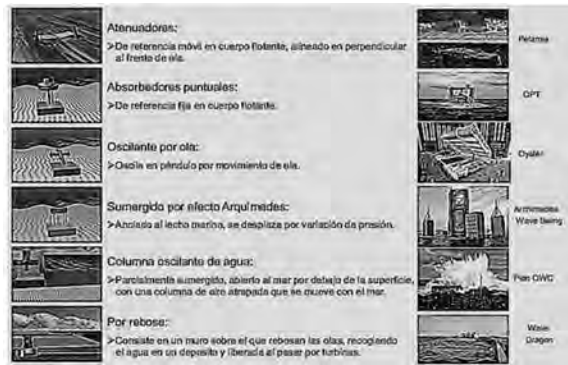
RECURSO	TWh/año
UNDIMOTRIZ	8.000 hasta 80.000
CORRIENTES MARINAS	800
MAREOMOTRIZ	300
GRADIENTE TERMICO	10.000
GRADIENTE SALINO	2.000

**Tabla1 - Potencial energético marino[6]**

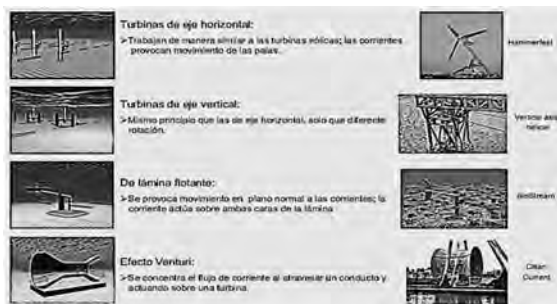
Hasta la actualidad se han desarrollado y patentado un gran número de equipos que permiten aprovechar este potencial del mar y así generar energía eléctrica. El desarrollo de estos equipos todavía es reciente y unos pocos se encuentran a escala de modelo pre-comercial. Esta situación de inmadurez en el desarrollo no per-

mite establecer en forma precisa cuáles son los equipos con mejores rendimientos y estimar en forma cierta el costo por kW instalado.

Los distintos dispositivos se pueden observar en las figuras 1 y 2, en las cuales en el sector izquierdo se muestran los esquemas de funcionamiento y en el derecho los modelos construidos y ya en prueba.

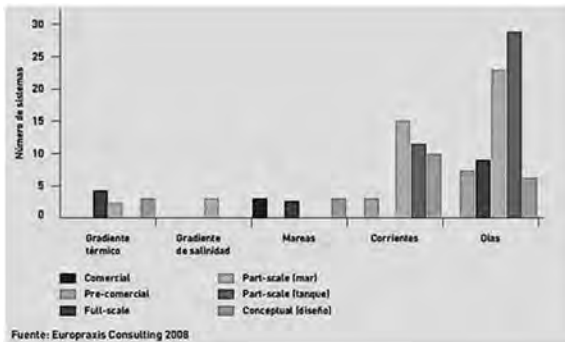


**Figura 1 - Dispositivos de conversión de energía undimotriz[6]**



**Figura 2 - Dispositivos de conversión de energía mareomotriz[6]**

En la figura 3 se indica el estado de desarrollo de los distintos sistemas, notándose en gran medida el bajo avance en el desarrollo de estos equipos - dato obtenido del PER 2011-2020 de España y Europraxisconsulting[12]



**Figura 3 - Estado de Desarrollo y grado de madurez de las distintas tecnologías**





Evaluaciones de distintas instituciones como el *WorldEnergy Council* (WEC -Concejo Mundial de Energía) estiman el potencial total del flujo de energía de las olas en 2.000 GW. Frente a las costas de la Patagonia Argentina, el recurso undimotriz está en el orden de los 29 a 97 kW por metro de frente de ola, en aguas profundas (Figura4).



Figura 4 - Potencial de las olas -WorldEnergyCouncil.

### Potencia de las olas

Existen distintas expresiones para determinar la potencia útil de las olas, en si dicha potencia depende de los valores de altura de ola y la frecuencia (o periodos) [4] [8][9].

La clásica es la teoría lineal de onda de Airy, en la cual se llega a la siguiente expresión ideal:

$$P = 0.995 * H^2 * T \quad (1)$$

P: potencia útil de las olas [kW/m]  
 H: Altura de la ola [m]  
 T: Período de la ola [s]

O teorías basadas en espectros de ondas, lo cual permite acercarse mucho más al oleaje real:

$$P = \alpha * H_s^2 * T_p \quad (2)$$

Dónde:

P: potencia útil de las olas [kW/m]

$\alpha$  Coeficiente que relaciona características espectrales de un campo de olas con la potencia. Varía de 0,44 a 0,59 dependiendo de los distintos espectros estudiados y desarrollados en el mar del Norte, en Europa.

H: Altura significativa de la ola [m]

T: Período pico de la ola [s]

Ambas expresiones se refieren a valores de potencia obtenidas en aguas profundas, en las cuales no se tienen en cuenta fenómenos de asomeramiento, reflexión y difracción de las olas que se ponen de manifiesto en cercanías de la costa, debido a la disminución de la profundidad del lecho marino y los accidentes geográficos.

### Potencia de las corrientes

Las corrientes generadas por el flujo y reflujo de las mareas sobre la costa es otra fuente de recurso energético, cuando las velocidades de los flujos de agua sean aceptables y permitan accionar las turbinas generadoras. Esta fuente de energía alternativa es altamente predecible y mantiene sus caudales cuasi constantes.

La potencia generada por las corrientes marinas se determina en forma similar que la potencia eólica:

$$P = \frac{1}{2} * \rho * A * V^3 \quad (3)$$

P : Potencia útil generada por el fluido [W]  
 $\rho$  : Densidad del agua de mar [kg/m<sup>3</sup>]  
 A : Área del rotor [m<sup>2</sup>]  
 V : Velocidad del fluido [m/s]

El mar posee una capacidad energética aproximadamente 800 a 1000 veces mayor que la del aire, dado por su diferencia de densidades. El valor promedio de la densidad del mar es de 1023 kg/m<sup>3</sup> contra 1 kg/m<sup>3</sup> en el aire.

Comparativamente una corriente de agua marina que fluye a una velocidad de 2 m/s posee por cada metro cuadrado de área perpendicular a su flujo, tiene la misma energía que una corriente eólica de aproximadamente 20 m/s.

Las turbinas hidrocinéticas pueden generar potencias teóricas que oscilan entre 4 y 13 kW/m<sup>2</sup>, con velocidades de flujos de agua entre los 2 y 3 m/s (4 a 6 nudos). En la región central y sur de las costas de la Patagonia, el Servicio Hi-

drográfico Naval ha determinado diferencias de altura de mareas de 5 hasta 10 o 12 metros, un ejemplo es el puerto de Río Gallegos o en la ría de Puerto Deseado (Santa Cruz - Argentina) lo cual permite inferir que en las desembocaduras de los ríos del litoral patagónico existen corrientes con velocidades aceptables y que es factible su aprovechamiento energético.

### Analisis y determinacion del potencial marino

La región en estudio está sobre la plataforma continental argentina, desde los 45 grados - zona del Golfo San Jorge, hasta los 51 grados de latitud Sur - aproximadamente a la altura de la desembocadura de la ría en Río Gallegos. La plataforma continental es una región de aguas someras, que presenta profundidades menores a 100 metros hasta varios kilómetros mar adentro.

De la recopilación y análisis de datos obtenidos de entes estatales nacionales e internacionales como la Unidad Ejecutora Portuaria de Santa Cruz (UNEPOsc) [2], Servicio de Hidrografía Naval (SHN)[1][7], National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)[3] - más trabajos de investigación científicos realizados [4] [9] [11] [12], se pudo estimar el potencial undimotriz y de las corrientes en lugares específicos de la costa patagónica.

En la figura 5 se pueden observar zonas accesibles, que tienen accidentes costeros naturales, en los cuales pueden desarrollarse trabajos de investigación con el objetivo de proyectar un parque de olas o de Turbinas Hidrocinéticas.



Figura 5 - Datos de corrientes y mareas (promedio y máximas).

Específicamente para obtener los valores de potencia undimotriz, se emplearon datos comprendidos entre los años 2009 - 2012 para Caleta Paula y 2010 -2012 para Puerto Deseado, analizándose valores de alturas significativas, periodos picos y direcciones de las olas. Se empleó la expresión (2), de teoría espectral, adoptándose el coeficiente  $\alpha = 0.5$ , con un criterio conservador para realizar estas primeras estimaciones.

En referencia al potencial de las corrientes se estudiaron los datos de velocidades de corrientes, cedidos por la UNEPOsc [2], medidos en el puerto de Caleta Paula y los del Informe técnico N° 02/05 [1] determinados en Puerto Deseado, empleándose la expresión (3) para su cálculo.

Los valores finales se reflejan en la tabla II

	Potencial Corrientes mareas $\left[\frac{W}{m^2}\right]$	Potencial Undimotriz $\left[\frac{kW}{m}\right]$
Caleta Paula	4,09 a 63,93	5 a 6 kW/m
Puerto Deseado	883,8 a 4092	7 a 8 kW/m
San Julián	2512,9 a 63937,5	Sin datos
Santa Cruz	Sin datos	Sin datos
Río Gallegos	542,8 a 21743	Sin datos

TABLA II Valores del recurso oceánico costa patagónica

Cabe aclarar que en la citada tabla se menciona la desembocadura del río Santa Cruz, zona que cuenta con un puerto de aguas profundas y entendemos debe tener un gran potencial en estos tipos de aprovechamientos, el caudal está estimado en casi 800 m<sup>3</sup>/s, datos obtenidos de la Subsecretaría de Recursos Hídricos (SSRH), pero de la cual no se cuenta con datos específicos de otras variables, también podemos mencionar que en la cuenca de dicho río se construirán los Complejos Hidroeléctricos Néstor Kirchner y Jorge Cepernic, cuya licitación nacional fue adjudicada en el año 2013.

### Conclusiones

Con el objetivo de obtener nuevas fuentes de energía, que permitan tener mayor autonomía, diversificar la matriz, paliar el déficit de energía del país y a la vez disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub>, podemos decir que el océano es una fuente de

características potenciales que no debemos dejar de lado.

Entre las ventajas podemos mencionar alto potencial energético, que es factible predecir el estado de mar, sin embargo, la explotación de éste recurso es dificultosa ya que no se puede concentrar la energía en un punto para su extracción. Además el oleaje real es altamente aleatorio tanto en amplitud, fase y dirección de la ola, por lo tanto la potencia útil es totalmente aleatoria.

En nuestra región es necesario contar con una base de datos actualizada y precisa, conocer rango y frecuencia de los distintos periodos, alturas de olas presentes y direcciones. Una aproximación fiable permitirá proyectar y desarrollar equipos conversores que transforman en forma eficiente este potencial.

Los resultados, que se muestran en la tabla II exploran las posibilidades de esta fuente energética limpia y muy abundante en el litoral marítimo austral.

Se observa que difieren sustancialmente de valores publicados por otras instituciones, como por ejemplo las que se muestran en la figura 4 del WorldEnergy Council de la Unión Europea, ya que entendemos que dichos valores fueron obtenidos en función de la expresión ideal de Alry, donde el coeficiente es aproximadamente 1 y además los datos de los parámetros, altura y periodo, corresponden a valores medidos a centenares de kilómetros de la costa.

#### **Necesidades y propuestas:**

-Implementar un sistema de redes de mediciones para tener una serie extensa de datos climatológicos válidos y determinar en forma fehaciente el potencial del mar, tanto en el aspecto undimotriz como en el de corrientes marinas.

-Tener información actualizada y en detalle de la batimetría de las zonas en las cuales se pueden implementar aprovechamientos de estos tipos.

-Conformar grupos de investigación multidisciplinarios a fin de analizar el recurso y su posterior aprovechamiento, tanto en los aspectos tecnológicos, impacto ambiental y costos.

-Investigar y trabajar sobre el desarrollo de equipos, materiales, sistemas de transporte,

montaje y equipos de mantenimiento específicos para estas tecnologías.

-Contar con centros de investigación y desarrollo tecnológico para ensayar el equipamiento diseñado.

-Estudiar y analizar posibilidades de encontrar empresas que puedan invertir en el diseño y fabricación de estos tipos de equipos – Desarrollo de Polos tecnológicos.

-Estudiar e implementar una legislación que facilite la implantación de parques marinos y la conexión de estos a la red eléctrica.

#### **Referencias**

[1]“ESTUDIO DE CORRIENTES EN PUERTO DESEADO, PROVINCIA DE SANTA CRUZ”Departamento Oceanografía - Informe técnico N° 02/05 -Speroni O.J, Dragan W.C, Mazio C.A

[2] Datos de velocidades de corrientes marinas, olas y periodos de 1984 a 1988 - Construcción del Puerto Caleta Paula - UNEPOSC, SHN

[3] NOAA National Oceanic and Atmospheric Administration  
<ftp://polar.ncep.noaa.gov/pub/history/waves>

<http://polar.ncep.noaa.gov/waves/index2.shtml>

[4] “CARACTERIZACIÓN DEL RECURSO UNDIMOTRIZ EN EL LITORAL MARÍTIMO ARGENTINO”Das NevesGuerreiro R., Chandare, S., ,WorldEngineering Congreso, capítulo ECC, Buenos Aires, 17 al 20 de octubre del 2010.

[5] [www.wave-energy.net](http://www.wave-energy.net), 2008.

[6] CONGRESO DE ENERGÍAS RENOVABLES 2010 - Iberdrola — 2010

[7] Cartas del Servicio de Hidrografía Naval, 2008.SHN

[8]“WAVE ENERGY A DESIGN CHALLENGE” Shaw, R.Ellis Horwood Publ. 1990.

[9] Proyecto de Investigación UACO-UNPA PI 29B/125/1

“ANÁLISIS DE SISTEMA DE CONVERSORES FLUIDO-DINÁMICOS DE ENERGÍA RENOVABLE PARA LA PATAGONIA AUSTRAL DE ARGENTINA”. Proyecto de Investigación en ejecución 2011-2013.

[10] “AVANCES EN EL ESTUDIO

DE POTENCIAL DE GENERACIÓN MAREOMOTRIZ EN LA BAHIA DE SAN JULIÁN UTILIZANDO TURBINAS SUMERGIBLES” Ing. José González, Ing. Luis Villanueva, Dr. Gautam S. Dutt, Dr. Carlos Mazio, Ing. Rafael Oliva CONGRESO ASADES

[11]“PLANDEENERGIASRENOVABLES 2011-2020”pp 196 a 226 Instituto para el Desarrollo y Ahorro de la Energía2011

Secretaría de Estado de Energía - ESPAÑA

[12] “EVALUACIONDEL POTENCIAL DE LA ENERGIA MARINA ESTUDIO TECNICO PER 2011-2020” Instituto para el Desarrollo y Ahorro de la Energía 2011  
Secretaría de Estado de Energía - ESPAÑA



# Precipitaciones máximas en Puerto Madryn. Análisis de caso: Tormenta de abril 2014

María Jesús Chachero

## Resumen

Entre el 7 y el 8 de Abril de 2014, debido a un centro ciclónico de características inusuales, se generó una tormenta en la zona noreste del Chubut, provocando precipitaciones extraordinarias con intensidades máximas, de alta recurrencia.

Se exponen los resultados de análisis estadísticos realizados a precipitaciones máximas diarias de Puerto Madryn, evaluando la recurrencia de la precipitación ocurrida y la nueva relación funcional surgida de la incorporación de ésta a la serie disponible previamente.

Se recomienda emplear esta nueva relación ajustada, para la determinación de eventos de lluvia necesarios en estudios técnico y diseño de obras en la ciudad y áreas de influencia.

**Palabras clave:** Precipitación máxima, Período de retorno, registros pluviométricos.

## Abstract

Between the 7th and 8th of April 2014, a cyclonic center with unusual features generated an extraordinary storm in the northeast of Chubut, causing an intense rainfall with a very low-frequency maximum intensity.

The results of a statistical analysis of the maximum daily rainfall in Puerto Madryn are presented. The return period of the event has been assessed and a new functional relation has been developed including the event in the historical record.

The novel adjusted relationship is provided for the determination of rainfall needed in technical studies and the design of works in the city and surrounding areas.

**Key words:** maximum intensity, rain return, pluviometric records.

Título académico: Ingeniero Hidráulico y Civil – Master en Hidrología General y Aplicada. Cargo: Profesora Adjunta de Hidráulica I y II – Jefe Trabajos Prácticos Hidrología. Institución: Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. Dirección postal: Lezana 1035 (9100) Trelew Tel: 2804434210 – Cel: 2804403105. Fax: 2804436259. Correo electrónico: mjchachero@gmail.com.

## Introducción

Las precipitaciones ocurridas entre los días 7 y 8 de abril en Puerto Madryn, estuvieron asociadas a la presencia de un sistema de baja presión en niveles medios de la atmósfera sobre la porción este del sur del Océano Pacífico, entre los 20° y 40° de latitud sur. Este sistema, junto a la presencia de una masa de aire relativamente más húmeda y cálida sobre el centro y noreste de Argentina, la existencia de un sistema de baja presión en superficie sobre la región noroeste de Argentina, y el aporte de humedad por vientos en dirección este sobre la Patagonia, favorecieron las condiciones de inestabilidad atmosférica, provocando la ocurrencia de varias tormentas de diferentes intensidades en el norte de la Patagonia y la región central y este de Argentina. Entre el 7 y el 8 de abril, este sistema se desplazó hacia el noreste de la Patagonia y se desarrolló un sistema de baja presión en superficie sobre dicha región, generando eventos de abundantes precipitaciones.

En este trabajo se plantea una revisión en profundidad de las leyes que asocian precipitaciones a frecuencias o períodos de retorno, incorporando además los nuevos registros que se





han producido.

Al efecto, se recabó información del Servicio Meteorológico Nacional y del Centro Nacional Patagónico, contando con series de precipitación máxima en 24 horas, de 24 años (1991-2014) el primero y 17 años (1998-2014) más dos años (1991 y 1992) el segundo.

Asimismo, para esta tormenta en particular, se cuenta con algunos registros de diferentes duraciones, que también serán analizados a través de las ecuaciones regionales disponibles. La lluvia máxima en 24 horas alcanzó los 116 mm (SMN) sólo superada por la tormenta de 1998, donde el registro fue de 143.9 mm para ese mismo período. También cabe destacar otros registros para diferentes duraciones, como son 16 milímetros en 15 minutos, 41 milímetros en 50 minutos y 100mm en 10 horas.

Con la introducción de los nuevos datos de lluvias máximas ocurridas se obtienen nuevas relaciones funcionales, algo distintas a las hasta hoy existentes en términos de períodos de retornos asociados. La interpretación y uso de las expresiones que resulten, deben hacerse en el marco estricto de las hipótesis del método probabilístico, con sus limitaciones y restricciones.

## Objetivos

Analizar el período de recurrencia asociado a la tormenta de los días 7 y 8 de abril de 2014 y actualizar las ecuaciones de tormenta (Precipitación - Recurrencia) en la ciudad de Puerto Madryn y área de influencia.

## Metodología

El conocimiento de las características de las precipitaciones intensas es de gran importancia para el dimensionamiento de obras hidráulicas tales como canales, vertederos, presas, etc. Las relaciones entre Intensidad - duración - Recurrencia de las precipitaciones, deben ser deducidas a partir de observaciones de precipitaciones ocurridas durante un largo período de tiempo. En este trabajo, por no contar con información de precipitación para diferentes duraciones, sólo se pretende establecer

la recurrencia asociada a la precipitación máxima diaria.

## Recopilación y valoración de antecedentes

Como material base se utilizó la información pluviométrica de la Estación del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), ubicada en el Aeropuerto de Puerto Madryn y de la Estación del Centro Nacional Patagónico (CenPat), distantes aproximadamente 9 km, caracterizando la primera el ambiente de meseta y la segunda la zona de la ribera oceánica.

La información pluviométrica analizada, es la precipitación máxima en 24 horas, correspondiendo a la del SMN, el período 1991-2014 y al CenPat, el período 1998/2014, con información adicional de dos años (1991-1992).

Se procedió a realizar un análisis de correlación a nivel de información mensual entre ambas estaciones, y los resultados fueron altamente satisfactorios. Merece un comentario la validez del empleo de una correlación realizada con valores mensuales para completar una serie de valores diarios. Se procedió de ese modo en un intento de aprovechar al máximo la información disponible. Asimismo, se efectuó la correlación de los máximos diarios anuales de ambas estaciones, en este caso son sólo 19 pares de valores, obteniéndose un coeficiente de correlación  $r = 0,96$ . De este modo, se agregan a la serie del CenPat, los 5 años adicionales de información del SMN, totalizando de este modo, los 24 años ambas series.

## Análisis de la información

Como primera medida, se efectúa un análisis de consistencia de la información, descartando datos erróneos o poco confiables. En el análisis estadístico de lluvias máximas suelen emplearse modelos de series anuales de máximos, con lo que sólo se considera el mayor valor de cada uno de los años con datos, y métodos paramétricos que utilizan diversas leyes de distribución cuyos parámetros son ajustados a partir de los datos. ([1] Ferrer Polo, 1993)

Esta modelación requiere la elección de:

Ley de distribución de la población.

Método de estimación de parámetros.

Para asignar la frecuencia a la información

disponible, se empleó la expresión de Gringorten:

$$F_{exp} = \frac{m - 0,44}{n + 0,12} \tag{1}$$

Siendo m, el número de orden del valor considerado dentro de la serie de n valores.

Dentro de un amplio conjunto de posibilidades, los modelos elegidos en este trabajo se resumen en la tabla 1, ecuaciones (2) a (5).

Para utilizar estos modelos probabilísticos, se deben calcular sus parámetros, que según las diferentes funciones, son los que se indican en la Tabla 1:

En la distribución de Gumbel (2), los parámetros son  $x_0$  y  $\alpha$  que mediante el método de los momentos se determinan con las expresiones (6) y (7):

$$x_0 = \bar{x} - 0.45 \cdot \sigma \tag{6}$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} \cdot \sigma \tag{7}$$

Siendo  $\bar{x}$  y  $\sigma$ , la media y el desvío de la va-

riable x.

La distribución SQRT-ET<sub>MAX</sub>(3), originalmente propuesta en el contexto de precipitaciones máximas en Japón, ha venido siendo recomendada por la Dirección General de Carreteras de España, para la modelización de las precipitaciones máximas ([2] Ferrer Polo y Ardiles, 1994). La estimación directa de los parámetros de la función SQRT-ET<sub>MAX</sub>(3) no se puede hacer de forma analítica, ya que F(x) carece de primitiva conocida. Por esto, se debe realizar de forma aproximada mediante métodos numéricos. ([3] Sáez Castillo, 2009; [4] Zorraquino Junquera, 2004)

Los parámetros de la distribución de valores extremos generalizada, GEV (4), ajustan el dominio según:

$$\begin{aligned} k < 0 & \quad x > \mu + \frac{\alpha}{k} \\ k > 0 & \quad x < \mu + \frac{\alpha}{k} \end{aligned} \tag{8}$$

En la distribución Log Pearson tipo III (5) el parámetro de posición  $x_0$ , cumple:

$$\begin{aligned} x_0 & \leq x < \infty \\ -\infty & < x_0 < \infty \end{aligned} \tag{9}$$

Mientras que los parámetros de forma (r) y de escala ( $\alpha$ ), están definidos entre 0 e infinito.

Determinando los parámetros mediante el

Distribución	F(x) o f(x)	Parámetros	Métodos de ajuste
Gumbel	$F_{(x)} = \exp\left[-\exp\left(-\frac{x-x_0}{\alpha}\right)\right]$ (2)	$x_0$ Localización $\alpha$ Escala	Momentos Mom.Ponderados Máx.Verosimilit.
SQRT ETMAX (3)	$F_{(x)} = \exp\left[-k \cdot (1 + \sqrt{\alpha \cdot x}) \cdot \exp(-\sqrt{\alpha \cdot x})\right]$ (3)	k Forma $\alpha$ Escala	Máxima Verosimilitud
GEV (Valores extremos generalizados)	$F_{(x)} = \exp\left[-\left(1 - k \frac{x-x_0}{\alpha}\right)^{\frac{1}{k}}\right]$ (4)	$x_0$ Localización k Forma $\alpha$ Escala	Momentos Mom.Ponderados Máx.Verosimilitud
Log-Pearson III (5)	$f_x = \frac{1}{\alpha \cdot \Gamma(r)} \cdot (x-x_0)^{r-1} \cdot \exp\left(-\frac{x-x_0}{\alpha}\right)$ (5)	$x_0$ Localización r Forma $\alpha$ Escala	Momentos

Tabla 1: Definición de Modelos Estadísticos



método de los momentos, resulta:

$$x_0 = \bar{x} \cdot \ln x - \frac{2\sigma_{\ln x}}{C_{\ln x}} \quad (10)$$

$$r = \frac{4}{C_{\ln x}^2} \quad (11)$$

$$\alpha = \frac{C_{\ln x} \cdot \sigma_{\ln x}}{2} \quad (12)$$

Siendo respectivamente  $\bar{x}$ ,  $\sigma_{\ln x}$  y  $C_{\ln x}$  la media, la el desvío y el sesgo del logaritmo natural de la variable  $x$ .

### Pruebas de bondad del ajuste

Las pruebas de bondad de ajuste, son métodos de cálculo, que otorgan elementos de juicio con la finalidad de discernir si una ley de distribución teórica de probabilidades representa adecuadamente la muestra de la población analizada. ([5] Orsolini et al, 2000)

Consisten en comparar gráfica y estadísticamente, si la frecuencia empírica de la serie analizada, se ajusta a una determinada función de probabilidades teórica, seleccionada a priori, con los parámetros estimados con base en los valores muestrales.

Las pruebas estadísticas, tienen por objeto medir la certidumbre que se obtiene al hacer una hipótesis estadística sobre una población, es decir, calificar el hecho de suponer que una variable aleatoria, se distribuya según una cierta función de probabilidades.

En este trabajo se han empleado para este fin, el Análisis gráfico, que consiste en comparar gráficamente la función acumulada de la serie de datos, con la función acumulada teórica. La función teórica que más se apegue visualmente a los datos medidos será la de mejor ajuste.

### Ecuación de lluvia

Como no se dispone de información pluviográfica se aplicará la ecuación regional de lluvia para verificar la frecuencia asociada a algunos eventos medidos de muy fuerte intensidad.

La ecuación regional de lluvia se determinó para la ciudad de Trelew ([6] Chachero, MJ 2012), pero observando las tablas de precipitación asociada a recurrencia de ambas ciudades,

no se encuentran mayores diferencias. Puede suponerse que si las precipitaciones de 24 hs de duración son similares, también lo serán las de menor duración.

El mejor ajuste se ha obtenido para períodos de retorno iguales o menores a 100 años, considerándose que estas ecuaciones son suficientemente adecuadas para los problemas de diseño más usuales.

La ecuación resultante es (13):

$$i = \frac{135.61 * T^{0.3204}}{d^{0.649}} \quad (13)$$

Donde  $i$  es la intensidad en mm/h;  $T$  es la recurrencia en años y  $d$  la duración en minutos. ([7] Monsalve Sáenz, 1999)

### Resultados

Precipitación Máxima diaria:

Los registros del Centro Nacional Patagónico aportan información de las máximas mensuales del período 1983 – 2014.

Obsérvese que los mayores valores se presentan entre octubre y mayo, resultando los meses de invierno, libres de registros extraordinarios.

Los valores de precipitación máxima diaria para cada mes, son los indicados en la tabla 2.

Tabla 2: Precipitación Máxima Diaria (mm)

		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
CenPat	1983-2014	31.6	49.6	47	143.9	77.6	33.1
		1983	1992	1983	1998	1992	1997
		Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
CenPat	1983-2014	25.8	27.1	26.3	63.6	32.8	59.7
		1991	1999	1999	1985	1999	1991

### Determinación de la lluvia diaria máxima

Para el análisis estadístico de lluvia diaria máxima se empleó un modelo de serie anual de máximos, con lo que sólo se considera el mayor valor de precipitación diaria de cada uno de los años con datos, totalizando una serie de 24 valores.

Esta modelación requiere la elección de:  
Ley de distribución de la población.

**Método de estimación de parámetros.**

Dentro de un amplio conjunto de posibilidades, los modelos elegidos en este trabajo son los que se resumen en la tabla 1.

Para asignar la frecuencia a la información disponible, se empleó la expresión de Gringorten (1)

El software aplicado es el CHAC, diseñado por el Centro de Experimentación de Obras Públicas de España (Cedex) y disponible en Internet.

En las tablas 3 y 4 se resumen los resultados de los diferentes ajustes para ambas estaciones

**Tabla 3: Precipitación Máxima Diaria (mm) según diferentes Funciones de Distribución (CenPat)**

T	Gumbel			SQ_RT	GEV			LPIII
	Mom	ML	PWM		Mom	ML	PWM	
2	32	34	34	32	30	30	30	
5	54	50	55	48	54	48	49	
10	70	60	66	60	70	65	67	
25	94	74	86	77	94	96	97	
50	114	84	99	91	114	132	129	
100	136	94	112	107	136	178	167	
200	161	104	124	123	161	140	217	
500	197	117	141	145	197	257	298	
1000	229	127	154	162	229	481	382	

**Tabla 4: Precipitación Máxima Diaria (mm) según diferentes Funciones de Distribución (SMN)**

T	Gumbel			SQ_RT	GEV			LPIII
	Mom	ML	PWM		Mom	ML	PWM	
2	36	36	36	34	34	33	33	
5	59	53	57	52	55	52	53	
10	75	64	71	66	72	69	70	
25	95	79	89	86	95	97	98	
50	110	89	102	102	115	124	124	
100	124	100	115	119	136	157	154	
200	139	111	127	137	160	198	189	
500	158	125	144	163	195	268	243	
1000	172	135	157	184	225	336	297	

**Pruebas de bondad del ajuste**

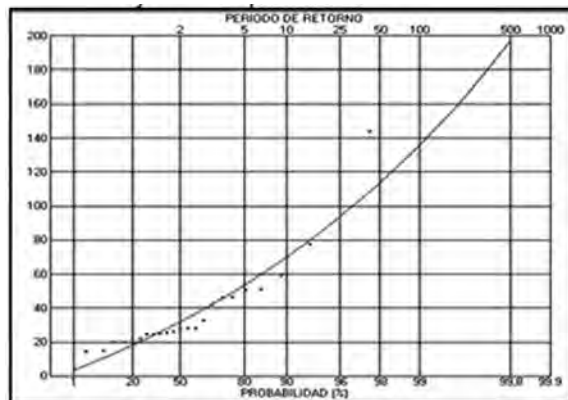
Se observa que para recurrencias bajas la diferencia entre una y otra función no es demasiado importante, mostrándose significativa para períodos de retorno mayores a 100 años. Es por esto que se debe seleccionar la de mejor ajuste. En este trabajo se empleó el Análisis gráfico para este fin.

Consiste en dibujar las funciones junto con los puntos medidos. La que más se apegue visualmente a los datos medidos será la de mejor ajuste.

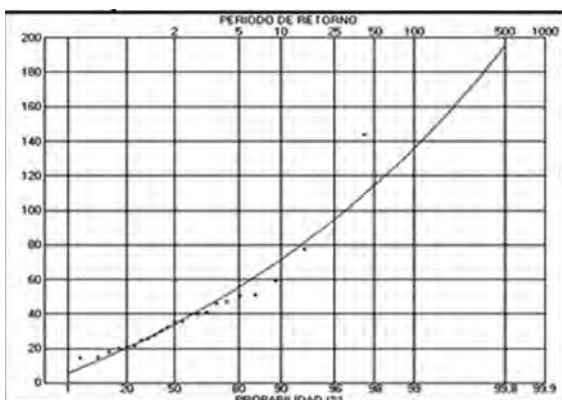
Con este criterio se seleccionaron las funciones de Valores extremos Generalizados, GEV (4), ajustando los parámetros por el método de los momentos, que resultaron las más significativas para ambas estaciones y sus resultados apare-

cen grisados en las tablas (3) y (4). Los resultados se observan en los gráficos (1) y (2).

**Gráfico 1: Ajuste Precip.Máx.Diaria.GEV – CenPat**



**Gráfico 2: Ajuste Prec. Máx. Diaria. GEV – SMN**



**Incorporación de la tormenta de Abril de 2014**

Con la incorporación a los registros de ambas estaciones, de la tormenta en estudio (abril 2014), las nuevas relaciones funcionales resultan las indicadas en las tablas (5) y (6).

**Tabla 5: Precip. Máx. Diaria (mm) según diferentes Funciones de Distribución considerando tormenta abril 2014(CenPat)**

T	Gumbel			SQ_RT	GEV			LPIII
	Mom	ML	PWM		Mom	ML	PWM	
2	36	35	36	33	34	31	31	
5	61	53	59	51	57	51	53	
10	78	65	74	64	75	72	72	
25	99	80	93	84	98	111	105	
50	114	91	107	100	119	154	138	
100	130	102	121	117	141	213	175	
200	145	113	135	135	164	295	225	
500	166	128	153	161	198	454	309	
1000	181	139	167	181	227	823	384	

**Tabla 6: Precip. Máx. Diaria (mm) según diferentes Funciones de Distribución considerando**





tormenta abril 2014(SMN)

T	Gumbel			SQ_RT	GEV			LP(II)
	Mom	ML	PWM		Mom	ML	PWM	
2	38	38	38	35	36	34	34	34
5	63	57	62	56	60	56	56	57
10	80	70	77	71	78	76	75	76
25	102	86	97	93	102	110	106	106
50	117	97	112	111	122	145	136	137
100	133	108	126	130	143	189	171	171
200	146	121	140	151	166	246	215	211
500	169	137	160	180	199	347	288	272
1000	185	148	174	203	227	446	359	332

Pruebas de bondad del ajuste

En este caso, ya las diferencias son más notorias, aún para recurrencias bajas. Se selecciona el mejor ajuste, por el método gráfico.

Con este criterio se seleccionaron las funciones de Valores extremos Generalizados, GEV (4), ajustando los parámetros por el método de los momentos, que resultaron las más significativas para ambas estaciones y sus resultados aparecen grisados en las tablas (5) y (6). Los resultados se observan en los gráficos (3) y (4)

Gráfico 3: Ajuste Precip. Máx.Diaria. GEV – CenPat

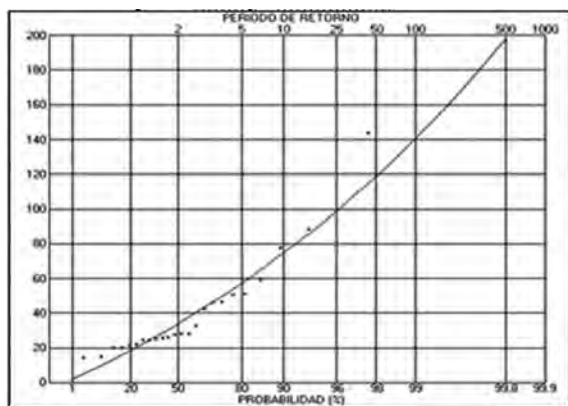
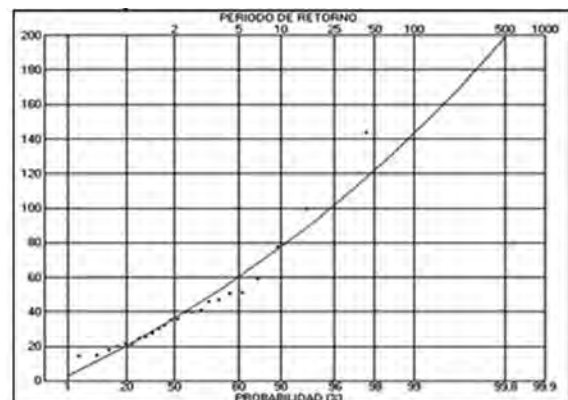


Gráfico 4: Ajuste Prec. Máx. Diaria. GEV – SMN



Análisis de resultados

Precipitación Máxima Diaria y Recurrencia

Asociada

Se analiza separadamente la frecuencia esperada para la tormenta de abril de 2014, antes de que la misma sucediera y luego se incorpora la información a los registros a fin de modificar las relaciones funcionales que vinculan precipitaciones y recurrencias.

En todos los casos la función que brindó un mejor ajuste fue la de Valores Extremos Generalizados, con ajuste de parámetros a través del método de los momentos.

Dicha función se expresa según se vio en (4)

$$F_{(x)} = \exp \left[ - \left( 1 - k \frac{x - x_0}{\alpha} \right)^{1/k} \right]$$

Siendo los parámetros  $x_0$  localización;  $\alpha$  escala y  $k$  forma

Calculados los parámetros mediante el programa CHAC, resulta para el análisis del tiempo de recurrencia esperado, de la tormenta de abril, según se empleen los datos del CenPat o del SMN:

CenPat:

$x_0$	25,77
alfa	16,5
beta	-0,154

Aplicando la expresión (4) resulta  $F = 98.12 \%$  Y teniendo en cuenta que

$$T = \frac{1}{1 - F_{(x)}}$$

Resulta

$T = 53$  años.

SMN

$x_0$	27,92
Alfa	16,37
Beta	-0,149

Aplicando la expresión (4) resulta  $F = 98.09$  resultando  $T = 53$  años.

Con esto se concluye que la tormenta de abril de 2014, tenía una recurrencia asociada de 53 años.



Una vez que se incorporan los registros a la serie de datos anterior, se calculan las nuevas relaciones funcionales, resultando los siguientes parámetros para las estaciones del CenPat y del SMN:

CenPat:	
xo	27,22
alfa	18,3
beta	-0,123
SMN	
xo	29,42
alfa	18,88
beta	-0,112

A modo de ejemplo, se calcula nuevamente la recurrencia asociada a la precipitación de abril de 2014, resultando ahora del orden de los 41 años contando con la información del CenPat y de 45 años con la del SMN.

### Ecuación de lluvia

Como no se dispone de información pluviográfica se aplicará la ecuación regional de lluvia para verificar la frecuencia asociada a algunos eventos medidos de muy fuerte intensidad.

La ecuación resultante es (13)

$$i = \frac{135.61 * T^{0.3204}}{d^{0.649}}$$

Donde i es la intensidad en mm/h; T es la recurrencia en años y d la duración en minutos. ([7] Monsalve Sáenz, 1999)

Los eventos registrados son los siguientes: 16 milímetros en 15 minutos, 41 milímetros en 50 minutos y 100 mm en 10 horas. Esto significa una intensidad de 64 mm/hora para el primero, 49.2 mm/h para el segundo y 10 mm/h para el tercero.

Teniendo en cuenta las duraciones de cada uno, resultan períodos de recurrencia asociados de 24 años, 119 años y 125 años respectivamente.

Es de hacer notar, que un aguacero de 10 hs de duración, con un período de recurrencia de 125 años es un evento fuertemente extraordinario.

### Conclusiones

En el análisis de resultados se concluyó que la tormenta de abril de 2014, tenía una recurrencia asociada de 53 años. Cuando la misma se incorpora a los registros, dicha tormenta se asocia a una recurrencia mucho menor, del orden de 41 a 45 años.

La actualización de las ecuaciones de tormentas para Puerto Madryn y su zona de influencia, efectuada con la incorporación de los datos de la tormenta extraordinaria de abril de 2014 modifica sensiblemente los parámetros de las funciones de ajuste, disminuyendo las recurrencias o períodos de retorno de los pares de valores P-d de una tormenta sintética dada.

Estas nuevas relaciones ajustadas, son las que se recomienda utilizar en la determinación de tormentas de diseño para obras en la ciudad y áreas de influencia.

### Referencias

[1] FERRER POLO, Francisco(1993). *Recomendaciones para el cálculo hidrometeorológico de avenidas*. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. Gabinete de Formación y Documentación. Madrid, España.

[2] FERRER POLO, Francisco y ARDILES, Liana(1994). *Ingeniería Civil 95*. Análisis estadístico de las series anuales de máximas lluvias diarias en España. Madrid, España.

[3] SÁEZ CASTILLO, A. (2009). *Informe Técnico. Departamento de Estadística e Investigación Operativa, Universidad de Jaén*. Modelización estocástica de precipitaciones máximas para el cálculo de eventos extremos a partir de los períodos de retorno.

[4] ZORRAQUINO JUNQUERA, Carlos (2004). *Revista de Obras Públicas 3447*. El modelo SQRT-ETMAX. Madrid, España.

[5] ORSOLINI, Hugo, ZIMMERMANN, Erik, BASILE, Pedro (2000). *Hidrología: Procesos y Métodos*. UNR Editora. Rosario

[6] CHACHERO, María Jesús(2012). *Cuadernos del Curiham 18*. Estudio de Precipitaciones en la ciudad de Trelew, Análisis Estadístico y Ecuación de Lluvia.FCEIA (UNR) Rosario, Santa Fe. ISSN 1514-2906.

[7] MONSALVE SÁENZ, Germán(1999).



*Hidrología en la Ingeniería.* Alfaomega. Santafé de Bogotá. Colombia.



# Biomimetismo: Imitando a la madre naturaleza

Rodrigo E. Taboada<sup>1,2</sup>, Dr. Eduardo A. Favret<sup>3</sup> y Dr. Adrián M. Canzian<sup>2</sup>

## Resumen

En el presente trabajo se introduce el concepto de biomimetismo, su origen y sus principales aplicaciones. Se plantean diferentes ejemplos del mismo, abocando la investigación en el efecto “Hoja de Loto” y la cutícula del bicho toro (*Diloboderus abderus*). Se presentan los resultados de ángulos de contacto estático, medidos en aluminio, acero SAE 1045 e inoxidable 316 L. Se realiza un estudio topográfico de una superficie para su aplicación en una herramienta agrícola, midiendo el ángulo de contacto estático y la superficie jerárquica generada para imitar a la hoja de loto. Todo lo anterior permitió la presentación de una patente en el campo de las herramientas agrícolas.

## Abstract

In this paper the concept of biomimicry, its origin and its main applications, are introduced. This work inform different examples of this discipline, focusing on the “Lotus Effect” and the cuticle of the *Diloboderus abderus*. Results of static contact angles measured on aluminum, SAE 1045 and stainless steel 316 L, are reported. A topographic survey of an area, for use in an agricultural tool, is performed by measuring the static contact angle and the hierarchic surface generated, presented for mimic the lotus leaf. All this led to the filing of a patent in the field of agricultural tools.

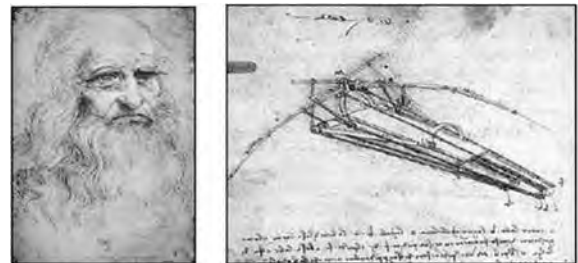
**Palabras clave:** Biomimetismo, Mojabilidad, Ángulo de contacto estático, Acero Inoxidable, Aluminio, Acero al carbono.

## 1. Introducción

Hace años que la naturaleza ha sido utilizada como fuente de inspiración, desde Leonardo Da

1. UNSAM, Instituto Sabato. rdgtaboada@gmail.com
2. UTN. FRGP. Dto. Ingeniería Mecánica. Grupo de Caracterización y Modelización de Materiales. eafavret@cni.inta.gov.ar.
3. INTA, Instituto de Suelos-CONICET. amcanzian@yahoo.com.ar.

Vinci (circa 1500) estudiando el vuelo de los pájaros y su diseño del Ornitóptero (figura 1). Incluso los hermanos Wright con sus prototipos de máquinas voladoras.



**Figura 1:** Leonardo Da Vinci: El padre del biomimetismo.

Otro claro ejemplo fue la invención del Velcro (VELours-CROchet) por el ingeniero suizo George de Mestral (1950), un mecanismo de cierre tan usado hoy día por el hombre, su desarrollo surgió de analizar la adherencia del abrojo en la pelambre de su perro (sistema de cierre denominado “hook-loop”). Observando los mecanismos de adaptación de la víbora de cascabel, se diseñó parte de la teoría de los sensores de infrarrojo. El estudio de la semilla de la tipa (*Tipuana tipu*) facilitó el diseño de nuevos paracaídas [1].

El estadounidense J. Steele y el alemán O. Schmitt, en las décadas de 1950 y 1960, propusieron los términos Biónica y Biomimetismo para

describir una nueva ciencia interdisciplinaria que estaba surgiendo y que englobaba el estudio de sistemas biológicos para el desarrollo de nuevas tecnologías. El biomimetismo/biónica se puede resumir como el diseño, construcción, evaluación y mantenimiento de sistemas artificiales que imiten sistemas vivos o bien se inspiren en ellos.

### 1.1. Nuevos diseños

Esta abundancia de diferentes diseños eficaces y multifuncionales en la naturaleza se debe a los 3.8 mil millones de años de evolución y de acuerdo a la teoría de evolución de Darwin, los organismos que mejor se adaptan a su entorno, son los que sobreviven, mientras que los que no desarrollan una capacidad adaptativa coherente con el entorno, perecen.

Si bien, desde siempre la humanidad ha intentado copiar y adaptar los diseños para su beneficio, solo en años recientes, gracias a los avances tecnológicos y el desarrollo alcanzado con las diversas técnicas de caracterización, es que se ha podido desentrañar y ingeniar estos nuevos diseños. Vale destacar los siguientes:

#### 1.1.1. Textil

El mecanismo de apertura de las brácteas del fruto o cono del pino cuando se seca ha llevado a la industria textil a diseñar nuevas vestimentas para uso militar. El mecanismo es el siguiente, las brácteas se mantienen cerradas cuando el cono está en el árbol, a medida que madura y se seca dichas brácteas se abren, el cono cae y las semillas se liberan. Las brácteas consisten en capas de dos materiales distintos que reaccionan de distinta forma a la humedad. Cuando el cono se seca, las brácteas tienden a doblarse, puesto que uno de los lados se expande más que el otro [2]. Este efecto fue mimetizado en sentido inverso, creando un tejido textil de multicapas con numerosas ventanitas o "flaps", que se abren automáticamente cuando la persona que la viste comienza a sudar. Cuando la piel retorna a su humedad natural, se cierran. Una vestimenta con esta propiedad es considerada muy útil para personal militar destinado a zonas cálidas.

Existen muchos trabajos que se enfocaron en la funcionalidad de la piel de tiburón, por ejemplo, puede nadar más rápido gracias a que disminuye

el arrastre del agua con su piel. Esto se debe a la forma de las escamas del tiburón, la cual presenta también una estructura jerárquica. Una de las mayores aplicaciones fue su utilización en indumentaria deportiva. Es el caso de la empresa Speedo, en cooperación con la NASA, fabricaron trajes de baño aplicando este efecto [1]. Como se explicó anteriormente, la forma de las escamas reduce la fricción en el agua. Inspirado en esta funcionalidad se diseñaron diferentes trajes de baño, en las Olimpiadas de Sydney 2000 de las 33 medallas de Oro ganadas, 27 fueron obtenidas con este nuevo diseño.

#### 1.1.2. Aerodinámica

El efecto piel de tiburón, además tiene otras ventajas, permite reducir el arrastre del viento sobre la superficie de los aviones. De esta manera se logró una disminución del consumo de combustible del mismo. La compañía Airbus ha diseñado el 70 % de la superficie externa de sus aviones copiando la piel acanalada del tiburón, logrando reducir el consumo de combustible en un 3 % y el costo operativo en 1 %. No solo se diseñan los aviones valiéndose del efecto piel tiburón sino que también, de la fisonomía del mismo. Para ello, en el extremo del ala se emplean Winglets o Sharklet que reducen la turbulencia, de esta manera se logra un ahorro de un 4 % de combustible.

#### 1.1.3. Medicina

La piel del tiburón posee características interesantes que detallamos a continuación:

1. El flujo acelerado de agua sobre la superficie de un tiburón reduce el tiempo de contacto de los organismos.

2. La rugosidad (Nano-textura) de la piel de tiburón reduce el área disponible para que los microorganismos se fijen y crea una superficie inestable para el crecimiento de los mismos.

3. Eventualmente las escamas se alinean o flexionan en respuesta a los cambios internos o externos de presión, cuando el tiburón se mueve por el agua, creando un movimiento inestable para los microorganismos.

Estas características resultan muy atractivas para los hospitales, donde se está en contacto con virus y bacterias nocivas. De esta manera, la em-

presa Sharklet, diseñó un polímero con la topografía de la superficie similar a la piel del tiburón, que se aplica en las cerraduras antipánico y/o en otras superficies de contacto manual, ya que reduce la tasa de crecimiento de bacterias, como *Staphylococcus aureus*, *MRSA*, *VRE*, y *E. coli* [3], [4].

#### 1.1.4. Arquitectura

En Harare, Zimbabwe, el arquitecto Michael Pearce diseñó el centro comercial Eastgate, inspirado en el nido de las termitas *Macrotermes michaelseni*. En efecto, dentro del nido, la temperatura debe estar regulada entre 30°C y 32°C durante todo el día; a pesar de la variación térmica del exterior (3°C a 42°C).

Durante las horas de sol, las termitas realizan pequeñas aperturas en la parte húmeda inferior del nido, permitiendo que el aire se vaya calentando a medida que asciende por la chimenea (refrigeración por evaporación). Al igual que un termitero, el centro comercial está totalmente ventilado, refrigerado y calefaccionado por métodos naturales. Las paredes exteriores del edificio son gruesas de mampostería y posee un atrio de siete pisos de altura en su interior. El aire exterior ingresa a través de múltiples ventilaciones y la masa del edificio lo calienta o lo enfría en función de cuál esté más caliente: el hormigón de la estructura o el aire. Esto permitió un ahorro del consumo de energía del 35%.

#### 1.1.5. Agro Industria

Trabajos recientes afirman que es posible disminuir la adherencia del suelo en una herramienta agraria, utilizando diferentes técnicas, tanto mecánicas como de diseño [5] [6]. Es aquí donde se evoca el concepto de biomimetismo. Algunos autores reportan que la modificación de la topografía de la superficie de un arado, inspirada en la cutícula de un escarabajo (*Copris ochus motschulsky*) permite reducir en, aproximadamente, un 30% el consumo de energía. Reducir la adhesión de la tierra en el herramienta tiene un gran impacto no solo ecológico sino también económico, ya que permitiría reducir el consumo de combustible y los tiempos de labranza. Según investigaciones recientes, el 50% de la energía se pierde debido a la adherencia del suelo a la her-

ramienta. Por lo tanto resulta importante encontrar una alternativa que permita mejorar el proceso.

Al realizar observaciones de la cutícula de un insecto de suelo (Bicho Toro), mediante microscopía SEM, se encontró la existencia de dos escalas de rugosidades. Además, siendo la naturaleza tan sabia, esta estructura jerárquica se presenta, de manera similar, en la hoja de loto, demostrando que esa es una de las vías para reducir la adherencia. En ambos casos se puede identificar una macro y una microrugosidad. Mamdouh et al. [7] informaron que la condición de superhidrofobicidad de una superficie de oro, puede ser modificada regulando esta estructura jerárquica. Basado en lo anterior, y mediante la modificación topográfica (macrorugosidad), se presentó la solicitud de una patente para un herramienta agrícola.

Por otra parte, Qian et al. [8] generaron superficies superhidrofóbicas en aluminio, cinc y cobre, a partir de un ataque químico y del recubrimiento por un polímero. Ahora bien, si la superficie tiene que estar en contacto con el suelo, el polímero se degrada inmediatamente. Por lo tanto, se decidió investigar la mojabilidad en aluminio, SAE 1045 e inoxidable 316 L, a partir de la utilización de un ataque químico para generar una microrugosidad.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Materiales

#### 2.1.1. Aluminio

Las probetas de aluminio utilizadas tenían 15 mm x 20 mm x 5 mm de tamaño. Las mismas fueron desbastadas con paños de 65 µm hasta 2 µm. El ataque químico utilizado, fue 47% ácido nítrico, 3% ácido fluorhídrico y 50% agua destilada, variando el tiempo de exposición de las superficies. A todas las muestras se le hizo un depósito de oro mediante la descarga en atmósfera de Argón 99,999% con presión de llenado de 0.15 milibares y una corriente de 120 mA durante 30 s.

#### 2.1.2. SAE 1045

En este caso las probetas, de 7mm x 12mm x 5 mm, provenían de un acero 1045 laminado con enfriamiento controlado, provisto por la compañía PANAMERICANA DE ACEROS SA. Se le reali-

zaron estudios metalográficos que indicaron que el acero tenía un tamaño de grano de 6,5 (Norma ASTM E112) y una dureza de 53 Rockwell A (145 Brinell). Las muestras fueron desbastadas con papel de lija al agua hasta 15  $\mu\text{m}$ . Para el ataque químico se utilizó una solución de 300 ml de agua destilada y 30 g de Amonio Persulfato. El tiempo de ataque se varió hasta 5 minutos en intervalos de 5 segundos. A estas probetas se le realizó, en las mismas condiciones que el aluminio, un recubrimiento de oro.

### 2.1.3. AISI-SAE 316 L

El acero inoxidable austenítico 316L, del cual se tomaron probetas, se encontraba laminado en planchuela. El mismo fue provisto por la compañía S.I.P.I (Italia). La metalografía reveló un tamaño de grano 9 (Norma ASTM E112), con un promedio de 3970 granos/mm<sup>2</sup>. Las probetas tenían un tamaño de 10 mm x 15 mm x 3 mm, las mismas fueron desbastadas con papel de lija al agua hasta 3  $\mu\text{m}$ . En este caso se utilizó el reactivo Marble, el cual se compone de 50 ml HCl, 50 ml H<sub>2</sub> y 10 g CuSO<sub>4</sub>. En este caso se atacó las muestras hasta 15 minutos, abarcando distintos tiempos.

## 2.2. Métodos

Para todos los casos se utilizó, para establecer la condición de mojabilidad, el ángulo de contacto estático. Tanto para el aluminio como el SAE 1045, se obtuvo a partir de los perfiles medidos, con un medidor de perfiles, para gotas de 5  $\mu\text{l}$  de agua destilada aplicadas con una micropipeta Huagei 5G. En cambio para el acero inoxidable 316L se utilizó un microscopio digital (Digital Microscope), montado en un dispositivo, construido a tal efecto. A partir de las imágenes obtenidas con el mismo y con la ayuda del programa GIMP 2.8.10 se obtuvieron los respectivos ángulos de contacto.

## 3. Resultados y discusión

### 3.1. Aluminio

A continuación, en la figura 2, presentamos los resultados obtenidos para el aluminio.

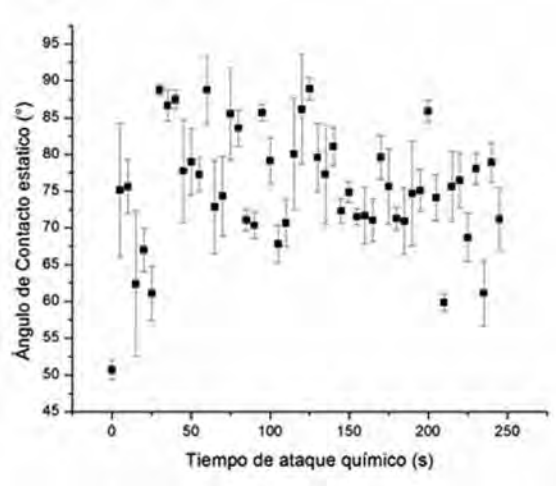


Figura 2. Ángulos de contacto estático en función del tiempo de ataque químico para el aluminio.

De la figura se aprecia una oscilación en los valores del ángulo de contacto estático, con valores máximos próximos a los 90° y los valores mínimos cercanos a los 60°.

### 3.2. SAE 1045

En la figura 3, se muestran los resultados obtenidos para este acero.

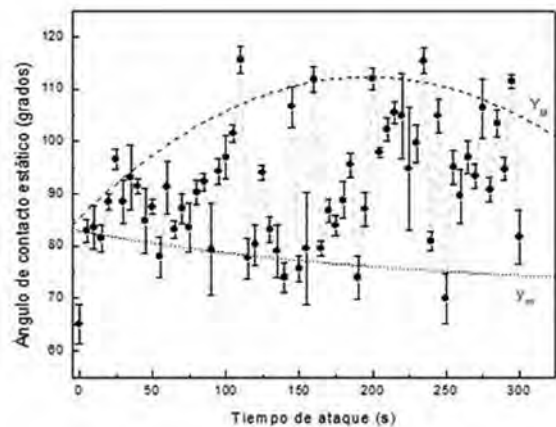


Figura 3. Ángulos de contacto estático en función del tiempo de ataque químico para el SAE 1045.

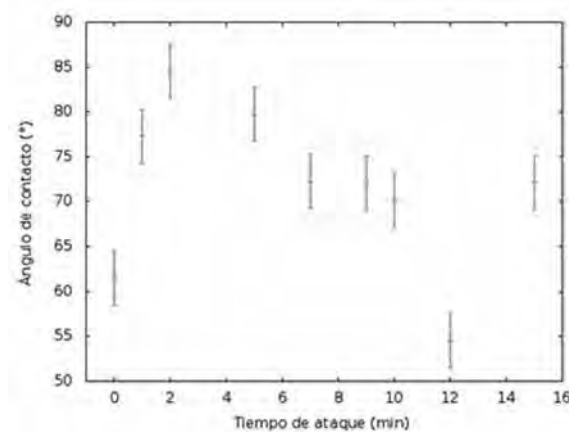
En este caso se puede ver, también, como los valores de los ángulos alternan entre máximos y mínimos. Como se aprecia del gráfico, los valores máximos rondan los 110°, es decir, corresponden a una situación de hidrofobicidad. En el caso de los valores mínimos, mayores a la probeta sin ataque químico pero menor a 90°, se encuentran en una situación de hidrofiliadad. Estos resultados son muy prometedores para ser aplicados en



la púa.

### 3.3. AISI-SAE 316 L

A continuación presentamos en la figura 4 los resultados obtenidos para el acero inoxidable.



**Figura 4.** Ángulos de contacto estático en función del tiempo de ataque químico para el 316L.

Analizando la información obtenida, se puede observar que, como en los casos anteriores, se alternan entre máximos y mínimos. Para este caso los valores máximos se encuentran próximos a los 85°. Esto indicaría que todos los valores obtenidos no se encuentran en condición de hidrofobicidad.

Por otra parte, si tenemos en cuenta los tiempos de ataque químico, para los tres casos, se observó que el máximo correspondió a dos minutos.

### 4. Conclusiones

A lo largo de este trabajo se presentó el concepto de Biomimetismo y sus aplicaciones prácticas. Como resultado de esta disciplina, se incursionó en la generación de superficies hidrofóbicas sobre materiales metálicos. En todos los casos analizados, se observa que para ciertos tiempos de ataque químico se pueden generar ángulos de contacto estático superiores al inicial. Con el ataque elegido, tanto para el aluminio y el acero inoxidable 316 L no se pudo obtener una condición de hidrofobicidad. Lo anterior permitiría para el acero SAE 1045 montar una microrugosidad sobre la topografía generada para la púa.

### 5. Agradecimientos

Los autores del presente trabajo agradecen al departamento de Metalografía y Ensayos Termomecánicos, al Laboratorio de Microscopía Electrónica de la Comisión Nacional de Energía Atómica Centro Atómico Constituyentes y a la compañía PANAMERICANA DE ACEROS S.A. por su aporte realizado.

### Referencias

- [1] Favret, Eduardo Alfredo (2008), La Biología inspira nuevos desarrollos tecnológicos en el campo de la ciencia de los materiales y al ingeniería. Revista de la Sociedad Argentina de Materiales Vol. 5 (1), 2-13.
- [2] Dawson, J., J. F. V, Vincent (1997), How pine cones open. Nature 390 (6661), 668-668.
- [3] <http://biomimicryinstitute.org/home-page-content/home-page-content/biomimicking-sharks.html>, 27/10/2013, 9:30 pm.
- [4] <http://hellomaterialsblog.ddc.dk/2012/09/28/interview-anthony-brennan-sharklet-technologies-on-shark-skin-surfaces/>, 27/10/2013, 9:30 pm.
- [5] Lu-Quan Ren, Jin Tong, Jian-Qiao li & Bing-Cong Chen (2001), Soil Adhesion and Biomimetics os Soil-engaging Components: a Review. J. agric. Engng Res. 79(3), 239-263.
- [6] Muhammad Azam Khan, Rashid Qaisrani & Li Jian-Qiao (2010), The Techniques of Reducing Adhesion and Scouring Soil by Bionic-Review of Literature. Advances in Natural Science Vol. 3, No. 2, 41-50.
- [7] Mamdouh E. Abdelsalam, Philip N. Bartlett, Timothy Kelf & Jeremy Baumberg (2005), Wetting of Regularly Structured Gold Surfaces. School of Chemistry and School of Physics and Astronomy, University of Southampton, Southampton SO17 1BJ, United Kingdom. Langmuir 21, 1753 1757.
- [8] Qian B., Shen Z. Langmuir (2005), Fabrication of Superhydrophobic Surfaces by Dislocation-Selective Chemical Etching on Aluminum, Copper, an Zinc Substrates. Langmuir 21, 9007-9009.





# Adecuación hidráulica ferroviaria para un evento de alta recurrencia

Mg. Ing. Alejandro R. Ruberto, Dr.  
Ing. Jorge V. Pilar y Ing. Marcelo J. M. Gómez

## Resumen

Se presenta un trabajo que aporta al entendimiento del comportamiento hidráulico del río Tapenagá en una sección del terraplén ferroviario, ubicado entre las localidades de Charadai y Cote Lai, Departamento Tapenagá, en la provincia del Chaco.

Se realizó una modelación hidrológica – hidráulica del sistema hídrico en esa sección y se simuló su comportamiento durante la creciente extraordinaria de 1986, con buena precisión. En esa oportunidad el agua superó el coronamiento del terraplén ferroviario.

Se verificó, también, el efecto hidráulico de la construcción, posterior a 1986, de un canal que desagua aguas arriba del mencionado terraplén, con caudal de diseño de 28m<sup>3</sup>/s.

El modelo calibrado permitió realizar propuestas de adecuación hidráulica del terraplén ferroviario, para evitar su anegamiento y disminuir las velocidades de escurrimiento, potencialmente erosivas. Concretamente, se sugirió la ampliación de la luz del puente sobre el río Tapenagá.

*Palabras clave:* adecuación hidráulica, río Tapenagá, Sistema Hidrológico No Típico, modelación.

## Abstract

This paper contributes to the understanding of the hydraulic behaviour of Tapenagá River in a railroad embankment, located between Charadai and Cot Lai localities, at Tapenagá Department, in Chaco province is presented.

An hydrologic-hydraulic modelling was done at that section and its behaviour was simulated during the extraordinary flood of 1986, with a very good precision. In that opportunity the wa-

Grupo de investigación del Departamento de Hidráulica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Nordeste (UNNE). Av. Las Heras 727. (H3500COI). Tel: (0362) 4425064 / 4420076 – Int. 142 Resistencia, Chaco, Argentina.

aruberto@ing.unne.edu.ar

jpilar@ing.unne.edu.ar

mgichaco@yahoo.com.ar

ter exceeded the railroad embankment.

Was also verified the hydraulic effect of the construction, after 1986, of a canal that feeds upstream of said embankment, with design flow 988.8cfs.

According to this study our proposal is to enlarge the light of the railroad bridge, to avoid the flood and minimize erosion velocities at the embankment.

*Keywords:* hydraulic adequacy, Tapenagá River, Non Hydrological Typical System, modeling.

## Introducción

El Tapenagá es un río que escurre por una llanura con baja energía de relieve, lo que configura un clásico “Sistema Hidrológico No Típico” (SHNT) (Fertonani et al. [1]) y su cuenca baja se desarrolla al sur de la provincia del Chaco con una pequeña parte de ella ingresando en la provincia de Santa Fe.

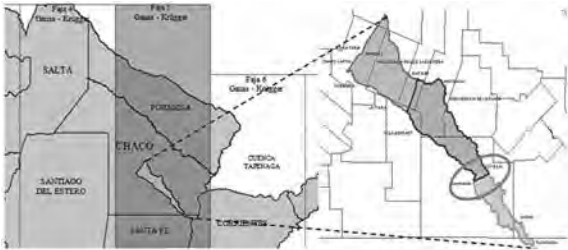
Su cuenca no cuenta con una red de estaciones de aforo por lo que no hay registros históricos suficientemente extensos, ni confiables (Ruberto et al. [2]).

Para el presente trabajo se estudió un tramo de terraplén ferroviario del ex FFCC Belgrano, ubicado entre las estaciones de Charadai y Cote

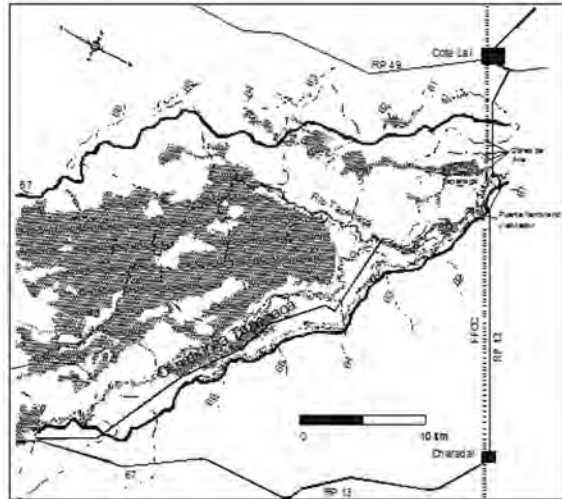


Lai, en las localidades homónimas, todas dentro del Departamento Tapenagá, Chaco.

El área de aporte de este SHNT hasta el terraplén ferroviario, es del orden de 3.930km<sup>2</sup>, provenientes de las subcuencas media y alta, siendo el uso del suelo predominantemente pecuario (figura 1).



**Figura 1.** Ubicación de la zona de estudio (fuente: Valiente [3]).



En el año 1986, previo a la construcción del canal antes mencionado, ocurrió una creciente extraordinaria (máxima observada hasta el presente), durante la cual el nivel del agua superó el del riel ferroviario en aproximadamente 20cm, según datos recabados en el ex FFCC General Belgrano (Alegre et al. [4]).

Por tal motivo, se hizo necesario conocer el comportamiento hidrológico - hidráulico del sistema, para el nuevo escenario, que incluye la descarga del canal antes mencionado.

**Objetivos del trabajo**

La construcción de los canales de la Línea Tapenagá, especialmente su canal principal, potenciaría situaciones críticas como la observada en el río Tapenagá en 1986, que según los estudios estadísticos realizados para este trabajo presenta una recurrencia del orden de 30 años, según caudal (Alegre, et al. [4]).

Por tal motivo se propone la realización de la adecuación hidráulica, incluida la descarga del canal principal del proyecto Línea Tapenagá, para el entendimiento del comportamiento hidrológico-hidráulico del nuevo escenario de las obras de arte del terraplén ferroviario.

**Metodología**

**Modelación del sistema**

Primeramente, se analizaron estadísticamente los registros hidrométricos existentes, para asignar recurrencias a distintos eventos. Se adoptó la distribución Pearson III, que presentó el menor error cuadrático medio de frecuencia y

En la figura 2 se presenta un esquema de la hidrodinámica superficial en la zona del cruce del terraplén ferroviario sobre el cauce del río Tapenagá y obras complementarias. En ese esquema se indican curvas de nivel, en cotas IGN.

El terraplén del ferrocarril atraviesa el valle de la cuenca del río en un ancho de poco más de 8.000m. Sobre dicho terraplén se ubica un puente principal de 20m de luz, más un aliviadero de 5,7m de extensión. Además, existen otras cuatro obras de arte sobre margen izquierda, en una zona de bañados.

Las características geométricas de las obras de arte mencionadas se presentan en la tabla 1:

**Tabla 1.** Características geométricas de las obras de arte.

Progresiva (km)	Luz (m)	H (m)	Cota dintel (IGN)	Cota riel (IGN)	Cota terreno natural (IGN)	Observaciones
476.845	5,70	2,40	62,47	63,32	61,50	Aliviador
477,018	19,40	3,50	62,34	63,30	59,75	rio Tapenagá
480,636	9,80	2,20	61,16	62,25	60,25	Bañado
482,521	3,80	1,20	61,66	62,25	60,65	Bañado
483,120	3,60	1,20	61,78	62,37	61,13	Bañado
483,622	3,90	1,00	61,77	62,30	61,17	Bañado

Agua arriba del terraplén ferroviario, a una distancia de 10km, actualmente descarga el canal principal del "Tramo I" del proyecto Línea Tapenagá de los Bajos Submeridionales, cuyo caudal de diseño es 28m<sup>3</sup>/s (figura 2).

Figura 2. Cruce del terraplén ferroviario y el río Tapenagá (fuente: elaboración propia).



de la variable (Alegre et al. [4]).

Según esos estudios estadísticos, la recurrencia de la inundación de 1986 fue de 30 años, según caudal. Además, se determinó el caudal de 50 años de tiempo de recurrencia, compatible con los requerimientos de adecuación hidráulica de la infraestructura afectada (Alegre, et al. [4]).

Para la modelación y simulaciones hidrológicas e hidráulicas se utilizó el programa HEC-RAS (River Analysis System), desarrollado por el U.S. Army Corp of Engineers.

El HEC-RAS es de uso libre y gratuito, y permite realizar cálculos hidráulicos unidimensionales en redes de canales, tanto en régimen permanente como impermanente. En este trabajo las simulaciones se realizaron en régimen permanente y subcrítico.

Ese programa necesita como datos de entrada información topográfica y geométrica de la red de canales, las características hidráulicas de los mismos, además del caudal que escurre en régimen permanente. Admite la posibilidad de interponer puentes, alcantarillas, vertederos y otras obras de arte, aisladas o agrupadas.

Se utilizaron datos provenientes de relevamientos topobatimétricos, mediciones in situ de las obras de arte y altimetrías del terraplén.

Se simularon por separado el puente principal con su aliviador, y las 4 obras de arte localizadas en margen izquierdo como otro subsistema (figura 2). La igualdad del nivel del pelo de agua en ambos subsistemas fue la condición de borde utilizada en las simulaciones.

### Contexto de calibración

Para calibrar la modelación se utilizó la crecida del 15 de abril de 1986, máxima registrada en esa sección. En dicha crecida se registró un nivel, aguas abajo del terraplén, de 61,75m IGN y se aforó un caudal de 83,8 m<sup>3</sup>/s (APA [5]), luego de producido el caudal pico.

La cota de máxima creciente del mismo evento sobrepasó el nivel del riel 20cm en promedio, en el sector de la ex Estación Tapanagá, siendo la cota alcanzada de 62,30m IGN.

En ese evento, aguas abajo del terraplén ferroviario, se formó un espejo de agua que funcionó como un embalse, pero manteniendo el escurrimiento, estimándose su nivel en cota

61,90m IGN, que se adoptó como condición de contorno.

Conocidas las cotas aguas arriba y aguas abajo del terraplén del ferrocarril para el evento en cuestión y con los perfiles correspondientes al puente ferroviario y su alcantarilla aliviadora de 5,7m de luz, se estimó el caudal que podría haber escurrido por esa sección y que compatibilizara las condiciones de borde mencionadas. El caudal obtenido fue 240m<sup>3</sup>/s, repartidos de la siguiente manera: 225,74m<sup>3</sup>/s para el puente principal y 14,26m<sup>3</sup>/s para la alcantarilla aliviadora.

Según la simulación realizada, la cota del pelo de agua no llegó a tocar el fondo de las vigas del puente (a cota 62,34m IGN), lo que coincide con lo ocurrido en esa oportunidad.

Simultáneamente, para la misma condición de borde de aguas arriba y tomando como condición de borde de aguas abajo una cota de 61,75m IGN, se simuló el comportamiento de las cuatro obras de arte ubicadas hacia la margen izquierda del valle (en una zona de bañados), obteniéndose como caudal escurrido 73,01m<sup>3</sup>/s, repartidos de la siguiente manera: 53,19m<sup>3</sup>/s en la obra de arte de progresiva 480,636, con velocidad media a la salida de 1,37m/s; 6,39m<sup>3</sup>/s en la siguiente; 6,53m<sup>3</sup>/s la otra y 6,90m<sup>3</sup>/s la restante; en las tres últimas las velocidades calculadas fueron inferiores a 1m/s.

Como la velocidad máxima estimada por la simulación para la sección del puente principal fue de 2,78m/s, y dado que debería considerarse como una situación real la descarga del canal de la Línea Tapanagá de Bajos Submeridionales, de 28m<sup>3</sup>/s (caudal de proyecto), la situación crítica observada en 1986 empeoraría. Por tal motivo, se decidió verificar el efecto que tendría la ampliación del puente principal, duplicando su luz de 20m a dos luces de 20m cada una, separadas por una pila central.

### Resultados

#### - En relación al evento de 1986

Para tener una idea de los beneficios que se obtendrían con la ampliación de la luz del puente a 40m de longitud, se simuló el escurrimiento de la crecida de 1986 para la misma. Se determinó que, en caso de repetirse dicho evento el nuevo

caudal sería de 254,50m<sup>3</sup>/s y el escurrimiento se daría de la siguiente forma: 244,02m<sup>3</sup>/s por el puente principal y 10,48m<sup>3</sup>/s por su aliviador. Las velocidades medias en ambas secciones serían 1,49 y 0,76m/s, respectivamente.

Por la batería de las cuatro obras de arte ubicadas en margen izquierda escurrirían 58,50m<sup>3</sup>/s, según la siguiente distribución: 43,53; 4,76; 4,95 y 5,26m<sup>3</sup>/s. La velocidad máxima para la obra de arte de 9,8m de luz se reduciría de 1,37m/s a 1,19m/s y las que se tendrían en las otras tres, superarían levemente los 0,80m/s.

Con respecto al nivel del agua, disminuiría aguas arriba del terraplén, de 62,30 a 62,1m IGN, con lo cual no ocurriría anegamiento del riel, considerando la ampliación del puente principal a 40m de luz.

Finalmente, se simuló y verificó el comportamiento del puente con luz ampliada teniendo en cuenta la crecida del año 1986, incrementada con la descarga del canal de Línea Tapenagá (28m<sup>3</sup>/s), totalizando un caudal de 279m<sup>3</sup>/s escurriendo por el puente principal y su aliviador.

Para esta situación se obtuvo que por el puente principal escurrirían 268,52m<sup>3</sup>/s y por el aliviador 10,48m<sup>3</sup>/s, con velocidades medias de 1,63m/s y 0,74m/s, respectivamente. La cota que alcanzaría el agua en el borde de aguas arriba del terraplén ferroviario sería 62,16m IGN, que produciría un leve anegamiento del mismo (sólo 3cm).

En esa misma situación, el sistema de obras de arte de margen izquierda erogaría 58,5m<sup>3</sup>/s según el siguiente detalle: 43,53; 4,76; 4,95 y 5,26m<sup>3</sup>/s, todas (salvo la alcantarilla 1) con velocidades no superiores a 0,83m/s.

Es de destacar el efecto "llamador" de la ampliación de la luz del puente principal, aliviando las obras de arte de margen izquierda, concentrando el flujo hacia el cauce principal del río y disminuyendo las velocidades en todas las obras de arte, inclusive en el propio puente.

#### **- En relación a un evento de 50 años de tiempo de recurrencia**

Se simuló el efecto que tendría una crecida con un caudal de 293,70m<sup>3</sup>/s, correspondiente a una recurrencia de 50 años, teniendo en cuenta la luz ampliada del puente principal.

Ese efecto es la elevación del pelo de agua en el borde de aguas arriba del terraplén ferroviario a 62,30m IGN, inferior a la cota del fondo de viga del puente principal, que es 62,34m IGN. La velocidad de escurrimiento en el puente principal sería 1,65m/s.

Por su parte, el caudal que escurriría por las obras de arte de margen izquierda, compatible con la cota de aguas arriba 62,30m IGN, sería 69m<sup>3</sup>/s. La velocidad en la obra de arte de 9,80m de luz sería 1,27m/s, mientras que en las otras tres no se superaría 1m/s.

Se simuló, además, el efecto que produciría la ocurrencia simultánea de ese mismo evento de 50 años de recurrencia, más la descarga del caudal de diseño del canal de la Línea Paraná del Proyecto de Bajos Submeridionales.

Para esta última situación, la cota que alcanzaría el agua en el borde de aguas arriba del terraplén ferroviario sería 62,33m IGN, inferior a los 62,34m IGN del fondo de viga del puente principal. El caudal que escurriría por el río sería 285m<sup>3</sup>/s (274,38m<sup>3</sup>/s por el puente principal y 10,63m<sup>3</sup>/s por el aliviadero lateral), mientras que por las obras de arte de margen izquierda escurrirían, en total, 71,50m<sup>3</sup>/s.

Las máximas velocidades se darían en el puente principal (2,05m/s) y en la obra de arte de 9,80m de luz (1,31m/s); las velocidades en las otras alcantarillas serían inferiores a 1m/s.

#### **- Resumen de resultados**

En las siguientes tablas se presentan los resultados de las simulaciones realizadas, según el siguiente detalle:

Tabla 2: situación original de las obras de arte, para el evento de 1986.

Tabla 3: todas las obras de arte, más el puente principal con luz ampliada, para el evento de 1986 y para ese evento, más la descarga del canal de la Línea Tapenagá.

Tabla 4: todas las obras de arte, más el puente con luz ampliada, para un caudal de 50 años de tiempo de recurrencia y para dicho caudal, más la descarga del canal de la Línea Tapenagá.

Tabla 2 – Situación original



	Aliviador	Puente	Alcant. 1	Alcant. 2	Alcant. 3	Alcant. 4
Progresivas del FFCC (km)	476,945	477,018	480,636	482,521	483,120	483,622
Cota aguas arriba (m IGN)	62,30					
Cota aguas abajo (m IGN)	61,90			61,75		
Caudal parcial (m <sup>3</sup> /s)	14,26	225,74	53,19	5,39	8,53	8,90
Caudal total (m <sup>3</sup> /s)	313,01					
Velocidad media (m/s)	0,96	2,78	1,37	0,75	0,80	0,93

Tabla 3 – Situación con puente sobre río Tapenagá con luz ampliada

	Aliviador	Puente	Alcant. 1	Alcant. 2	Alcant. 3	Alcant. 4
Progresivas del FFCC (km)	476,945	477,018	480,636	482,521	483,120	483,622
Cota aguas arriba (m IGN)	62,11					
Cota aguas abajo (m IGN)	61,90			61,75		
Caudal (m <sup>3</sup> /s)	10,48	244,02	43,53	4,76	4,95	5,26
Velocidad media (m/s)	0,76	1,49	1,19	0,63	0,89	0,81
Cota aguas arriba (m IGN)	62,16					
Cota aguas abajo (m IGN)	61,90			61,75		
Caudal (m <sup>3</sup> /s)	10,48	260,52	45,99	5,10	5,29	5,62
Velocidad media (m/s)	0,74	1,83	1,24	0,66	0,72	0,83

Tabla 4 – Situación con puente con luz ampliada, caudal de 50 años de tiempo de recurrencia y para dicho caudal más la descarga del canal de la Línea Tapenagá

	Aliviador	Puente	Alcant. 1	Alcant. 2	Alcant. 3	Alcant. 4
Progresivas del FFCC (km)	476,945	477,018	480,636	482,521	483,120	483,622
Cota aguas arriba (m IGN)	62,30					
Cota aguas abajo (m IGN)	62,05			61,90		
Caudal (m <sup>3</sup> /s)	11,05	282,85	49,44	6,28	6,43	6,85
Velocidad media (m/s)	0,74	1,65	1,27	0,74	0,80	0,92
Cota aguas arriba (m IGN)	62,33					
Cota aguas abajo (m IGN)	62,05			61,90		
Caudal (m <sup>3</sup> /s)	10,63	274,38	51,17	6,53	6,68	7,11
Velocidad media (m/s)	0,96	2,05	1,31	0,76	0,81	0,94

**Otras intervenciones evaluadas**

Para reducir la cota que alcanzaría el agua en el borde aguas arriba del terraplén ferroviario, para un evento similar al de 1986, se evaluaron, además de la ampliación de la luz del puente de 20 a 40m, ya descripta, el efecto que tendría ampliar esta luz a 60 y 80m. Los resultados de estos aumentos de luz se muestran en la tabla 5.

Tabla 5 - Diferentes luces evaluadas

Luz	Cota aguas arriba (m IGN)	Caudal (m <sup>3</sup> /s) (*)	Velocidad media en el puente principal (m/s)	Sección mojada del puente principal (m <sup>2</sup> )	Caudal en el puente principal (m <sup>3</sup> /s)
Actual 20m	62,30	240,00	3,16	71,46	225,74
40m	62,11	254,50	1,83	133,50	244,02
60m	62,06	258,50	1,41	177,55	249,81
80m	62,04	260,50	1,22	207,73	252,75

(\*) El caudal corresponde a lo erogado por el puente principal y su aliviadero de 5,7m.

Se puede observar que desde el punto de vista hidráulico cualquier incremento de la luz del puente principal por sobre los 40m tendrá un efecto prácticamente inocuo pues dicho incremento de luz se comportará hidráulicamente como aliviador por estar saliéndose del cauce

principal del río.

**Conclusiones y recomendaciones**

**En relación al evento de 1986**

Se consiguió simular el funcionamiento del sistema para la creciente extraordinaria de 1986, con el pico máximo registrado de 61,75m IGN, con buena precisión.

Se comprobó y verificó, para ese evento, que ampliando la luz del puente de 20m a 40m (dos luces de 20m), el efecto sería la disminución de la cota aguas arriba del terraplén ferroviario, con lo cual se evitaría que el nivel de agua superara al de los rieles.

Se verificó, también, que con el puente con 40m de luz, más el aporte de los 28m<sup>3</sup>/s del canal del proyecto Línea Tapenagá de los Bajos Submeridionales, la cota del agua en el borde de aguas arriba del terraplén ferroviario aumentaría 5cm, alcanzando cota 62,16m IGN, con lo cual se estaría 3cm por arriba de la cota mínima del riel.

Tomando como referencia el evento de 1986, el aumento de la luz del puente principal traería como consecuencia la disminución de las velocidades de 2,78m/s a 1,49m/s. Para las cuatro obras de arte de margen izquierdo no se observarían velocidades superiores a 1,19m/s.

**En relación al evento con caudal de 50 años de tiempo de recurrencia**

La cota que alcanzaría el agua en el borde de aguas arriba del terraplén ferroviario, para el caso que la luz del puente principal sea ampliada a 40m, sería 62,30m IGN, inferior en 4cm a la cota del fondo de viga del puente actual (62,34m IGN).

El efecto que provocaría el agregado de la descarga del canal de la Línea Tapenagá sería la elevación de esa cota a 62,33m, todavía por debajo de la cota del fondo de viga del puente principal.

Se propone el levantamiento de la rasante del riel a cota 62,63m IGN, valor que surge de sumar 0,30m a los 62,33m de la crecida con caudal de 50 años de tiempo de recurrencia incrementada con la descarga del canal de la Línea Tapenagá.

No se recomienda una ampliación de la luz del puente principal a más de 40m, pues se veri-





ficó que mayores ampliaciones no introducirían mejoras en el nivel del pelo de agua ni en las velocidades de escurrimiento.

### **Agradecimientos**

A la memoria del Ingeniero Mario A. Alegre que nos encomendó y alentó en la realización de este trabajo.

### **Referencias**

[1] Fertonani, Miguel y Prendes, Hector (1983). Hidrología en áreas de llanura. Aspectos conceptuales teóricos y metodológicos. Olavarría, Argentina. p.120 a 122. Actas del Coloquio de Hidrología de Grandes Llanuras. Olavarría. ISBN: 950-9416-00-2.

[2] Ruberto, Alejandro; Depettris, Carlos, Pilar, Jorge; Ramos, Rosario; Mentasti, Claudio (2013). Coeficientes de ajuste de hidrogramas sintéticos en ríos de llanura – método de Snyder – río Tapenagá – Chaco. XXIV Congreso Nacional del Agua 2013. San Juan, Argentina. ISSN: 1853-7685.

[3] Valiente, Miguel (2004). Evaluación de áreas de riesgo – Chaco. Trabajo de consultoría para el Proyecto de saneamiento hídrico y desarrollo productivo de la línea Tapenagá. Ministerio de la Producción, provincia del Chaco.

[4] Alegre, Mario; Ruberto, Alejandro; Pilar, Jorge (2001). Adecuación hidráulica del cruce ferroviario sobre el río Tapenagá – Chaco. Trabajo de consultoría para la Administración Provincial del Agua del Chaco, Resistencia, Argentina.

[5] APA - Administración Provincial del Agua, provincia del Chaco. Anales varios. Datos de aforos de la cuenca del río Tapenagá de diversos años. Resistencia, Chaco, Argentina.

# El Test Diagnóstico como herramienta para definir políticas de ingreso y retención en carreras de Ingeniería

Claudia Minaard<sup>1</sup>, Marta Comoglio<sup>1</sup>,  
Gerardo Gabriel Gentiletti<sup>2</sup>, Liliana  
Cuenca Pletsch<sup>2</sup>

## Resumen

El presente artículo da cuenta del desarrollo y la implementación del Test Diagnóstico (TD) destinado a ingresantes a carreras de Ingeniería.

La Secretaría de Políticas Universitarias (SPU) ha impulsado el Plan Estratégico para la Formación de Ingenieros 2012-2016 (PEFI), cuyo objetivo principal es incrementar la cantidad de graduados en ingeniería en un 50% al 2016 y en un 100% para el 2020. Motiva esta acción de gobierno la necesidad de asegurar recursos humanos en cantidad y calidad necesarios para el desarrollo tecnológico e industrial de la Argentina. En este marco, el TD, desarrollado e impulsado en forma conjunta entre el CONFEDI y la SPU, se vincula con el eje mejoramiento de indicadores académicos del PEFI, para aportar al objetivo de generar vocaciones tempranas y facilitar el tránsito entre sistemas educativos.

Se presentan las características del TD y la metodología de construcción del mismo, propuestas de mejora al proceso iniciado y una valoración de los resultados que se pueden generar como insumos para proyectos de mejora tanto de la enseñanza en los primeros años universitarios, como de acciones remediales y de articulación Universidad-Nivel Medio, como estrategias de solución a mediano y largo plazo.

*Palabras Clave:* competencias básicas, ingreso, ingeniería

## 1. Introducción

La Secretaría de Políticas Universitarias (SPU)

1. Secretaría de Políticas Universitarias (SPU) - Ministerio de Educación de la Nación.

2. Consejo Federal de Decanos de Ingeniería (CONFEDI).

ha impulsado el Plan Estratégico para la Formación de Ingenieros 2012-2016 (PEFI), cuyo objetivo principal es incrementar la cantidad de graduados en ingeniería en un 50% al 2016 y en un 100% para el 2020. Dicho plan busca asegurar recursos humanos en cantidad y calidad necesarios para el desarrollo del país. Esta necesidad surge de la evolución de la tecnología y la industria, de los mercados internacionales no explotados y una creciente vinculación entre empresas y universidades [1]. En este artículo se presenta el Test Diagnóstico (TD), como instrumento para evaluar las competencias matemáticas de los ingresantes a carreras de Ingeniería. El TD está vinculado al eje Mejoramiento de indicadores académicos del PEFI, para aportar al objetivo de generar vocaciones tempranas y facilitar el tránsito entre sistemas educativos.

En el año 2006, luego de dos años de trabajo en talleres y Comisiones, el Consejo Federal de Decanos de Ingeniería (CONFEDI) aprobó las Competencias de Egreso del Ingeniero Argentino. Posteriormente se consideró conveniente avanzar también en la determinación de las competencias genéricas de ingreso a carreras de ingeniería, concibiendo las mismas como un

punto de partida mínimo desde el cual se podrían desarrollar los currículos para alcanzar las competencias de egreso al finalizar el proceso formativo. Con esta metodología se trabajó durante más de un año y, en 2008, se alcanzó el consenso sobre un documento que ordena las Competencias Requeridas para el Ingreso a las carreras de Ingeniería. Este documento fue puesto a consideración de otras asociaciones y redes de carreras científico-tecnológicas que lo enriquecieron. De esta forma se dio lugar en 2009, al acuerdo sobre Competencias requeridas para el Ingreso a los Estudios Universitarios, que orienta a la educación de nivel medio respecto de las competencias que deberían desarrollar en sus alumnos, previendo su continuidad en los estudios en el ámbito universitario [2].

Una de las primeras acciones vinculadas con facilitar el tránsito entre la escuela media y la universidad, fue el desarrollo del TD en forma conjunta entre la SPU y el CONFEDI. El TD es un instrumento de evaluación que intenta proveer de elementos objetivos para verificar si los ingresantes a carreras de ingeniería cuentan con las competencias básicas requeridas.

En una primera etapa se centró el trabajo en las competencias matemáticas y algunas competencias comunicativas, estas últimas vinculadas con la interpretación de textos y gráficos, aplicadas a la resolución de problemas. El test se ha aplicado en dos oportunidades, ingresos 2013 y 2014, y ha sufrido ajustes luego de la primera aplicación. Actualmente se analizan los resultados obtenidos en el 2014 y las necesidades de nuevos ajustes con el objetivo de perfeccionarlo y asegurar la significancia y utilidad de los resultados que se obtengan del mismo.

Este valioso instrumento y el análisis de resultados permitirán no sólo definir o reajustar políticas nacionales vinculadas con los objetivos del PEFI, sino también propuestas institucionales para el mejoramiento de la enseñanza en los primeros años de las carreras de ingeniería y de articulación Universidad-Nivel medio como forma de facilitar el tránsito entre ambos niveles.

A continuación, se presentan determinadas observaciones que realizadas en torno a la delimitación de problemática de las competencias matemáticas.

## 2. Marco teórico

Según diferentes autores, poseer una competencia implica ser capaz de resolver problemas determinados y llevar adelante tareas con éxito [3] [4]. No sólo están ligadas a aspectos cognitivos, sino también emocionales y afectivos, incluyendo los valores y las actitudes como aspectos constitutivos, facilitadores u obstaculizadores del desarrollo de las mismas.

Atento a que el trabajo está centrado en capacidades o habilidades ligadas directamente con los perfiles profesionales ingenieriles, se realizará una breve referencia de la tipología de competencias que establece el documento del Consejo Federal de Decanos de Ingeniería [3], entre las que se encuentran las Competencias básicas, referidas a los conocimientos, procedimientos, destrezas y actitudes fundamentales para el desarrollo de otros aprendizajes, como la comprensión lectora, la producción de textos, la oralidad, la resolución de problemas; Competencias específicas, referidas a la necesidad de contar con saberes específicos en Biología, Química, Física y Matemática, asignaturas que deben privilegiar el razonamiento lógico, la argumentación, la experimentación, el uso y organización de la información y la apropiación del lenguaje común de la ciencia y la tecnología; Competencias transversales, referidas a la capacidad de autorregulación, para aprender solos y en grupo, y resolver las dificultades a que se ven enfrentados durante el transcurso del proceso de aprendizaje y las Competencias actitudinales, que hacen referencia a la responsabilidad, actitud crítica y compromiso ante el proceso de aprendizaje. A partir de ellas los alumnos adquieren una actitud de autoestima (metacognición), pensamiento lógico, y hábitos de estudio que garantizan un conocimiento autónomo, a partir de la diversidad, y una gestión del material bibliográfico adecuado.

Las competencias específicas definidas para el ingreso a carreras de ingeniería son las siguientes [2]:

1-Análisis de una función o un fenómeno físico y/o químico sencillo a partir de su representación gráfica y/o a partir de sus ecuaciones matemáticas.

2-Reconocimiento y utilización de conceptos

en matemática, física o química.

3-Reconocimiento y análisis de propiedades físicas y/o químicas de la materia en ejemplos cotidianos.

4-Transferencia del conocimiento científico de física, química y matemática a situaciones problemáticas variadas.

5-Utilización de la computadora aplicando lógica procedimental en la utilización del Sistema Operativo y diversas aplicaciones como: Procesador de textos, Internet y Correo Electrónico.

Algunos autores afirman que las competencias matemáticas consisten en la habilidad para utilizar y relacionar los números, sus operaciones básicas, los símbolos y las formas de expresión y razonamiento matemático, tanto para producir e interpretar distintos tipos de información, como para ampliar el conocimiento sobre aspectos cuantitativos y espaciales de la realidad, y para resolver problemas relacionados con la vida cotidiana y con el mundo laboral [5]. La resolución de problemas es considerada por numerosos autores como la mejor estrategia para el logro de las competencias matemáticas [5].

En base a lo planteado, se presenta el abordaje metodológico del Test Diagnóstico.

### 3. Metodología

Como se ha dicho, en el marco del PEFI, la SPU y el CONFEDI han trabajado conjuntamente en el desarrollo del TD como una herramienta para evaluar habilidades requeridas en los ingresantes a la universidad en el contexto de un programa destinado a favorecer la articulación entre el nivel medio y el superior.

En el plenario de CONFEDI, realizado en la ciudad de Campana el 1 y 2 de noviembre de 2012, se definieron las características más relevantes TD y de su implementación. En esta primera versión del TD se decidió evaluar las competencias matemáticas de los ingresantes, y se establecieron las siguientes características:

- Se concibe en esta primera instancia como una prueba piloto, y no vinculante con las exigencias de ingreso de cada Facultad de Ingeniería.

- Los contenidos sobre los que versa se restringen a los núcleos de aprendizaje prioritarios del nivel secundario.

- Es anónimo, e incluye el requerimiento de información adicional a la prueba en sí, tal como: escuela y jurisdicción de procedencia, Universidad a la que aspira ingresar, año de egreso del secundario, si ya cursó alguna instancia de apoyo para el ingreso y consignar si ya realizó y/o aprobó cursos de apoyo de ingreso a la institución.

- Se recomienda implementarlo al inicio de los cursos de apoyo para ingreso de cada unidad académica, y a no más de una semana de desarrollo de los mismos.

- Se implementa como evaluación de opciones múltiples, y se decide que se tomará en el ámbito universitario y en ambiente controlado por docentes de la institución.

- Se realiza on-line, y se genera automáticamente para cada alumno, a partir de la elección en forma aleatoria de 5 ítems tomados de un banco de ejercicios.

- Para la generación de un banco de ejercicios, de similar dificultad, se requirió de la participación de todas las Facultades de Ingeniería nucleadas en CONFEDI, que enviaron ejercicios, luego revisados por equipos que trabajaron en su confección final.

- Los distractores se establecen en número de 5 (opciones múltiples), y se incluyen entre los mismos, respuestas que permitan inferir los errores más frecuentes que se suelen cometer en el tipo de ejercicio propuesto. Para cada ejercicio se propone una rúbrica de corrección que lo relaciona con los errores considerados en los distractores.

- Los ingresantes que realizan el TD tienen la posibilidad de solicitar y ver el resultado de la prueba, indicando su email en el sistema al momento de realizarla.

- Se establece el compromiso de cada institución para sumarse a la implementación del TD y para la utilización de los resultados internamente, con el propósito de introducir acciones de mejora tanto en los cursos de ingreso como en los cursos del primer año, retroalimentar los sistemas de tutoría, etc.

A continuación se presentan los temas incluidos en el TD:

UNIDAD 1: Conjuntos Numéricos (excepto números complejos): 1er Eje: Operaciones con

números reales y aplicación de propiedades (suma, producto, cociente, radicación, potenciación, logaritmo) - 2do Eje: Cálculo de perímetro, área, volumen, densidad; Unidades de medida; Notación científica; Porcentaje

UNIDAD 2 – Ecuaciones: 1er Eje: Ecuaciones de primer grado con una incógnita - 2do Eje: Ecuaciones de segundo grado con una incógnita - 3er Eje: Sistemas de dos ecuaciones de primer grado con dos incógnitas

UNIDAD 3 – Funciones: 1er Eje: Función de primer grado en una variable - 2do Eje: Función de segundo grado en una variable - 3er Eje: Función trigonométrica. Propiedades

UNIDAD 4 – Relaciones: 1er Eje: Ángulos: sistemas de medición - 2do Eje: Relaciones trigonométricas en un triángulo rectángulo - 3er Eje: Teorema de Pitágoras. Resolución de triángulos rectángulos

UNIDAD 5 – Polinomios: 1er Eje: Polinomios. Operaciones - 2do Eje: Regla de Ruffini. Ceros de un polinomio. Teorema del resto. Factorización - 3er Eje: Expresiones algebraicas fraccionarias. Simplificación

A partir de estas definiciones, se desarrollaron las siguientes acciones:

Se solicitó a las Facultades de Ingeniería de todo el país que enviaran propuestas de ejercicios que fueran similares al modelo aprobado en el plenario, en base a las cuales se elaboró una base de datos con 10 ejercicios por unidad temática.

Se solicitó el desarrollo de software e interfaz web que cumpliera con la propuesta. La SPU contrató un programador que desarrolló el referido software e interfaz, el que fue evaluado y aprobado entre diciembre de 2012 y enero de 2013.

Se solicitó a las Facultades la adhesión al TD. Se inscribieron 65, de las cuales realizaron efectivamente el test 60 en la versión 2013, y 45 en la versión 2014.

La Facultad de Ingeniería y Ciencias Económico Sociales de la Universidad Nacional de San Luis puso a disposición un servidor y el equipo técnico para asistir durante la toma de las pruebas. Se trabajó en conjunto con el programador para la puesta a punto y se realizó la carga de las bases de datos de los ejercicios durante el mes

de enero. Este servidor estuvo disponible entre el 4 de febrero y el 31 de marzo de 2013 y a partir del 1 de febrero hasta el 8 de abril de 2014.

En el plenario de CONFEDI realizado en abril de 2013 en Oberá, Misiones, se analizaron, en conjunto con la SPU, los resultados obtenidos de la primera aplicación del TD a los ingresantes 2013. Además se realizaron encuestas a referentes implicados en la aplicación del mismo en las distintas Facultades que participaron de dicho plenario. Se decidió mantener una comisión Ad-Hoc del CONFEDI trabajando en la formulación 2014 del TD. Esta comisión, junto a un grupo de colaboradores, introdujo los siguientes cambios para el ingreso 2014:

Se introdujo un "Video introductorio al Test" que dura menos de tres (3) minutos y cuyos objetivos principales son los de "Informar, comprometer y motivar" al ingresante que realizará el TD.

Respecto de la interfaz y el sistema, se mejoró la pantalla de inicio, con un aspecto más amigable y atractivo para el usuario; se revisaron los criterios de las respuestas del tipo "ninguna de las anteriores"; se "cambió la modalidad de presentación de los ejercicios" de la interfaz para que al inicio de la prueba se muestren todos los enunciados de los ejercicios simultáneamente, permitiendo que el estudiante pueda elegir el orden de resolución pudiendo modificar respuestas. Se bajó el tiempo máximo disponible para el TD a 60 minutos. Se prosigue ampliando la base de datos de ejercicios disponibles.

Se incluyó una encuesta corta, para ser realizada por cada ingresante que realice el TD al finalizar el mismo, con el fin de evaluar y validar aspectos del TD.

#### 4. Resultados

El TD lleva hasta la fecha de preparación de este artículo dos implementaciones,

Tabla 1: Datos generales de ambas implementaciones del TD.

Año:	2013	2014
Facultades adheridas	60	45
Ingresantes evaluados (N)	8451	6516
Cursos ingresos aprobado (SI / NO / en curso) [%]	19 / 22 / 59	16 / 10 / 74

Ingresos 2013 y 2014 respectivamente, am-



bas debiéndose tomar como experiencias piloto, encontrándose actualmente en evaluación de resultados. En la Tabla 1 y en las Figuras 1 y 2 se presentan algunos resultados del TD.



Fig. 1. Comparativa de resultados ingresos 2013 y 2013: porcentajes de alumnos, según la cantidad de respuestas correctas logradas<sup>1</sup>.

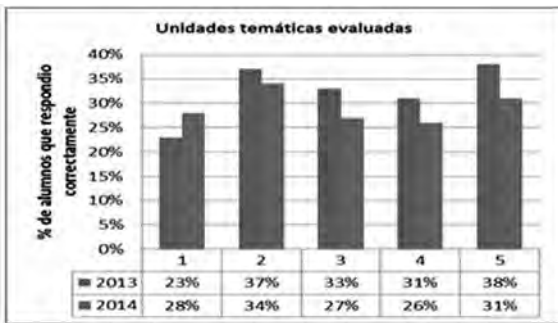


Fig. 2. Comparativa de resultados ingresos 2013 y 2013: porcentajes de alumnos, según la cantidad de respuestas correctas obtenidas por cada Unidad temática evaluada<sup>1</sup>.

Respecto de los principales resultados obtenidos de las respuestas a las “Encuestas a los Ingresantes”, pueden observarse en las gráficas de las Figuras 3 y 4.

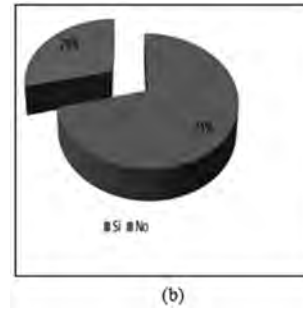


Fig. 3. Resultados Encuestas a Ingresantes 2014 aplicadas en la segunda etapa: a) Dificultad de enunciados ejercicios b) ¿Utilizó papel para resolver los ejercicios?

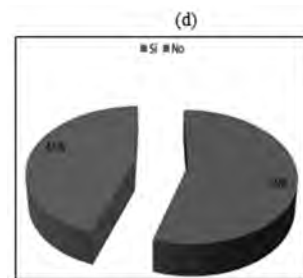
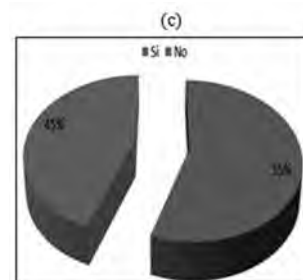


Fig. 4. Resultados Encuestas a Ingresantes 2014 aplicadas en la segunda etapa: c) ¿Usó calculadora? d) ¿Respondió al azar?

### Discusión y conclusiones

Si bien los resultados obtenidos se consideran valiosos y ofrecen una primera aproximación a las competencias específicas en matemáticas de los ingresantes a carreras de Ingeniería, se considera que existen aspectos que deben mejorarse para poder validar los mismos, tales como:

Revisar y depurar las mejoras logradas en la segunda versión.

Asegurar la correcta presentación de los ejercicios, robustez y conservación de datos ante

1. Los resultados presentados para ingresantes 2014, no tienen la misma significancia que para los 2013, debido a inconvenientes que no permitieron evaluar los 5 ejercicios en todos los casos (en más de 30% sólo se evaluaron 3 ejercicios).

desconexiones de la red.

Mejorar las modalidades de presentación de la información sobre el TD y motivación a los ingresantes para realizarlo con compromiso genuino.

Definir criterios de exclusión de respuestas realizadas al azar o sin colaboración alguna por parte del ingresante, antes de evaluar resultados específicos.

Realizar nuevos análisis combinando la información de las encuestas y resultados de ejercicios para responder preguntas como: Los ingresantes que manifiestan responder al azar, ¿obtienen resultados distintos respecto de quienes no lo hacen?, ¿qué relación hay entre los tiempos empleados y los resultados?, los cursos de ingreso ¿tienen impacto en los resultados del T.D.?, ¿qué percepción se formaron los ingresantes sobre el TD?, ¿coincide el resultado del TD con la autopercepción que tiene el ingresante respecto de su conocimiento/habilidad en matemáticas antes de ingresar a la Universidad?, ¿existen diferencias significativas de formación según las regiones/escuelas/tipo de orientación/etc, que puedan ser observadas a través de los resultados del TD?. Estos y otros interrogantes permitirán obtener conclusiones sobre el nivel de competencias específicas (en matemáticas) y genéricas (en interpretación de textos) de los ingresantes a las carreras de Ingeniería.

Continuar el proceso de mejora de la base de datos de ejercicios incorporados al TD, tanto desde el punto de vista de calidad, cantidad y homogeneidad.

Aplicar estándares en el desarrollo de software/interfaz web con que se realizar el TD, y definir testeos del mismo para validar todas las variables registradas, como así también realizar pruebas de validación de los ejercicios y las evaluaciones propuestas, utilizando, por ejemplo, grupos de “poblaciones testigo” tales como: estudiantes secundarios de 3er año, estudiantes universitarios avanzados e, inclusive, docentes de carreras de Ingeniería.

Por último, debe quedar claro, que se requiere de al menos otro año de desarrollo y prueba, con el compromiso de la mayor cantidad de Unidades Académicas posibles, para obtener

una herramienta de evaluación que entregue resultados significativos y válidos en los diversos aspectos planteados inicialmente.

### Agradecimientos

La coordinación y selección de ejercicios en la primera etapa fue realizada por Jorge Almazan (Decano FI-UNSA), Ivonne Esteybar (Docente UNSJ), , y Roberto Lerena (Decano FASTA) en representación del CONFEDI y por Daniel Morano y Claudia Minnaard en representación de la SPU.

La segunda etapa fue coordinada por Gerardo G. Gentiletti (Decano de la FI-UNER) con la colaboración de Ivonne Esteybar (Docente UNSJ), Rossana Di Domenicantonio, (Sec. de Gestión de FI-UNLP), Emilce Moler y Sandra Baccelli, (Grupo de G.I.E.M.I. UNMdP), Claudia Russo (Dir. de la Esc. de Tec., UNNOBA), Guillermo Kalocai (Decano Dpto Ing. UNS) en representación del CONFEDI y Claudia Minnaard y Marta Comoglio por la SPU.

### Referencias

- Programa Estratégico para la Formación de Ingenieros (PEFI) 2012-2016. En : [http://pefi.siu.edu.ar/aplicacion.php?ah=st530a7badf1bbc&ai=contenidos||19000030&id\\_idioma=2&id\\_menu=18](http://pefi.siu.edu.ar/aplicacion.php?ah=st530a7badf1bbc&ai=contenidos||19000030&id_idioma=2&id_menu=18) [Consultado: 23/02/2014]
- CONFEDI. Cuadernillo de Competencias del CONFEDI. En <http://www.confedi.org.ar/content/competencias-en-ingenier%C3%ADa> [Consultado: 26/05/2014]
- Consejo Federal de Decanos de Ingeniería. Competencias para el acceso y la continuidad de los estudios superiores. XLIV Reunión CONFEDI-Santiago del Estero, Anexo 1. (2007)
- Gonzalez, J. y Wagenaar, R. “Tuning Educational Structures in Europe. Informe final Fase 2, La contribución de las universidades al Proceso de Bolonia”, (ed) Universidad de Deusto – Universidad de Groningen. (2006).
- Dalfaro, N.; Demuth, P.; Del Valle, G.; Aguilar, N. “Los ingresantes de ingeniería de la FRRe y el estudio de la construcción de las competencias matemáticas”. Ed. UTecNe. (2011)

# Análisis y validación de una rúbrica para la evaluación de la competencia “comunicación eficaz escrita” en asignaturas experimentales

Gustavo Bacino, Antonio Morcela y Lucrecia Moro

## Resumen

En este trabajo se presentan el procedimiento de validación y los resultados obtenidos de una rúbrica o matriz de valoración utilizada como instrumento de evaluación de informes de trabajos prácticos de laboratorio en asignaturas de ciencias experimentales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata. Los resultados muestran una convergencia positiva entre la opinión de los docentes y de los estudiantes encuestados en cuanto a la utilidad y a la validez del instrumento de evaluación de la competencia “comunicación eficaz escrita”, por lo que se proyecta la implementación de la misma en varias asignaturas de corte experimental en distintas carreras de Ingeniería.

*Palabras Clave:* competencias, comunicación eficaz, evaluación, rúbricas.

## 1. Introducción

El proceso de Bolonia, iniciado en 1999, puso en marcha una trascendente transformación educativa, tendiente a orientar la educación de grado a la obtención de competencias. El nuevo paradigma docente busca una enseñanza basada en el aprendizaje, en la participación activa de los estudiantes en su propio proceso de formación y en el desarrollo de competencias básicas que incluyan la mejora de los procesos de comunicación, el trabajo en equipo y la actividad autónoma. Desde la perspectiva estrictamente didáctica se busca la mejora en la planificación docente, en el uso de metodologías alternativas

Universidad Nacional de Mar del Plata, Facultad de Ingeniería, Juan B. Justo 4302, Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina.

gustavobacino@gmail.com, omorcela2000@gmail.com, lucreciamoro@gmail.com.

y en el desarrollo de la cultura de la evaluación formativa y continua [1].

La evaluación, entendida como un procedimiento sistemático y continuo, que permite adquirir información válida, confiable y útil para la toma de decisiones, constituye un elemento indispensable para garantizar el proceso de enseñanza y aprendizaje, convirtiéndose, como en todo proceso formativo, en una cuestión fundamental que permite comprobar si los objetivos planteados se han cumplido y si el proceso de enseñanza y aprendizaje se está desarrollando de manera correcta [2].

La evaluación no es ni puede ser un apéndice de la enseñanza ni del aprendizaje, habitualmente ubicado como un acto final desprendido de las acciones propias de los procesos de formación educativa [3]. Asimismo se señala, que no existen formas de evaluación que sean absolutamente mejores que otras pues su calidad depende del grado de pertinencia al objeto evaluado, a los sujetos involucrados y a la situación en la que se ubiquen.

Freed y Huba [4] resumen las características del aprendizaje centrado en el estudiante en



ocho categorías, entre ellas y relacionadas con este trabajo se incluyen que los estudiantes: a) participan activamente y reciben realimentación; b) integran conocimientos específicos y habilidades generales; c) comprenden las características de un trabajo bien hecho y d) que los profesores entrelazan la enseñanza y la evaluación.

De lo anterior se desprende la necesidad de contar con instrumentos que permitan utilizar la evaluación como un elemento más del proceso de enseñanza y aprendizaje tendiente a la adquisición de competencias generales y específicas. Es decir, se hace evidente la necesidad de pensar la evaluación no ya como un acto puntual sino como un proceso continuo. En dar mayor importancia a la evaluación de los procesos de aprendizaje que a los resultados.

Para satisfacer estas necesidades surge el enfoque conocido con la denominación de Evaluación Auténtica, que plantea nuevas formas de concebir las estrategias y los procedimientos de evaluación, distintos de los que han prevalecido en los sistemas educativos. Se trata de una evaluación centrada fundamentalmente en procesos más que en resultados, donde el alumno debe asumir la responsabilidad de su propio aprendizaje y la evaluación resulta un medio, y no un fin en sí misma, que le permitirá alcanzar los conocimientos propuestos en las diferentes disciplinas de la educación formal [5].

En este contexto el empleo de una rúbrica o matriz de valoración diseñada para evaluar los informes escritos de trabajos prácticos de laboratorio, es un instrumento que responde a la necesidad de evaluar competencias adicionales, relacionadas en general con cualquier actividad profesional y que tienen que ver con su habilidad para comunicarse en forma eficaz.

En uno de los documentos del CONFEDI (Consejo Federal de Decanos de Ingeniería) [6] se propone una clasificación de competencias, las cuales se dividen en competencias genéricas de la ingeniería y en específicas y, a su vez, estas últimas en tecnológicas y sociales, políticas y actitudinales. Dentro de esta última división se mencionan, entre otras, las competencias para desempeñarse efectivamente en equipos de trabajo y para comunicarse con eficacia, lo

que implica, entre otras capacidades, las de comunicarse en forma oral y escrita, de manera concisa, clara y precisa, produciendo textos técnicos rigurosos y convincentes y utilizando y articulando de manera eficaz distintos lenguajes (formal, gráfico y natural). Incluye asimismo la capacidad para manejar herramientas informáticas apropiadas para la elaboración de informes y presentaciones.

## 2. La Rúbrica o matriz de valoración

Una rúbrica o matriz de valoración es un instrumento metodológico, formativo y de evaluación, que consiste básicamente en una tabla donde se enumeran y especifican, lo más clara y objetivamente posible, los criterios de evaluación que serán tenidos en cuenta para un determinado trabajo, proyecto o problema, asignado a un estudiante o a un grupo de ellos. Son, en definitiva, escalas de calificación que se utilizan para realizar evaluaciones de desempeño.

Algunas de las características de las rúbricas son claramente beneficiosas para los procesos de enseñanza y aprendizaje, tanto para los profesores como para los estudiantes: son fáciles de usar por el profesor y de explicar a los estudiantes; incrementan la objetividad del proceso evaluador: los criterios son conocidos de antemano, no pueden ser modificados arbitrariamente; sirven para evaluar procesos, no solo resultados; facilitan el desarrollo de las competencias.

Existe una relación directa entre las rúbricas y la evaluación orientada al aprendizaje, expresión introducida por Carless [7] quien considera las actividades de evaluación como actividades de aprendizaje. Según este autor, la evaluación debería ser diseñada según tres principios: a) para estimular las buenas prácticas de aprendizaje entre los estudiantes; b) para involucrar a los estudiantes en forma activa con la calidad de su desempeño académico y el de sus compañeros y c) para obtener una realimentación oportuna y con miras al futuro con el fin de apoyar el aprendizaje actual y futuro de los estudiantes.

Las rúbricas de evaluación pueden ser holísticas (también llamadas comprensivas) o analíticas, dependiendo del propósito educativo. Las rúbricas holísticas permiten hacer una valoración de conjunto del desempeño del estudiante

sin determinar o definir los aspectos fundamentales que corresponden al proceso o tema evaluado. Lo que importa es la calidad, el dominio y la comprensión general, no sólo del contenido específico sino también de las competencias que incluye la evaluación en un proceso global [1].

En tanto, las rúbricas de evaluación analíticas, desglosan los aprendizajes en tareas específicas y utilizan criterios cuantitativos, de tal manera que el profesor evalúa por separado las diferentes partes del producto o desempeño, para posteriormente sumar el puntaje y obtener una calificación [8].

Entre las consideraciones que deben hacerse durante el proceso de construcción de una rúbrica, se incluyen:

- Introducir un número razonable de parámetros de evaluación (dimensiones o criterios);
- Evitar los criterios de evaluación demasiado específicos o demasiado generales;
- Evaluar sólo aquellos parámetros que puedan ser enseñados/aprendidos;
- Utilizar descripciones objetivas.

No se puede dejar de mencionar que las rúbricas constituyen en la actualidad un método de evaluación extendido en la enseñanza obligatoria, particularmente en el ámbito anglosajón, pero con una consideración aún escasa en nuestro contexto. Quizás una de las explicaciones pueda encontrarse en la resistencia de los docentes universitarios a introducir este tipo de herramientas no convencionales de evaluación, con fundamento en las controversias sobre su fiabilidad y validez para valorar las elaboraciones de los estudiantes (algunos autores lo atribuyen en parte a la escasa formación docente y sobre técnicas de evaluación) [9].

Para la presente experiencia se ha optado por una rúbrica del tipo holística pues éstas permiten hacer una valoración de conjunto del desempeño del estudiante sin determinar o definir los aspectos fundamentales que corresponden al proceso o tema evaluado. Lo importante es la calidad, el dominio y la comprensión general, no sólo del contenido específico sino también de las competencias que incluye la evaluación en un proceso global [1]. Para el diseño se tuvo en cuenta: la validez de contenido, la validez de construcción, la practicidad y la utilidad.

## 2.1 Diseño de la rúbrica

Como en todo proceso de enseñanza y aprendizaje, la evaluación es una cuestión fundamental, ya que permite comprobar el cumplimiento de los objetivos propuestos y conocer si el proceso de formación en general se desarrolla de la forma esperada.

La evaluación de informes de trabajos prácticos de laboratorio mediante la rúbrica diseñada, permite al estudiante conocer con antelación los criterios principales que debe tener en cuenta a la hora de realizar su trabajo y mediante los cuales será evaluado, proceso tendiente a desarrollar competencias específicas estrechamente relacionadas con su formación profesional.

Con estas premisas un grupo de docentes de la asignatura Química General I de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Mar del Plata analizaron y seleccionaron los parámetros que a su criterio debían formar parte de la valoración de los informes de los trabajos prácticos de laboratorio realizados por los estudiantes.

De esta manera se elaboró una rúbrica con ocho categorías o niveles de logro: presentación, redacción de objetivos, redacción de procedimientos, cálculos, elaboración y presentación de gráficos, análisis de datos, selección y análisis de las fuentes de error y redacción de conclusiones.

Se han determinado estos ocho criterios con el objetivo de cubrir un espectro amplio de la generalidad de la evaluación para la competencia genérica que comprende la capacidad de comunicarse en forma eficaz por escrito, bajo la modalidad de informe de resultados en prácticas de laboratorio.

La desagregación de la competencia en los distintos criterios proporciona un esquema simplificado del proceso de elaboración y presentación de informes, con una óptica genérica e independiente de la disciplina en que se aplique.

Para cada criterio fueron definidos tres descriptores: Bien (B); Regular (R) y Necesita Mejorar (NM). La selección de estos niveles se completa con descripciones particulares que establecen claramente las pautas para distinguir entre cada uno de los descriptores para cada criterio de evaluación.



Con los resultados preliminares de su aplicación y a la vista de la motivación de los docentes y de los estudiantes se decidió su utilización en otras asignaturas de la Facultad de Ingeniería que realizan actividad experimental. Para utilizarla con tal fin se consideró que debía realizarse un proceso de validación de la misma, el que se detalla a continuación.

### 2.2 Validación de la rúbrica

Para llevar adelante el proceso de validación fue necesario diseñar y probar instrumentos adecuados para relevar la impresión de los docentes que utilizan la rúbrica como instrumento de evaluación y la de los estudiantes que son evaluados con ese instrumento.

La medición de la percepción relacionada con la validez de la rúbrica fue realizada a través de dos cuestionarios específicos, uno para estudiantes y otro para docentes, con escala tipo Likert de cinco niveles que va desde “totalmente en desacuerdo” (1) hasta “totalmente de acuerdo” (5). Para el diseño de los cuestionarios se tuvo en cuenta lo que propone García-Ros en su trabajo sobre análisis y validación de rúbricas [9].

Los cuestionarios utilizados abarcan dos ejes principales, el primero de ellos está orientado a evaluar la percepción de utilidad (Tabla 1) y el segundo está orientado a evaluar la validez de la rúbrica (Tabla 2). En todos los casos las preguntas son cerradas, teniendo la posibilidad de agregar otra información al final del cuestionario. Respondieron los cuestionarios 55 estudiantes y 9 docentes en forma anónima y voluntaria, que fueron seleccionados con una técnica de muestreo simple, no probabilístico y representativa de la población general (cerca del 25% de los estudiantes y 50% de los docentes).

### Resultados

El análisis de resultados se ha realizado conforme los modelos tradicionales de evaluación de encuestas de opinión [10], [11].

En las Tablas 1 y 2 se muestran los resultados obtenidos para los descriptivos utilizados.

**Tabla 1.** Descriptivos sobre la percepción de la utilidad de la rúbrica

Estudiantes			Docentes		
La rúbrica me ha resultado útil para...	M	d.s.	Resultado útil para que el estudiante...	M	d.s.
1. Tener en claro lo que se me pedía	4,0	0,6	1. Tenga en claro lo que se le solicita	4,2	1,0
2. Planificar la elaboración del informe y su presentación	3,8	0,6	2. Planifique la elaboración del informe y su presentación	4,0	0,8
3. Revisar lo que iba haciendo para ajustarlo a los criterios establecidos	3,9	0,7	3. Revise lo que va haciendo para ajustarlo a los criterios establecidos	4,3	0,7
4. Darle cuenta que el informe presentado es adecuado	4,0	0,6	4. Reconozca si el informe presentado es adecuado	4,1	0,8
5. Guiarme durante el armado del informe	3,6	0,7	5. Se guíe en el desarrollo del informe	4,0	0,7
Cree que la rúbrica me ha permitido...	M	d.s.	Le permite al estudiante...	M	d.s.
6. Mejorar la realización del informe	3,8	0,8	6. Mejorar la realización del informe sobre la práctica de laboratorio	4,1	0,8
7. Facilitar el desarrollo del informe	3,5	0,7	7. Facilitar el desarrollo del informe	3,8	0,8
8. Disminuir mi "ansiedad" en la realización del informe	2,7	0,7	8. Disminuir la "ansiedad" en la realización del informe	3,1	0,6
9. Conocer mejor los criterios de evaluación del informe	4,0	0,7	9. Conocer mejor los criterios de evaluación del informe	4,3	0,5

En las tablas se indican los valores<sup>1</sup> medios (M) obtenidos, con su desviación estándar muestral (d.s.) asociada<sup>2</sup>, como indicador de dispersión y rango de aplicación del resultado.

Respecto de la percepción sobre la utilidad de la rúbrica se observa que tanto los estudiantes como los docentes responden de forma positiva superando en ambos casos la media teórica del cuestionario, destacándose la valoración más baja para el ítem referido a la “disminución de la ansiedad” en la realización del informe.

**Tabla 2.** Descriptivos sobre la percepción de la validez de la rúbrica.

Respecto de la validez de la rúbrica como herramienta de evaluación de la competencia “comunicación eficaz” aplicada a la realización de informes de laboratorio, se debe observar que las cuestiones 14, 16 y 17 han sido redactadas desde la negativa, lo que constituye un indicador de coherencia, dado que la pregunta propuesta de forma negativa arroja resultados

Estudiantes			Docentes		
Pienso que la rúbrica...	M	d.s.	Pienso que la rúbrica...	M	d.s.
10. Contempla los elementos principales del desarrollo de un informe de práctica de laboratorio	3,9	0,6	10. Contempla los elementos principales del desarrollo de un informe de práctica de laboratorio	4,3	0,7
11. Permite mostrar que he adquirido competencias importantes para realizar informes de prácticas de laboratorio	3,6	0,7	11. Permite mostrar que el estudiante ha adquirido competencias importantes para realizar informes de prácticas de laboratorio	3,7	0,8
12. Me ha permitido desarrollar criterios que aplicaré en situaciones futuras	3,6	0,6	12. Permite al estudiante desarrollar criterios aplicables en situaciones futuras	3,8	0,8
13. Es una herramienta confiable (mide adecuadamente la calidad del informe)	3,6	0,7	13. Es una herramienta confiable (mide adecuadamente la calidad del informe)	3,9	0,9
14. Incorpora criterios muy específicos pero poco útiles	2,8	0,7	14. Incorpora criterios muy específicos y poco útiles en otras situaciones	2,3	0,5
15. Me ha facilitado adquirir los criterios para una adecuada ejecución del informe	3,6	0,8	15. Facilita la adquisición de los criterios para realizar una adecuada evaluación de un informe de práctica de laboratorio	3,7	0,7
16. Tiene excesivos criterios	2,6	0,7	16. Incorpora demasiados criterios	2,3	0,5
17. Integra criterios muy genéricos	3,1	0,7	17. Integra criterios muy genéricos	2,8	0,8
18. Contempla los elementos principales para el desarrollo del un informe	4,1	0,8	18. Contempla los elementos principales para realizar la evaluación de un informe de práctica de laboratorio	4,0	0,7



complementarios a los obtenidos en los descriptores redactados de manera afirmativa.

#### 4. Discusión y conclusiones

El grado de convergencia en la percepción tanto de estudiantes como de docentes en líneas generales sobre la utilidad y la validez de la rúbrica es elevado. Se obtuvieron valoraciones positivas en la amplia mayoría de los descriptivos, superiores a la media teórica prevista para el cuestionario.

Para el grupo de los estudiantes, el valor máximo se encuentra en la característica abarcativa de la rúbrica, en la percepción de que la misma “contempla los elementos principales para el desarrollo del informe”.

Los estudiantes coinciden en que la rúbrica les ha permitido desarrollar criterios aplicables a situaciones futuras, lo que es un indicador claro de desarrollo de la competencia deseada. Es de destacar que la referencia a la posibilidad de autoevaluación también es valorada con la percepción más alta, como se desprende del descriptor número 4, “darme cuenta que el informe presentado es adecuado”.

En el caso de los docentes, las puntuaciones más elevadas han convergido sobre los mismos tópicos pero debe destacarse que se ha valorado de manera muy positiva la importancia de la rúbrica para la identificación de objetivos y la percepción de que la rúbrica es útil para guiar el paso a paso de la elaboración del informe. En general se observa una sobre estimación de los parámetros de percepción de la utilidad de la rúbrica en el conjunto docente respecto de los estudiantes.

Asimismo, en el grupo docente se observa la mayor dispersión de respuestas en torno a la percepción de que la rúbrica “es una herramienta confiable (mide adecuadamente la calidad del informe)”. Particularmente esta observación es consistente con la percepción mostrada en el descriptor 16, referido a la cantidad de criterios de evaluación incorporados a la rúbrica, donde por inferencia complementaria se desprende que el grupo de docentes podría considerar de algún modo incompleto el diseño actual de la rúbrica.

Es de destacar la opinión adicional de los do-

centes: “me parece útil para unificar criterios entre docentes, sin embargo es flexible en una medida justa para que cada docente haga uso del instrumento...”.

Se considera que, en base a los resultados del estudio de validación de la rúbrica propuesta, el diseño de la herramienta de evaluación de informes de trabajos prácticos de laboratorio es adecuado no solo para cumplir con el objetivo de la evaluación sino para promover el desarrollo de la competencia “comunicación eficaz”, mediante la realización de informes técnicos escritos.

En la actualidad la rúbrica diseñada para la evaluación de informes de trabajos prácticos de laboratorio se está utilizando en la asignatura Química General I, asignatura de 1º año común a las diez carreras de Ingeniería, y en Química General II, asignatura de 2º año de las carreras de Ingeniería Química e Ingeniería en Alimentos. Y con la intención de generalizar y extender el uso a otras asignaturas de corte experimental, se está comenzado a implementar en dos asignaturas más: Física Experimental de 3º año de las diez carreras de Ingeniería y Electrotecnia 2 de 3º año de las carreras de Ingeniería Eléctrica e Ingeniería Electromecánica.

#### Referencias

1. I. Puigdemívol, N. García Aguilar, and V. Benedito, “Rúbricas, más que un instrumento de evaluación,” in *Aprobar o aprender. Estrategias de evaluación en la sociedad red.*, 2012, pp. 65 – 92.
2. C. Belloch, “La evaluación en la formación virtual.” Unidad de Tecnología Educativa (UTE). Universidad de Valencia, 2007.
3. S. Celman, ¿Es posible mejorar la evaluación y transformarla en herramienta de conocimiento? En *La evaluación de los aprendizajes en el debate didáctico contemporáneo*. pp. 35–66. Ed. Paidós, 1998.
4. J. Freed and M. Huba, *Learner-centered assessment on college campuses: Shifting the focus from teaching to learning*. Boston: Allyn and Bacon, 2000.
5. P. Ahumada Acevedo, *Hacia una evaluación auténtica del aprendizaje*. Paidós, 2005.
6. CONFEDI, (2006). Documento de

Definiciones de Competencias Genéricas de las Carreras de Ingeniería. Recuperado de <http://www.confedi.org.ar/content/competencias-genéricas-de-egreso>

7. D. Carless, "Learning oriented assessment: conceptual bases and practical implications," *Innov. Educ. Teach. Int.*, vol. 44, no. 1, pp. 57–66, Feb. 2007.

8. M. J. M. Torres, J. M. R. Lirio, E. E. Olmedo, R. L. Soriano, I. F. Ferrero, and M. Á. F. Izquierdo, "Aplicación de las rúbricas de evaluación en la docencia on-line," in *jac-11, Jornada sobre Aprendizaje Cooperativo SPIEU, USE-UJI*, 2011.

9. R. García-Ros, "Análisis y validación de una rúbrica para evaluar habilidades de presentación oral en contextos universitarios", *Electronic Journal of Research in Educational Psychology*, vol. 9, núm. 25, pp. 1043-1062, Universidad de Almería, España. Diciembre 2011.

10. Ma. de Lourdes Fournier G. y Carlos Lazcano Herrera, "Notas sobre realización y proceso de encuestas de opinión", Departamento de Política y Cultura, Programa de Superación Académica, Universidad Autónoma Metropolitana, México. 2009.

11. INEGI. "Proceso estándar para encuestas por muestreo". *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*. México. 2010.

1. La media aritmética es el valor promedio de los datos, es decir el resultado de sumar todos los valores de una variable y dividirlo entre el total de valores.

2. La desviación estándar es un promedio cuadrático de desviaciones. Se trata de una medida importante para evaluar la representatividad de las medidas de tendencia central y para conocer en qué grado se encuentran diseminados los datos.

# La formación de ingenieros desde las competencias creativas

Olga Carabús y Carlos Savio

## Resumen

Las universidades deben formar ingenieros en número, orientación y solidez científica y humana para emprender los programas estratégicos de hoy.

Ingenieros especializados y de calidad mundial, que atiendan la competitividad y el desarrollo económico y social y de sensibilidad humana, que se preocupen y se ocupen de ingeniar soluciones para las grandes calamidades que agobian a la humanidad.

Se requiere una adecuación curricular para la formación del ingeniero desde una didáctica de la creatividad, sistémica e integral.

Se propone el desarrollo de competencias creativas vinculadas con los modos de actuación profesional que aseguren el éxito del desempeño laboral y se presenta una autoevaluación de las competencias creativas de los alumnos que ingresan a las carreras de ingeniería de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas de la Universidad Nacional de Catamarca. Tales competencias se agrupan en: personales, autoconciencia y autocontrol, y sociales, conciencia social y habilidades sociales.

*Palabras Clave:* competencias, creatividad, didáctica, personales, sociales.

## 1. Introducción

Las instituciones de educación superior no están formando los ingenieros en número, orientación y solidez científica y humana para emprender los programas estratégicos que la hora actual requiere.

En nuestro país se necesitan más y mejores ingenieros, ingenieros especializados y de calidad mundial, para poder atender la competitividad y el desarrollo económico y social en todos los países y en cada comunidad, y de sensibili-

1. Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas de la Universidad Nacional de Catamarca, Argentina.

olca@arnet.com.ar

carloshsavino@tecno.unca.edu.ar

dad humana, que se preocupen y ocupen de ingeniar soluciones para paliar las grandes calamidades que agobian a la humanidad de hoy.

A lo largo de la última década se han dado profundos cambios en el paradigma educativo, contexto en el cual las competencias han adquirido un papel clave. En este sentido, las universidades han de acreditar específicamente que los estudiantes poseen ciertas competencias al terminar los estudios, las cuales deben ser, además, potencialmente útiles para desarrollar su actividad profesional futura [1].

La Academia Nacional de la Ingeniería Argentina, al tratar la enseñanza de la ingeniería, destaca el surgimiento de la llamada “nueva ingeniería” que da una mirada superadora de la actividad de los ingenieros concebida como fundamentalmente técnica y concentrada en el desarrollo de su respectiva especialidad.

Esta nueva mirada se impone porque el desarrollo de los países, las necesidades de infraestructura, el crecimiento de las necesidades de servicios para una población creciente y con mayores demandas, las comunicaciones y la interrelación global obligaron a cubrir necesidades que modificaron la actividad del ingeniero en sus etapas de más elevada responsabilidad.

Y dice la mencionada Academia de Ingenieros que por su formación, el ingeniero es el profesional mejor preparado para encarar problemas globales, planificaciones integrales que hacen al bienestar de la sociedad, al crecimiento

de la economía y al desarrollo de los países. La ingeniería evoluciona así a ser una profesión técnica, social y humana.

Y asegura además, que es el ingeniero el que debe en este contexto tomar las decisiones y planificar sistemas teniendo en mente que la concepción de un proyecto, inversión, nueva industria o servicios debe compatibilizar la mejor solución técnica con su impacto, en la sociedad y su desarrollo. Y por lo tanto, la responsabilidad social empresaria es parte de sus decisiones. Es así que las consecuencias en el medio ambiente y la inducción al desarrollo de nuevos proyectos e inversiones son parte ya de su agenda diaria.

La “nueva ingeniería” integra en la concepción de un proyecto, en igual nivel al de excelencia tecnológica, el impacto social, ambiental y de desarrollo. Al tener que integrar, es sistémica y holística.

Por eso consideramos que los procesos formativos deben ser orientados al desarrollo de competencias creativas, y hacer de la profesión del ingeniero un servicio más pertinente a las demandas que hace el mundo del trabajo, ofreciendo a los estudiantes aprendizajes socialmente significativos que los habiliten para operar con eficiencia y eficacia en cualquier contexto que se desempeñen.

### Hacia la formación de ingenieros creativos

En este nuevo contexto, las universidades deben ser cuidadosas a la hora de definir las competencias que ha de lograr el estudiante a través de los nuevos cursos de grado.

El término “competencia” ha adquirido una gran importancia dentro del paradigma educativo actual. Partiendo de la definición de Bikfalvi y otros [2], las competencias se refieren a “los atributos, conocimientos, habilidades, experiencia y valores que una persona necesita para llevar a cabo sus tareas”.

Se propone el desarrollo de competencias creativas vinculadas con los modos de actuación profesional del ingeniero ya que se considera que tales competencias aseguran el éxito del desempeño laboral futuro ante el reto que impone la sociedad actual.

En este trabajo se presenta una autoevaluación de las competencias creativas, personales

y sociales, de los alumnos que ingresan a las carreras de ingeniería de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas de la Universidad Nacional de Catamarca.

Tales competencias se agruparon en personales, autoconocimiento y autocontrol, y sociales, conciencia social y habilidades sociales.

Por otra parte las competencias se pueden enseñar y aprender y de cada una de ellas se pueden diferenciar niveles de dominio. Una competencia supone un dominio continuo que va desde un nivel “cero” (carecer de la competencia) hasta un dominio máximo (ser experto).

Para evaluar las competencias creativas hemos establecido el sistema de evaluación por “rúbricas” o matriz de evaluación.

Enseñar y aprender competencias requiere poner en común la competencia en el proyecto formativo, esto es, la descripción, los niveles de dominio, los indicadores establecidos (dimensiones o componentes de la competencia) y sus descriptores de ejecución (la conducta observable).

Trabajamos con las competencias creativas que consideramos que van desde la capacidad y habilidad de innovar y crear, hasta la de adaptarse a los cambios. Son las competencias que se creen necesarias para conformar el perfil académico pertinente y necesario para los ingenieros de la hora actual. Conocemos que existen las llamadas competencias específicas y genéricas del perfil profesional del ingeniero. Las que llamamos competencias creativas son precisamente las que integran las competencias genéricas o transversales con las específicas.

Sostenemos esta hipótesis en la investigación que realizamos porque una competencia creativa permite y potencia la integración de una serie de elementos (conocimientos, técnicas, actitudes, procedimientos, valores) que una persona pone en juego en una situación problemática concreta demostrando que es capaz de resolverla.

El enfoque del aprendizaje basado en las competencias se asienta en la responsabilidad de aprender del estudiante y en el desarrollo de sus competencias iniciales a lo largo de su carrera. El aprendizaje no se refiere sólo al conocimiento nuevo que puede y debe adquirir



el estudiante sino al modo en cómo gestiona su aprendizaje, integra las actitudes y los valores, y cómo aplica sus conocimientos previos a situaciones nuevas y aplica las técnicas y métodos en sus modos de actuar y afrontar situaciones.

Esto conlleva una nueva forma de ser profesor y de ser estudiante, con cambios sustanciales en las concepciones filosóficas, pedagógicas y didácticas del aprendizaje.

Por otra parte se requiere de un proceso de autorregulación para el logro de las competencias, que distinga estos aspectos claramente:

**Orientación a la tarea:** establecer una relación entre los factores personales (conocimientos previos, intereses y motivaciones) y factores situacionales (métodos de enseñanza, demandas de la tarea, demandas de la evaluación, recursos disponibles).

**Toma de decisiones:** definir metas y acciones estratégicas de resolución.

**Ejecución de acciones:** ejecutar acciones y aplicar estrategias de acuerdo a la demanda de la tarea (supone tener un control sobre el proceso: autodominio- autorregulación).

**Evaluación:** autorreflexionar y autoevaluar el proceso y los resultados.

La evaluación es quizás el proceso más importante para la formación en la creatividad. Por ello nos planteamos no sólo el modo de evaluar las competencias creativas en esta primera instancia sino también de la instrumentación de un sistema de evaluación de la creatividad que retroalimente su desarrollo. Y esto implica mirar con otras perspectivas a todo el proceso de la evaluación: la evaluación es la que determina el modo en que los alumnos aprenden. Sólo a través de cambios en este proceso se pueden generar cambios en el aprendizaje.

Además con un sistema de evaluación de alta calidad los alumnos pueden confiar en la calidad de su formación y el mundo del trabajo puede confiar en los estudiantes calificados.

### **3. Autoevaluación de las competencias creativas**

En el proyecto de investigación que comenzamos a ejecutar desde este año en la cátedra de Análisis Matemático I de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas de la Universidad

Nacional de Catamarca, nos preparamos para realizar la autoevaluación de las competencias creativas de los alumnos como punto de partida para la posterior indagación.

Para ello hemos construido un instrumento específico para relevar tales competencias creativas.

Para el análisis de las competencias creativas personales consideramos el autoconocimiento y el autocontrol porque son las que viabilizan la gestión del proceso creativo. En el autoconocimiento, incluimos la conciencia emocional, la confianza en sí mismo, el poder de autoevaluación, la capacidad cognitiva, el pensamiento crítico, la habilidad conceptual y la competencia lingüística. En el autocontrol, tomamos en cuenta, la honradez, la flexibilidad, la innovación, la búsqueda de información, la tolerancia al estrés, la eficiencia productiva, responsabilidad, la calidad de decisiones, la orientación a objetivos, la iniciativa, el optimismo y el compromiso.

Para el estudio de las competencias creativas sociales hemos tomado en cuenta la conciencia social y las habilidades sociales. En la primera consideramos: la preocupación y ocupación por el desarrollo de los demás, la comprensión de los otros y el aprovechamiento de la diversidad. Entre las habilidades sociales tomamos en cuenta la gestión de conflictos, la comunicación, el liderazgo, la colaboración e integración en el grupo y la construcción de relaciones.

#### **3.1 Diseño de la experiencia**

Existen múltiples métodos de evaluación de competencias, algunos de los cuales pueden dar cuenta de manera directa de la capacidad del individuo de desarrollar con éxito una tarea, como son los métodos de observación directa, participante o de laboratorio, simulación y otras evidencias en el desempeño; o el grado de competencia puede inferirse a través de evidencias como las proporcionadas por las medidas psicométricas o el autorreporte y/ o reporte de terceros, a través de cuestionarios, entrevistas individuales y grupales.

Los métodos difieren respecto de la confiabilidad, factibilidad de aplicación, costo y capacidad predictiva, por lo que la selección deberá considerar tales variables, además de los obje-

tivos de la evaluación, el entrenamiento de los evaluadores y el contexto general de la evaluación.

En esta investigación seleccionamos el autorreporte y reporte de pares, junto con la observación directa a través de las técnicas de cuestionario de autoevaluación y heteroevaluación y simulación.

El autorreporte da una medida confiable dado que la información solicitada no es percibida como amenazante por el evaluado y tiende a mostrar una alta consistencia con la heteroevaluación o reporte de terceros. Por otra parte, el formato de cuestionario autoadministrado, es económico y permite una aplicación masiva.

Entre las desventajas del autorreporte está la deseabilidad social, es decir la tendencia de los evaluados a mostrar una imagen favorable de sí mismos. Por otra parte la confiabilidad de la heteroevaluación está condicionada al grado de conocimiento del otro y por los componentes afectivos de la relación evaluador-evaluado y hacer referencia a ello más que al comportamiento objetivo que se pretende conocer.

### 3.2 Diseño de los instrumentos

Cuestionario de autoevaluación y heteroevaluación

El diseño del instrumento implicó:

- Identificación de los componentes, elaboración y selección de ítems para cada componente.

- Definición y selección de categorías de respuesta del cuestionario y su escala de evaluación

- Validación de expertos

- Aplicación piloto a muestra de estudiantes

- Rediseño de los instrumentos

De acuerdo a estos pasos se elaboró un cuestionario de autoevaluación cuyo objetivo fue conocer la percepción del evaluado respecto a la frecuencia que manifiesta determinados comportamientos o actitudes.

Las categorías de respuesta para cada instrumento de autorreporte fueron codificadas con puntajes de 1 a 2,9 cuando "nunca" o "rara vez" se presenta el comportamiento y entre 3 y 4 cuando "casi siempre" y "siempre" presenta el comportamiento.

Un segundo cuestionario de heteroeva-

luación está destinado a recoger información respecto a la frecuencia de conductas desde la perspectiva de un par o compañero.

Ejercicio de simulación

Los pasos en el desarrollo de la técnica fueron los siguientes:

- Establecimiento de los comportamientos a evaluar durante el ejercicio

- Selección del ejercicio de simulación

- Elaboración de la pauta de observación

- Establecimiento de criterios de logro

- Validación de expertos

- Rediseño de instrumentos

En este trabajo consideramos el instrumento de autoevaluación de las competencias creativas.

### 3.3 Competencias creativas

Entre las competencias creativas consideramos las personales y las sociales. Esta clasificación se realiza a partir de la adopción de un concepto más amplio de inteligencia que considera las inteligencias personales de Gardner [3]. Se habla de inteligencia emocional como un aspecto de la inteligencia social que conlleva la capacidad de controlar nuestras emociones y las de los demás, discriminar entre ellas y usar dicha discriminación para guiar nuestros pensamientos y sentimientos.

Las competencias sociales son entendidas como capacidades o aptitudes empleadas por una persona cuando interactúa con otras en un nivel interpersonal.

Consideramos como competencias creativas personales a la autoconciencia y la autoadministración, y creativas sociales a la conciencia social y las habilidades sociales.

Tabla 1- Tabla de especificaciones de las competencias creativas personales

Competencias	Indicadores de logro
Competencias creativas personales:	
1) Autoconocimiento o autoconciencia: reconocer los propios estados internos, impulsos, preferencias y recursos y como afectan a su propia actuación	Reconoce sus propias emociones y sus efectos y sus creencias. Reconoce sus impulsos y sus efectos. Reconoce sus fortalezas y debilidades. Tiene confianza en su propio valor y sus facultades personales. Realiza su propia evaluación personal.
2) Autocontrol: controlar los propios estados internos, impulsos, preferencias y recursos	Controla las situaciones estresantes y de hostilidad sin tener comportamientos similares. Mantiene normas de integridad y honestidad, es decir, da a conocer a los otros sus propias creencias, intenciones y sentimientos y actúa en función de ellos. Acepta la responsabilidad del desempeño siendo cuidadoso, autodisciplinado y escrupuloso en el cumplimiento asumido. Adopta cambios en los modos de actuar abandonando modos antiguos e ineficientes y controlando la ansiedad e incertidumbre. Busca el logro de objetivos y esfuerzo por mejorar y cumplir una norma de excelencia, pensando en el éxito con optimismo y sorteando obstáculos y reveses. Demuestra interés por ideas y enfoques novedosos y la nueva información, con proactividad.

Tabla 2- Tabla de especificaciones de las competencias creativas sociales

Competencias	Indicadores de logro
Competencias creativas sociales	
1) Conciencia social: comprender el comportamiento de otras personas y grupos	Percibe y comprende los sentimientos y perspectivas ajenas. Demuestra interés activo por la atención de las preocupaciones ajenas. Muestra sensibilidad y comprensión por las emociones ajenas. Reconoce e interpreta las emociones y relaciones de poder de un grupo. Establece redes y coaliciones grupales para el logro de los objetivos planteados. Prevé, reconoce y satisface las necesidades de los otros ofreciendo servicios para paliar tales necesidades.
2) Habilidades Sociales: manejar las relaciones interpersonales e inducir en los otros las soluciones deseables	Manifiesta liderazgo en los grupos e individuos para el logro de objetivos. Transmite entusiasmo por una visión y misión compartida. Lidera con el ejemplo al grupo. Muestra habilidad para escuchar y transmitir mensajes claros y contundentes. Da y recibe información emocional. Comparte información y es receptivo a todo tipo de mensajes y comunicación. Aplica tácticas efectivas para la persuasión. Maneja y estimula los estados de ánimos para reorientar las interacciones hacia una mejor dirección. Reconoce la necesidad de cambio y orienta habilmente al mismo. Negocia y resuelve situaciones de conflicto. Alienta relaciones y redes interpersonales para una gestión más efectiva en el grupo. Muestra habilidad para trabajar en grupo. Crea sinergia grupal para alcanzar las metas colectivas. Percibe las necesidades de desarrollo ajenas y fomenta sus competencias.

#### 4. Conclusión

Se pretende atender la formación del ingeniero según los requerimientos actuales y se sostiene la hipótesis de que el conocimiento de las competencias por parte de los estudian-

tes es una herramienta útil para el abordaje y culminación de sus carreras. El estudiante debe acreditar el desarrollo de competencias que son potencialmente útiles en las actividades profesionales y en la sociedad en general.

En nuestra investigación abordamos las competencias creativas y pretendemos elaborar un modelo teórico de una didáctica sistémica e integral para la creatividad e innovación en la formación de ingenieros, sostenido en las hipótesis filosóficas, pedagógicas y conceptuales, recogidas de la experiencia docente en las Carreras de Ingeniería de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas de la Universidad Nacional de Catamarca[4].

Pérez de Cuellar sostiene que: “Este momento realmente extraordinario de la historia requiere soluciones de excepción... Se necesita imaginación, capacidad de innovación, visión y creatividad. Nuevas alianzas a nivel global son un elemento indispensable para resolver creativamente los problemas, una cualidad que requiere que estemos dispuestos a plantear preguntas audaces en lugar de remitirnos a las respuestas convencionales” [5].

Por ello se hace necesario el ejercicio en el pensamiento creativo y emprendedor junto al pensamiento racional, lógico y tecnológico de las ingenierías, desde cualquier espacio curricular, fomentando nuevos puntos de vista pedagógicos y didácticos para facilitar la adquisición de técnicas, competencias y capacidades de comunicación, análisis crítico, pensamiento independiente y trabajo en equipo en contextos multiculturales, donde la creatividad también implica combinar el saber y los conocimientos locales y tradiciones con la ciencia y las tecnologías avanzadas [6].

Y así comenzar a ejercitar la Didáctica de la Creatividad en las aulas universitarias.

#### Referencias

1. Carabús, O. Líneas estratégicas para el cambio en la Universidad Nacional de Catamarca. Una mirada desde la ecología universitaria argentina y latinoamericana. Centro Editor de la Universidad Nacional de Catamarca. (2007)
2. Bikfalvi A., Pagés J. L., Kantola J., Marqués P., Mancebo N. Complementing Education

with competent development an ICT-based application. *International Journal Management in Education*. Vol 1, nº 3, 231-250 (2007)

3. Gardner, H. *Estructura de la Mente. Teoría de las Inteligencias Múltiples*. Fondo de Cultura Económica (1995)

4. Carabús, O., Savio C. "Una didáctica para la formación de ingenieros creativos". *Producción Científica de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas*. SECYT UNCa. (2013)

5. Pérez de Cuellar, J. "Nuestra Diversidad Creativa. Informe de la Comisión Mundial de Cultura y Desarrollo". UNESCO, México. (1997)

6. Ortega, V. "El ingeniero creativo en la sociedad del conocimiento". ETSI. *Telecomunicación*. Universidad Politécnica de Madrid. (2007).



# Análisis técnico-ambiental de la producción de carbonato de litio en el NOA

Andrea Nieves<sup>1</sup>, Samuel Franco Domínguez<sup>1</sup> y Enrique Tarifa<sup>2</sup>

## Resumen

El litio es un metal estratégico de importancia creciente para algunas industrias y empresas. Argentina se encuentra en el cuarto puesto mundial de producción de carbonato de litio, con expectativa de crecimiento. La administración de este recurso de manera eficiente, teniendo en cuenta las tecnologías existentes, es de gran importancia. Como toda actividad minera el estudio de impacto ambiental es de gran interés, y éste en especial abre un debate intenso por su impacto en el agua de la zona explotada. En este trabajo, se caracteriza el litio y se analizan las reservas existentes y las técnicas disponibles para su explotación. También se analiza el impacto ambiental y la situación en el NOA.

*Palabras clave:* Litio, carbonato de litio, magnesio, tecnología de extracción, agua.

## Introducción

El litio, de carácter único gracias a sus propiedades físicas y químicas, ha desarrollado un mercado diversificado que creció en forma significativa en los últimos años. El 82% de las reservas descubiertas de litio del mundo se encuentran en la zona denominada el triángulo de litio, comprendida por Bolivia, Chile y Argentina; por lo tanto, el litio es un recurso mineral principalmente latinoamericano, y por ello, la discusión sobre el mismo tiene muchos sesgos regionales y principalmente andinos. En este contexto, la evolución del sector minero en la explotación de litio ha instalado un fuerte debate sobre su potencial estratégico para el futuro energético y económico; pero también ha instalado la preocupación por el impacto ambiental y social. En este sentido, los elementos de mayor preocupación son el agua, la tierra, la condición de

1. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy. Ítalo Palanca Nº 10 - 4600 San Salvador de Jujuy. andreacelez@hotmail.com, sfdominguez@yahoo.com.ar.

2. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy, CONICET. Ítalo Palanca Nº10 – 4600 San Salvador de Jujuy – eetarifa@fi.unju.edu.ar.

salud de la mano de obra y de las comunidades cercanas más afectadas, incluyendo en algunos casos comunidades indígenas asentadas en zonas alejadas de las urbes, con ecosistemas que por naturaleza son muy sensibles a los cambios climáticos.

Desde hace unos años, Argentina produce carbonato de litio, llegando a ser el cuarto productor mundial de este compuesto. Tanto la extracción del litio como la producción del carbonato son llevadas a cabo por empresas instaladas en el NOA, en especial en Jujuy y Salta. Si bien en Jujuy, los niveles de producción son todavía a escala de planta piloto, existen estudios que alertan sobre los posibles impactos ambientales. Es así que ante la comunidad, como toda actividad minera, a los posibles beneficios económicos se contraponen los posibles efectos ambientales. Más aún cuando la producción afecta un recurso escaso y vital como es el agua. Es por este motivo que es de gran importancia estudiar las tecnologías que se están empleando en el NOA para estimar el impacto que la explotación tendrá en la región.

En este trabajo, se caracteriza el litio y se analizan las reservas existentes y las técnicas disponibles para su explotación. También se analiza el impacto ambiental y la situación en el NOA, en





especial la situación de la provincia de Jujuy.

### Características del litio

El litio es un metal alcalino con número atómico 3 y peso atómico de 6,94. Tiene el símbolo representativo Li, etimológicamente su nombre proviene del griego "lithos" que significa "piedra" [1].

El volumen de los recursos mundiales de litio difiere mucho en el tiempo y de fuente a fuente, se estima que los recursos ascienden a 36,72 Mt Li, sin considerar el litio contenido en el agua del mar. A nivel de países, Bolivia alberga la mayor parte de los recursos con un 24,2% en el Salar de Uyuni, seguido por Chile con un 21,9%, considerando los salares de Atacama y Maricunga. Otros países importantes son Argentina (19,3%) y China (14,0%). Considerando los tipos de depósitos, un 82% de los recursos se encuentra en las salmueras, un 15% en minerales de rocas tanto pegmatíticas como sedimentarias (hectorita) y un 3% en otras fuentes como las salmueras geotermales o en campos petrolíferos [2].

Los mayores depósitos del mundo de litio se encuentran en el triángulo geográfico que abarca partes de Bolivia, Chile y Argentina. En esa región se encuentra aproximadamente el 85% del litio en salmueras total del mundo y el 50% de la producción mundial [3]. Algunos de los puntos más importantes cuando se evalúan un proyecto de explotación de litio en salmuera incluye:

- Concentración de litio: Es mejor una alta concentración de litio.

- Superficie del salar: La extensión de un salar determina la cantidad de salmuera disponible.

- Índice de evaporación: El índice de evaporación depende de la radiación solar, la humedad, los vientos y temperaturas. Si las condiciones climáticas no son apropiadas el ciclo de evaporación puede tomar varios años afectando seriamente la rentabilidad de la producción.

- Subproductos: Los boros y potasios pueden ser recuperados de las salmueras y refinados con el fin de aumentar la rentabilidad de la producción.

- Concentraciones de magnesio y sulfato: Un importante atributo de los depósitos de salmuera es la relación de magnesio-litio, la cual tiene un fuerte impacto en la explotación de minera-

les de litio debido a la similitud de propiedades iónicas que presentan dichos metales. El magnesio impide la formación de cloruro de litio, que es la primera etapa antes de la formación del producto final deseado: carbonato de litio. Además, una mayor concentración de magnesio significa un aumento de la cantidad de soda ash (carbonato de sodio) para que reaccione durante el tratamiento químico de la salmuera, lo que significaría un alto costo de materias primas. Por lo tanto, una baja relación de Mg/Li en la salmuera significa que es más fácil y, por lo tanto, más económico la extracción de litio. Por otra parte, los sulfatos de litio son altamente solubles, en consecuencia una alta concentración de sulfato conduciría a bajas recuperaciones de litio.

- Ubicación de la planta: Los salares donde se extraen las salmueras están ubicadas en zonas alejadas de los centros industriales, y esto incrementará la inversión inicial y los costes de transporte desde y hacia la planta.

- Diseño de piletas: Es importante el diseño y mantenimiento de las piletas adecuadas para la economía de un proyecto. El aspecto más importante en la construcción de las piletas es que sean a prueba de fugas. Otra característica deseable es que las distintas sales de las salmueras cristalicen por separado; esto es: que en cada pileta que compone el tren de concentración cristalice solo un tipo de sal [1, 2].

### Producción de litio

Según la USGS (United States Geological Survey), los países con mayor producción de litio son once; de los cuales, Chile es el líder a nivel de comercialización del mineral, aunque desde el 2005 Australia ha aumentado su participación desde 20% a 38% en 2012. Argentina se encuentra en el cuarto lugar con el 9% del mercado [2,5].

La producción de litio está dominada por cuatro compañías: 1) Talison Lithium (Tianqi Group) en Australia, es el mayor productor de litio, tiene una capacidad de producción de 110 000 tn LCE; 2) SQM (Sociedad Química y Minera de Chile) en Antofagasta (Chile); 3) Rockwood Lithium en Atacama (Chile); 4) FMC en Argentina, actualmente cuenta con un 9,9% de la pro-

ducción mundial [1].

### Tecnologías de extracción de litio

Existen varios métodos de extracción de litio partiendo desde la salmuera, dependiendo de la cantidad de otros elementos presentes en el depósito explotado. Actualmente, el método de extracción más competitivo es la evaporación solar ya que no requiere plantas complejas y además utiliza la energía del sol. Los únicos costos de producción a partir de las salmueras se deben al uso de reactivos químicos, energía y combustibles durante el proceso de purificación y precipitación; por estas características, los procesos basados en la evaporación solar actualmente tienen el menor costo productivo. Sin embargo, existen otras tecnologías que tienen ventajas frente al proceso analizado, siendo el punto más destacable la mayor velocidad de producción. Por ejemplo, la ósmosis inversa, la extracción química y la extracción por solvente reducen el tiempo de extracción de litio de meses a horas, y además tienen el beneficio de no depender del clima; no obstante, requerirán plantas más complejas y tendrán un mayor consumo de energía eléctrica. Aunque la mayoría de las nuevas tecnologías no han sido probadas a mayor escala, tienen un gran potencial para convertirse en operaciones reales y competitivas, tanto en capacidad productiva como en costo de producción [2].

### Proceso de evaporación solar

Uno de los métodos convencionales de extracción de litio es la evaporación de salmueras a partir de salares. Sin embargo, el tiempo de procesamiento se extiende entre 6 a 24 meses. En la provincia de Jujuy actualmente se encuentran ubicadas dos empresas que se encargan de la explotación de litio: Sales de Jujuy y EXAR; las plantas se localizan en los salares de Olaroz y de Cauchari, respectivamente. Las condiciones ambientales de estos salares son muy similares a las condiciones de los otros salares que actualmente se encuentran en producción en la Puna: se encuentran ubicados a 3.900 msnm, poseen un mínimo de precipitación y la tasa de evaporación de agua se estima en 2.600 mm por año, todo lo cual favorece al proceso de evaporación

solar para concentrar la salmuera. Otra particularidad de los salares de Jujuy es que presentan una baja relación de Mg/Li y una alta relación de  $SO_4/Mg$  con lo que se puede contar con una pre-etapa de remoción de magnesio previa a las pozas de evaporación solar.

### Pre-etapa de remoción de magnesio

La salmuera proveniente del salar es bombeada desde sus pozas o trincheras hasta la planta de remoción de magnesio. En la planta, el primer paso es apagar la cal viva ( $76-87\% CaO$ ). Luego, la pulpa de cal apagada se mezcla con la salmuera para precipitar el magnesio como hidróxido de magnesio. Para la eliminación de magnesio tiene un periodo de evaporación de 160 a 180 días. El calcio precipitará con los iones sulfatos presentes en la salmuera formando yeso ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ). El 70% del sulfato presente en la salmuera de alimentación se remueve de la salmuera durante este período. Este procedimiento reduce significativamente el consumo de  $CaCl_2$ , un reactivo costoso para precipitar los sulfatos. El producto resultante, que contiene hidróxido de magnesio y sulfato de calcio, es decantado en una pileta clarificadora. Periódicamente, el lodo es extraído de las piletas y enviado a un embalse confinado para el secado de las sales contenidas.

### Evaporación

Después de la remoción del magnesio, la salmuera se bombea al sistema de evaporación solar. En este sistema, las piletas operan en forma secuencial con el fin de reducir al mínimo las pérdidas de elementos valiosos por entrapamiento. Generalmente la primera sal que precipita es la halita ( $NaCl$ ) o la halita y el sulfato de calcio hidratado, si hubiera sulfatos presentes. El sulfato de sodio decahidratado (Sal de Glauber,  $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ ) es la fase estable a bajas temperaturas; a temperaturas mayores es muy probable que la fase estable sea la glaserita ( $Na_2SO_4 \cdot 3K_2SO_4$ ) y la misma cristalice. La sal cosechada se almacena o se utiliza para reforzar las paredes de los estanques. La precipitación continúa en otra pileta con la silvinita ( $KCl-NaCl$ ) y luego la silvita ( $KCl$ ). Esta última es un producto de uso industrial (fertilizante); por este motivo,

hacia el término de la precipitación de la silvinita, se transfiere la salmuera a otra pileta y se recupera la sal precipitada de KCl + silvinita para así obtener KCl por flotación diferencial. En las siguientes piletas, la evaporación de la salmuera continua y cristaliza primero la carnalita, que es un cloruro doble de potasio y magnesio ( $\text{KClMgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), y luego la bishoffita ( $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), cloruro de magnesio hidratado. Cuando la evaporación está suficientemente avanzada, la salmuera se satura en boro y se transfiere a la planta de ácido bórico, donde éste será recuperado. Cuando la salmuera logra una concentración de 0,7-1,2% de litio, se la transfiere a la planta de carbonato de litio.

### Planta de ácido bórico

La precipitación del ácido bórico se lleva a cabo en esta planta controlando el pH por la adición de ácido sulfúrico, se necesita un pH alto (9-11). El ácido bórico precipita como tetra-borato [ $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$  y  $\text{CaB}_4\text{O}_7$ ] en esta etapa se lava en contracorriente, se filtra y por último se seca.

### Planta de cloruro de potasio

Las sales cosechadas de las piletas de silvinita y carnalita se pueden tratar en una planta de flotación donde la silvinita (KCl) flota y la halita (NaCl) constituye la cola del proceso. Como insumos de esta planta se usan agentes de flotación y agua industrial para lavar el producto. La halita (NaCl, sal) es apilada en un montículo de gran impacto visual.

### Planta de carbonato de litio

Las cantidades restantes de calcio, magnesio, boro y otros elementos se eliminan de la salmuera concentrada en la planta de carbonato de litio. El proceso convencional consiste en la eliminación de boro por extracción con disolvente seguido de la eliminación de las trazas de magnesio y calcio mediante la adición de carbonato de sodio. Esto es seguido por la precipitación de carbonato de litio con soda ash a una temperatura elevada, posteriormente se realiza el lavado para lograr un producto de calidad técnica. La escasa solubilidad del carbonato de litio es una ventaja para el proceso ya que permite mantenerlo en solución hasta su precipitación en la

salmuera final. Sin embargo, también debido a la baja solubilidad del citado compuesto, la salmuera residual de la precipitación aún contiene cantidades recuperables de litio, y por lo tanto se recicla a las piletas de evaporación. Esto conlleva los siguientes beneficios:

- Aumenta el rendimiento del proceso en su conjunto, ya que se minimizan las pérdidas de elementos valiosos.

- Constituye un beneficio ambiental, puesto que no se generan residuos líquidos industriales.

- Utiliza en forma eficiente el principal insumo del proceso (salmuera).

A fin de cumplir con las especificaciones reales del mercado de carbonato de litio, se debe proceder a la eliminación del boro residual, lo cual se logra mediante un intercambio iónico con una resina selectiva. Después de la eliminación del boro, las soluciones se tratan con una mezcla de cal y carbonato de sodio (soda ash) para eliminar el magnesio residual y el calcio de la salmuera libre de boro. La salmuera se filtra para eliminar los sólidos formados: el hidróxido de magnesio y el carbonato de calcio. Posteriormente, el carbonato de litio se precipita utilizando una solución de carbonato de sodio a elevada temperatura. El carbonato de litio se filtra y se lava con agua purificada. Por último, el producto es secado, clasificado y embolsado [6, 7].

### Impacto ambiental

La minería del litio forma parte del modelo de extracción de recursos naturales. Aunque se diferencia de la minería metalífera a gran escala por no involucrar voladuras de montañas ni uso masivo de explosivos y cianuro, sí comparte el aspecto más cuestionado en los últimos años: uso monumental de agua en una región de extrema sequía. [8]

En diciembre del año 2010, la Coordinadora de Organizaciones Aborígenes de Jujuy (COAJ) solicitó a los expertos en biología Jorge Gonnet y en geología Aníbal Manzur una inspección técnica en una zona de las salinas donde semanas atrás se había realizado una prospección minera. "Consideraciones ambientales en relación con la construcción de pozos de prospección minera y/o hidrogeológica en la Salinas Grandes", se llama el informe que concluye: "Las perfora-

ciones realizadas están generando impactos y/o riesgos sobre los niveles salinos superficiales y acuíferos” [9].

Las primeras perforaciones ya presentan surgimiento de aguas de baja salinidad provenientes de acuíferos profundos, lo cual según informes científicos provocará consecuencias notables sobre el sistema salino, limitará la posibilidad de extracción de sales superficiales, y favorecerá la difusión de sales superficiales hacia acuíferos profundos de baja salinidad [10]. El doctor Fernando Díaz, geólogo forense y ambiental independiente, destaca que la extracción de la salmuera para obtener litio genera una disminución del nivel de base del agua subterránea de la cuenca, lo que produce un descenso del agua dulce fuera de los bordes de la salina, cuya consecuencia más inmediata es la desaparición de las vegas y lagunas que allí se forman, que constituyen recursos hídricos esenciales de la región. Y advierte: “Estas explotaciones afectan el ecosistema, la fauna, las migraciones de aves, los camélidos, y también la población humana que, si bien no es numéricamente alta, posee características étnicas particulares, y toda explotación que no preserve las comunidades es un etnocidio” [11]. A su vez en el 2010 se llevó a cabo la Reunión de Expertos sobre el Desarrollo Sostenible del Litio en América Latina, por la Comisión Económica de las Naciones Unidas para América Latina y el Caribe (CEPAL). En este encuentro, se concluyó que “La extracción de litio a través de la evaporación de salmueras en salares puede tener impactos significativos en el delicado equilibrio de los suministros de agua. Estudios exhaustivos de impacto medioambiental y de monitoreo son esenciales para impedir, minimizar y mitigar cualquier impacto negativo en la flora y fauna así como en los ecosistemas de los salares y las áreas adjuntas” [12].

Al realizar el estudio del proceso de litio se conoce que por cada tonelada de  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  extraídos a 4000 metros de altura, se usan 2 millones de litros de agua, se evaporan 10 millones de litros de agua de la salmuera, pudiendo afectar el acuífero. Además se deben llevar 1,8 tn de soda solway, dejando un residuo de 900 kg de NaCl en el salar [13].

### Situación de Jujuy Empresas instaladas

En la provincia de Jujuy existen dos empresas que iniciaron la explotación de los salares jujeños. A continuación en la se brinda información de cada una de ellas.

Tabla 1. Características de las empresas instaladas en Jujuy

	Exar 2015	Salas de Jujuy 2014
Minera		
Inicio de producción (año)	2015	2014
Compañía:	Lithium Americas Corp. Magna International Inc.	Orocobre Ltd.
Inversores principales	Canada 13% (componentes de vehículos), Mitsubishi Corp / Japon 4% (Productos de litio, baterías y vehículos).	Toyota Tsushu / Japon 25% en Olaroz (Productos de litio, componentes de vehículos y vehículos)
Origen %propiedad:	Canada	Australia
País origen		
Míneral	Litio y Potasio	Litio, potasio, boro
Productos	Carbonato de litio	Carbonato de litio
Ubicación	Olaroz- Caucuzai	Olaroz
Capacidad de LCE	20 000 tn	17 500 tn
Recursos de Li	2 226 000 tn	1 210 000 tn
Inversión	US\$269 mil millones	US\$207-229 mil millones
Costo de producción	1 352 US\$/tn	1 230- 1512 US\$/tn

### Polo tecnológico de litio

La provincia de Jujuy es la primera provincia que designó al litio como metal estratégico; y en este marco, la secretaria de Ciencia Tecnología e Innovación Productiva de Jujuy comenzó a desarrollar acciones destinadas a la creación de un polo tecnológico de Litio. Para ello, desde 2010 invierte en la formación y capacitación de recursos humanos con el fin de formar un equipo multidisciplinario en áreas científico-tecnológicas referentes a la cadena de valor del litio, además de conformar una red de profesionales de investigación y desarrollo tecnológico a nivel internacional. También realiza la organización de seminarios y charlas con participación de los distintos investigadores y profesionales de minería y la cadena de valor agregado al carbonato de litio.

### Conclusiones

Argentina y en especial el NOA apuestan a la explotación del litio como un factor importante de desarrollo económico. Sin embargo, esta explotación también trae aparejado un impacto ambiental. Para que los beneficios superen a los inconvenientes, es necesario emplear una tecnología adecuada en la explotación, y también es necesario que el producto final no sea el carbonato de litio, de poco valor agregado, sino que debe ser un producto del alto valor agregado como pueden ser las baterías que impulsarán los



futuros autos eléctricos. Para ello es necesario, incorporar nueva tecnología y nuevas inversiones; pero si eso no se logra, Argentina perderá una gran oportunidad de desarrollo, y terminará entregando sus reservas de litio exportando un producto de bajo valor agregado y quedándose con el impacto ambiental de la producción.

Económicas y Ambientales. Informe para el Centro de Derechos Humanos y Ambiente (CEDHA). Córdoba, Argentina (2012)

## Referencias

Moreno, L.: Lithium Industry, A Estrategic Energy Metal, Significant Increase in Demand Ahead. Euro Pacific, Canada. (2013)

Compilación de Informes sobre Mercado internacional del litio y El potencial de litio en salares del norte de Chile. Subsecretaria de Minería. Santiago, Chile. Diciembre (2013)

Garrettand, D.: Handbook of Lithium and Natural Calcium Chloride. Elsevier Ltd. (2004)

Rivera Palacio, L. E.: Del Triángulo del litio y el desarrollo sustentable. Observatorio latinoamericano de Geopolítica.

Vikstrom, H.; Davidsson, S.; Hook, M.: Lithium availability and future production outlooks. Global Energy Systems. Department of Earth Sciences. Uppsala University, Villavegen 1, SE-752 36. Suecia (2013)

Houston, J. Gunn, M.: Technical report on the salar de Olaroz lithium-potash Project. NI 43-101 report prepared for OROCOBRE ltd. Level 1, 349 Coronation Drive, Milton. Queensland 4064, Australia. 13May (2011)

ARA Worley Parsons: Preliminary Assessment and Economic Evaluation of the Cauchari-Olaroz lithium Project, Jujuy province, Argentine. NI 43-101 Technical Report. Lithium Americas. Canada, Toronto. (2011)

[www.pagina12.com.ar/diario/sociedad/3-169555-2011-06-06.html](http://www.pagina12.com.ar/diario/sociedad/3-169555-2011-06-06.html), (2014)

[www.pagina12.com.ar/diario/sociedad/3-169555-2011-06-06.html](http://www.pagina12.com.ar/diario/sociedad/3-169555-2011-06-06.html), (2014)

[http://pueblosoriginarios-serpaj-ar.blogspot.com/2011\\_07\\_01\\_archive.html](http://pueblosoriginarios-serpaj-ar.blogspot.com/2011_07_01_archive.html), (2014)

<http://revistaexactamente.wordpress.com/2011/10/25/extraccion-de-litio-en-el-norte-argentino/>, (2014)

<http://www.eclac.org/drni/noticias/noticias/3/41583/AgendaLitio.pdf>, (2014)

Aguilar, F. y Zeller, L.: LITIO. El Nuevo Horizonte Minero Dimensiones Sociales,



# Producción de biodiesel en condiciones supercríticas

Mariana Isabel De Lucca, María Cristina Gely y Ana María Pagano

Núcleo TECSE, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Olavarría, Argentina, apagano@fio.unicen.edu.ar.

## Resumen

El presente trabajo analiza la factibilidad de una planta de producción de biodiesel a partir de aceites vegetales. Se estudiaron diversas materias primas y rutas de reacción, seleccionándose el aceite vegetal de soja y la transesterificación supercrítica en una etapa como el proceso de producción óptimo. El proceso productivo propuesto consiste en la reacción bajo condiciones supercríticas de metanol y aceite vegetal, obteniéndose como producto primario biodiesel y glicerol como producto secundario. Luego de la reacción principal se realizan una serie de etapas de purificación del biodiesel, entre las que se incluyen evaporación para eliminar metanol del producto y decantación para separar el biodiesel del glicerol.

*Palabras Clave:* biodiesel, supercrítico, simulación, factibilidad.

## Introducción

El panorama actual de agotamiento de los combustibles fósiles tradicionales, se traduce en una situación en la cual la producción de petróleo no puede seguir a la demanda asociada al crecimiento económico [1].

Debido a cuestiones ambientales, económicas, sociales, y estratégicas, los biocombustibles –combustibles producidos a partir de la biomasa y por tanto una energía renovable- han adquirido una importancia y valoración creciente. Ambientales, a razón de las implicancias de su uso en la reducción de las emisiones de carbono; económicas, por las perspectivas de agotamiento de combustibles fósiles frente al crecimiento continuo de la demanda, la potencialidad del sector agropecuario para posicionarse como fuente de energía, generando inversión, trabajo y valor agregado a la cadena; sociales, por la

generación de oportunidades para la agricultura en general; y estratégicas, en el sentido de fomentar las fuentes energéticas renovables, adaptadas a las tecnologías actuales, evitando grandes modificaciones en los motores que utilizan combustibles fósiles.

Los biocombustibles en uso proceden de materias primas vegetales, a través de transformaciones biológicas y físico-químicas. Actualmente se encuentran desarrollados principalmente dos tipos: el biodiesel, obtenido a partir de la transesterificación de aceites vegetales y grasas animales con un alcohol ligero, como metanol o etanol; y el bioetanol, obtenido fundamentalmente de semillas ricas en azúcares mediante fermentación [2]. Químicamente el biodiesel se produce a partir de transesterificación de aceites, constituyendo ésteres de alquilos, de metilo y de etilo, con cadenas largas de ácidos grasos [3] obteniéndose glicerol como coproducto.

Existen diferentes formas de procesamiento de los aceites vegetales, desde metodologías que emplean una catálisis ácida o básica homogénea hasta procesamientos en los cuales se emplea catálisis ácida heterogénea o condiciones supercríticas para lograr su transformación en biodiesel [4].

La transesterificación supercrítica es un método alternativo de catálisis, donde las condiciones extremas a las que se lleva el metanol ( $T > 290^{\circ}\text{C}$ ,  $P > 10\text{MPa}$ ) favorecen la cinética de la reacción así como también la transferencia de masa, ya que forman una sola fase con el aceite.



La ventaja de este método es que es libre de catalizador e insensible a la acidez de la materia grasa. Con temperaturas de 350°C, presión de 43 MPa y una relación molar metanol:aceite de 43:1, este proceso logra la conversión total en un menor tiempo que el método convencional.

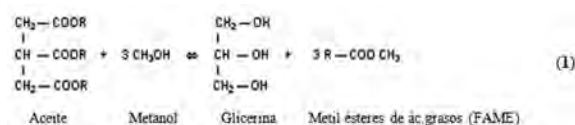
Uno de los mayores costos en el proceso de producción de biodiesel corresponde a la potencia de agitación en el reactor en que se realiza la transesterificación, dado que el metanol y el aceite forman dos fases inmiscibles. El método de metanol supercrítico tiene la ventaja de que el metanol forma una sola fase con el aceite por lo que no es necesario el uso de potencia para la agitación.

Ciertos autores han demostrado que una planta de producción de biodiesel en condiciones supercríticas es económicamente rentable en función del alcohol empleado y de la etapa de reacción fundamentalmente [5].

El objetivo de este Proyecto Final de Carrera Ingeniería Química fue simular mediante Aspen Hysys® un proceso industrial de obtención de biodiesel a partir de la transesterificación de aceites vegetales, aplicando tecnologías supercríticas que permitan obtener un producto de calidad específica según sus usos, y, en base al modelo de simulación analizar la factibilidad técnico-económica del proceso.

## Materiales y métodos

La alcoholólisis de triglicéridos se describe generalmente como una etapa de tres reacciones reversibles consecuentes, con di y mono glicéridos como productos intermedios. En cada paso de esta reacción compleja se logra reaccionar un mol de metanol y obtener un mol de ésteres metílicos (Ec. 1).



Los trabajos más relevantes relacionados con cinética de metanolisis supercrítica, suponen una reacción simple irreversible de primer orden como el mejor modelo [6]. Se supone una reacción de primer orden función de la concentración de triglicéridos (CTG) y de la temperatu-

ra de reacción a densidad constante cuya expresión de velocidad de reacción en función de la conversión ( $x_{TG}$ ) viene dada por:

$$-\frac{dC_{TG}}{dt} = k_1 C_{TG} (1 - x_{TG}) \quad (2)$$

La constante de velocidad ( $k_1$ ) para cada temperatura de reacción se muestra en la Tabla 1. A temperatura sub-crítica, por debajo de 239°C, se encuentran bajas velocidades de reacción, aumentando hasta 85 veces en el estado supercrítico [7].

**Tabla 1.** Constante de velocidad de reacción de transesterificación en función de la temperatura y presión.

Temperatura (°C)	Presión (MPa)	$k_1$ (s <sup>-1</sup> )
200	7	0.0002
230	9	0.0003
270	12	0.0007
300	14	0.0071
350	19	0.0178
385	65	0.0249
431	90	0.0503
487	105	0.0803

Si bien tanto metanol como etanol pueden ser usados en la producción de biodiesel, el etanol (mucho menos tóxico que el metanol) debe ser usado en su forma pura, totalmente deshidratada, más cara de obtener. Adicionalmente, al usar etanol, el aceite tiene que estar totalmente seco. Ambas condiciones son muy difíciles de conseguir, especialmente con el aceite de restaurantes, el cual es usado para freír vegetales, carne, pescado, etc. [8], por lo que se decidió trabajar con metanol.

La relación molar de alcohol a aceite es una de las variables más importantes que influyen en la conversión en ésteres. La conversión para una relación molar de 10 es de 30 a 40%, incrementándose a 85-90% con una relación molar de 50. Esto indica que la relación molar más alta de alcohol proporciona el mejor resultado de transesterificación, tal vez debido a la mayor área de contacto entre el alcohol y triglicéridos [9]. La bibliografía consultada indica apropiado

trabajar con una relación 42:1 sin correr el riesgo de perjudicar la reacción por un exceso de alcohol obteniendo una conversión casi completa con un rendimiento de 95% de esteres metílicos [7].

Además de la alta conversión y las tasas de reacción, la transesterificación supercrítica puede tolerar materias primas con muy alto contenido de ácidos grasos libres y agua [4].

En el presente trabajo se simulan dos procesos para la producción de biodiesel en condiciones supercríticas basados en los trabajos de West et al. (2008) [4] y Marchetti y Errazu (2008) [5], y una tercera alternativa correspondiente a una optimización de esta última. Los procesos diseñados requieren de al menos seis operaciones: mezclado, calentamiento, transesterificación, destilación, decantación y purificación. La importancia de la utilización de un simulador comercial tal como Aspen Hysys® radicó en su capacidad de resolución en forma iterativa de los diferentes balances de materia y energía que modelan el conjunto de equipos del proceso químico.

Se definieron compuestos hipotéticos para caracterizar el aceite, el biodiesel, el catalizador alcalino y el ácido neutralizador. Se utilizó el paquete UNIQUAC ideal para estimar las propiedades de los componentes.

## Resultados

A continuación se presentan los diagramas de flujo correspondientes a las tres opciones consideradas. En todas las alternativas se consideró una capacidad de tratamiento de 5682 kg/h de aceite de soja con un requerimiento de 8757 kg/h de metanol. Se operó en condiciones supercríticas obteniéndose rendimientos de entre 5684 kg/h y 5687 kg/h de biodiesel.

En la segunda opción con dos reactores, las corrientes son calentadas y presurizadas con el fin de lograr condiciones de operación deseables en el primer reactor,  $T=200^{\circ}\text{C}$  y  $P=70$  bar [5]. Después de este equipo, se requiere una columna de destilación para separar el metanol. Esto se hace para tener una mejor separación global en el siguiente decantador. En el último equipo, la glicerina es separada del aceite que se alimenta al segundo reactor supercrítico. A fin

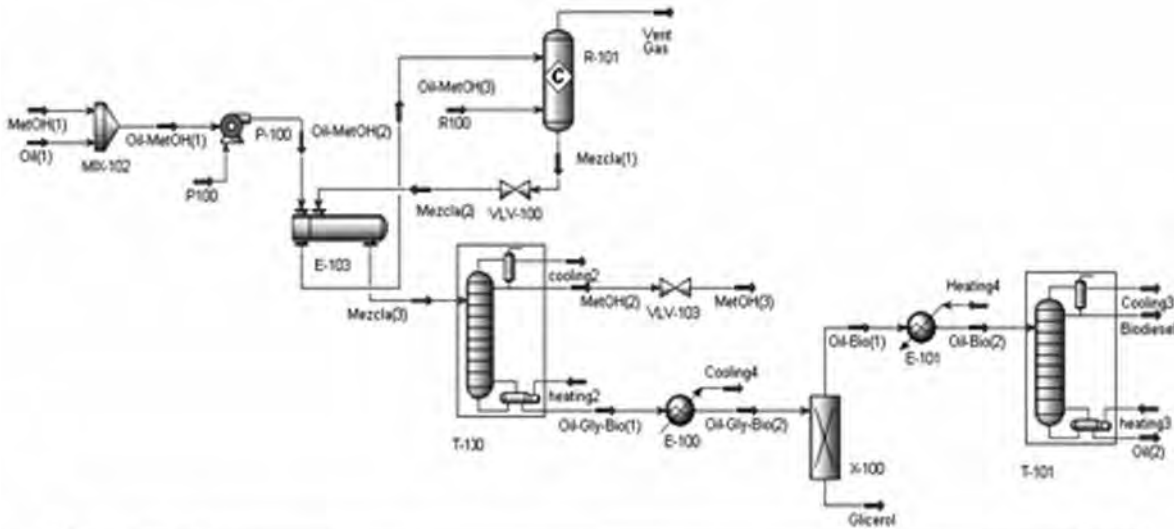
de obtener una mejor conversión final del aceite en biodiesel, otra corriente de alcohol debe ser añadida al segundo reactor con el fin de mantener la relación molar de alcohol / aceite en 42:1. En este reactor, la reacción tiene lugar a  $350^{\circ}\text{C}$ . Al igual que en la etapa de reacción anterior, se utiliza una columna de destilación, seguida por un decantador que permite la separación del biodiesel a partir de la glicerina.

La tercera alternativa se corresponde a una optimización de la opción 2 (Fig.3), mantiene las condiciones de operación en los dos reactores, pero se eliminan las operaciones existentes entre los dos reactores supercríticos. Esto implica la eliminación de tres equipos: un intercambiador de calor para el precalentamiento de la corriente que ingresa al segundo reactor, una columna de destilación de metanol y un separador de glicerina.

Llevado a cabo un análisis económico (involucrando la determinación de ingresos, costos, inversión inicial, egresos operativos, flujo de fondos, indicadores VAN y TIR), se observó un VAN de 1 millones de dólares, lo que permite inferir que:

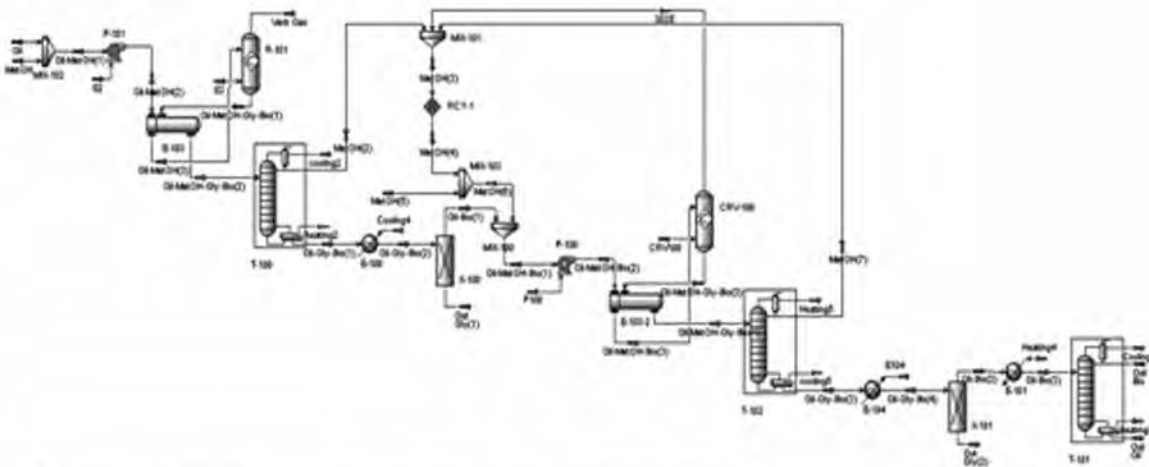
El diagrama de proceso que presenta mayor beneficio en cuanto a rendimiento es la Opción 3, pero el requerimiento de más equipos respecto a las Opciones 1 y 2 hacen de él un proceso no viable.

La Opción 2 es beneficiosa ya que al disponer de dos reactores en serie, el volumen total es menor que si tuviera uno para los mismos requerimientos de rendimiento, pero el costo del reactor es el condicionante para la viabilidad del proyecto, por lo cual la Opción 1 pasa a ser la óptima, ya que un único reactor será la alternativa de menor costo, considerando una menor inversión de capital fijo a igual conversión. El valor de TIR resultante es de 10,10%, superando la tasa de descuento utilizada de 9,33%, indicando que el segundo criterio de aceptación también lleva a la conclusión de la viabilidad de la inversión. De acuerdo a los indicadores analizados el proyecto es viable; se comprueba la factibilidad económica-financiera del proyecto. No obstante esta viabilidad es inestable, dado que variaciones de menos del 1% en el precio del biodiesel y del aceite revierten esta situación, lo cual lo



Worksheet: Case (Plant)										
Name	MeOH(1)	Oil(1)	Oil(2)	Oil(3)	Mezcla(1)	Mezcla(2)	Mezcla(3)	Mezcla(4)	Mezcla(5)	Mezcla(6)
Yapora Fraction	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Temperature [C]	25.00	25.00	25.00	25.00	35.00	25.00	325.3	120.4	64.48	25.00
Pressure [atm]	1.000	79.90	1.000	1.000	9.000	79.90	1.000	4.100	0.0000	1.000
Mass Flow [kg/hr]	271.8	0.0000	4.515	270.3	270.3	270.3	25.64	270.3	252.7	25.64
Heat Flow [kW]	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Liquid Volume Flow [m³/hr]	3.041e-003	0.0000	1.734e-003	4.775e-003	4.606e-003	4.606e-003	1.071e-003	4.606e-003	2.827e-003	1.071e-003
Heat Flow [kW]	4.500e-007	0.0000	1.037e-007	7.460e-007	7.290e-007	4.791e-007	1.300e-007	7.054e-007	5.704e-007	1.816e-007

Fig. 1. Diagrama de flujo del proceso de transesterificación en condiciones supercríticas, Opción 1[4].



Worksheet: Case (Plant)											
Name	MeOH(1)	MeOH(2)	Oil	Oil(1)	Oil(2)	Oil(3)	Oil(4)	MeOH(5)	Oil(1)MeOH(2)	Oil(1)MeOH(3)	Oil(1)MeOH(4)
Yapora Fraction	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Temperature [C]	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
Pressure [atm]	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Mass Flow [kg/hr]	271.8	0.0000	4.515	270.3	270.3	270.3	270.3	270.3	270.3	270.3	270.3
Heat Flow [kW]	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Liquid Volume Flow [m³/hr]	3.041e-003	0.0000	1.734e-003	4.775e-003	4.606e-003	4.606e-003	4.606e-003	4.606e-003	4.606e-003	4.606e-003	4.606e-003
Heat Flow [kW]	4.500e-007	0.0000	1.037e-007	7.460e-007	7.290e-007	4.791e-007	1.300e-007	7.054e-007	5.704e-007	1.816e-007	1.816e-007

Fig. 2. Diagrama de flujo del proceso de transesterificación en condiciones supercríticas, Opción 2 [5].

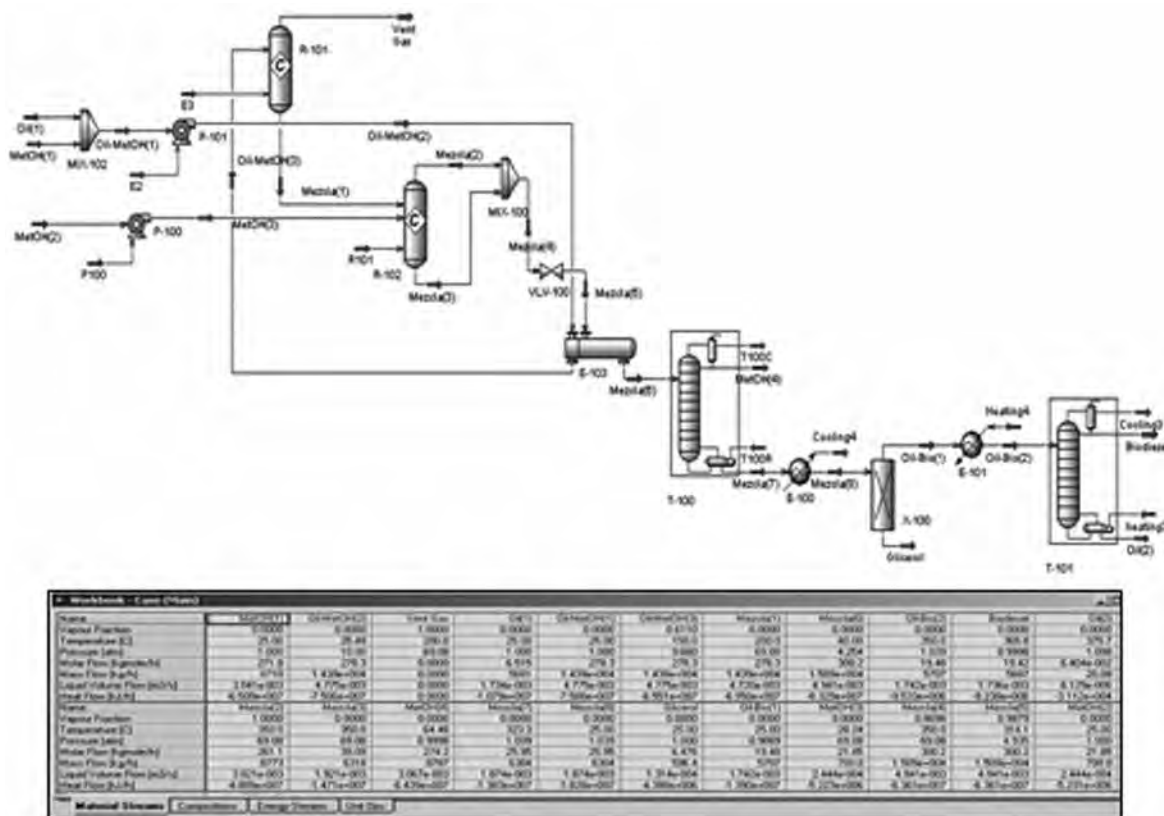


Fig. 3. Diagrama de flujo del proceso de transesterificación en condiciones supercríticas, Opción 2 modificada (este trabajo).

hace altamente sensible alteraciones en las variables con mayor incidencia en los costos operativos, ya que la tasa de descuento es cercana a la TIR.

**Conclusiones**

En el trabajo se desarrollaron las simulaciones de tres procesos de obtención de biodiesel por el método de metanol supercrítico utilizando el simulador Aspen-Hysys®, dos de ellas obtenidas de la literatura, y la otra desarrollada como una modificación de una de aquéllas. En todos los procesos estudiados se obtuvieron rendimientos de biodiesel superiores a 5684 kg/h sin embargo, los procesos difieren fundamentalmente en el número de equipos necesarios lo que repercute necesariamente en los costos de inversión. Por este motivo, la Opción 1, con menor número de equipos, resulta la más adecuada y viable en función de las producciones obtenidas y de los costos involucrados.

**Referencias**

Startta, J.: Biocombustibles: Los aceites

vegetales como constituyentes principales del Biodiesel. XXII Congreso Interamericano de Ingeniería Química (2000).

García Camús, J. M., García Laborda, J. Á.: Biocarburantes Líquidos: Biodiesel y Bioetanol. Elecé Industria Gráfica (2006)

Demirbas A.: Biodiesel from vegetable oils via transesterification in supercritical methanol. Energy Conversion and Management 43 (2002) 2349–2356

West, A., Posarac, D., Ellis, N.: Assessment of four biodiesel production processes using HYSYS. Plant, Bioresource Technology (2008) 99(14) 6587-6601

Marchetti, J.M., Errazu, A.F.: Technoeconomic study of supercritical biodiesel production plant. Energy Conversion and Management (2008) 49(8) 2160-2164

Glisic, S., Skala, D.: Kinetic approach of methanolysis of triglycerides at supercritical conditions. Belgrade, Servia: Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade (2009)

Kusdiana, D., Saka, S.: Kinetics of





tranesterification in rapeseed oil to biodiesel fuel as tested in supercritical methanol. Fuel (2001) 80(5), 693-698

Bornstein, J., Bowen, C. Biodiesel: Producción y Aplicaciones. Whitman Direct Action.

Rathore, V., Madras, G.: Synthesis of biodiesel from edible and non-edible oils in supercritical alcohols and enzymatic synthesis in supercritical carbon dioxide. Fuel (2007) 86(17-18) 2650-2639



# Diseño de puente peatonal urbano bajo consideraciones HIVOSS

Eduardo Martel<sup>1</sup>, Agustín Aramayo<sup>1</sup>, Guillermo Robledo<sup>1</sup> y Raúl Middagh<sup>2</sup>

## Resumen

El diseño de pasarelas urbanas con alto y variado tránsito peatonal, ha sido objeto de una amplia revisión, particularmente a partir de los inconvenientes sufridos en el Puente del Milenio (Londres, Inglaterra) el día mismo de su inauguración, que obligaron a su clausura temporaria y posterior reajuste mediante dispositivos para modificar sus parámetros de comportamiento dinámico. En este trabajo se describen las previsiones tomadas a nivel de diseño para evitar este tipo de inconvenientes y las verificaciones realizadas corroborando la aptitud de la pasarela para preservar el satisfactorio comportamiento dinámico y el confort de tránsito peatonal asociado. Los reglamentos vigentes en Argentina no contienen información, recomendaciones ni previsiones acerca de acciones específicas sobre pasarelas; en particular acerca de efectos dinámicos como vibración inducida por peatones. Se hizo un relevamiento de las normas y reglamentos de los países más avanzados en la materia, como así también de publicaciones de investigación recientes.

*Palabras clave:* pasarela, metálica, dinámico, vibración, tránsito humano.

## 1. Introducción

Se trata de dos pasarelas destinadas al cruce de vías de Ferrocarril Belgrano, entre calles Sui-pacha y Marco Avellaneda, para dar continuidad de tránsito peatonal a las calles Córdoba y Mendoza, en la ciudad de San Miguel de Tucumán.

Se describen en este trabajo los análisis estructurales realizados y las verificaciones tendientes a definir la aptitud estructural de los principales elementos constitutivos y del conjunto del sistema estructural de las pasarelas

1. Departamento de Construcciones y Obras Civiles, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán – Avenida Independencia 1800, San Miguel de Tucumán, Tucumán, Argentina.

2. Metalúrgica Di Bacco, Ruta Nacional No. 9, Km. 1298, Tucumán, Argentina.

proyectadas. No se incluye en esta etapa un detalle riguroso del procedimiento de dimensionado/verificación de los elementos individuales, ni el análisis de las conexiones entre elementos estructurales principales ni los cálculos de detalles de las rigidizaciones y de los detalles constructivos.

Las pasarelas proyectadas se enmarcan dentro de una tipología que se podría identificar como bowstring bridge, una estructura del tipo autocompensada que resulta en solicitaciones simples sobre las fundaciones. El arco es del tipo rebajado, con una luz de 54.65 m, proviendo una estética agradable y coherente con el entorno. Los arcos están en planos inclinados intersecantes superiormente, tal como se ilustra en las Figuras siguientes.



Fig. 1. Tipología de Pasarela Bowstring

## 2. Descripción y caracterización de la

## estructura de la pasarela

La estructura resistente de la pasarela se basa en la tipología bowstring. Esta tipología se diferencia de los arcos atirantados en que se dispone de elementos reticulados diagonales en el plano constituido por el arco y el tensor, mientras que en los arcos atirantados puros los elementos de vinculación entre arco y tensor son verticales y resisten mediante tracción el tablero. El reticulado en el bowstring logra que el arco y el tensor trabajen conjuntamente generando un híbrido entre un arco atirantado y una viga con cordón superior curvo, adecuado a las solicitaciones emergentes de las gravitacionales.

Para el caso de bowstring resultan entonces arcos rebajados con baja esbeltez, característica que se considera adecuada para los efectos vibratoriales que se pueden registrar en pasarelas peatonales de peso relativamente reducidos como es el caso en tratamiento.

Adicionalmente, el bowstring comparte con el arco atirantado una importante ventaja ya que se trata de una estructura autocompensada, en el sentido de que la fuerza de atirantamiento propia de los arcos (en este caso magnificadas por tratarse de un arco rebajado) es tomada internamente por el tensor, evitando la transferencia a las fundaciones de importantes fuerzas; con la simplificación resultante para las mismas y los consecuentes beneficios económicos y de tiempo de ejecución.

Por último, también gracias a la característica de autocompensada, este tipo de estructura resistente plantea una ventaja constructiva definitiva, cual es la posibilidad de poder desarrollar la construcción completamente en taller, siendo el único condicionante en este sentido las limitaciones para el transporte. Aun teniendo en cuenta dichas limitaciones, la posibilidad de construir la estructura en un cantidad discreta de partes a ser montadas en el site genera importantes beneficios en tiempo, dinero, calidad y seguridad.

Para el caso actual, se ha completado la caracterización del diseño dotando a los dos planos resistentes longitudinales de una inclinación que logra que los planos sean física y visualmente convergentes hacia un arco virtual superior al tablero. Esto confiere a los viandantes una

sensación de seguridad y contención e invita a los mismos al tránsito y permanencia en la pasarela, que se convierte así en un elemento convocante. Se espera de esta manera que con este rasgo distintivo, sumado a la agradable y sobria estética que las pasarelas presentan a la distancia desde los corredores vehiculares y peatonales circundantes que completan el Paseo del Bicentenario, se conviertan con el paso del tiempo en un elemento icónico para la ciudad.

Los arcos son circulares. Los tensores, por su parte, no son rectos sino que tienen una curvatura suave a modo de contraflecha.

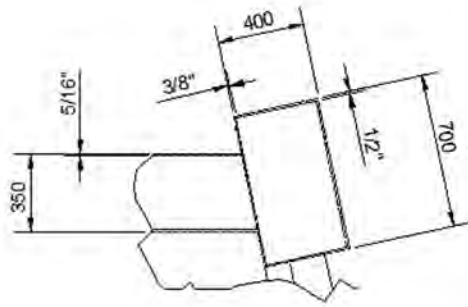
Las vinculaciones entre los dos planos resistentes se realiza en dos instancias: a nivel del tablero para circulación peatonal, vinculando los tensores y a nivel de los arcos, vinculando los mismos.

Las vinculaciones a nivel del tablero se realizan mediante vigas transversales y diagonales, generando un reticulado horizontal juntamente con los tensores a los que vinculan.

El solado se materializa mediante placas prefabricadas de hormigón pretensado. Las placas van colocadas mediante pernos a las vigas transversales de vinculación entre tensores. Sin embargo, las uniones son diseñadas de manera de lograr una sujeción simple; las placas no tienen continuidad entre ellas ni resultan colaborantes en la acción de los tensores; en consecuencia, no constituyen elementos estructurales a nivel global, siendo su función resistente solamente la de soportar el tránsito peatonal entre los vanos constituidos por las vigas transversales de tablero.

Para todos los elementos estructurales de las pasarelas se ha adoptado secciones cajón y tubulares formadas por chapas metálicas y caños metálicos.

En las Figuras 2 y 3 se muestra para ilustración la sección transversal del arco (en su unión con un arriostamiento típico) y del tensor (en su unión con una viga transversal de tablero) respectivamente.



**Fig. 2.** Sección Transversal Arco en unión con arriostramiento transversal horizontal.



**Fig. 3.** Sección Transversal Tensor en unión con Viga Transversal Tablero

### 3. Consideraciones para el diseño

Por tratarse de un proyecto con características especiales de ubicación, funcionalidad y exposición, se ha seguido un proceso de diseño intenso y extendido en el tiempo en el que se han tenido en cuenta un importante conjunto de parámetros técnicos que se resumen brevemente en los apartados que siguen a continuación.

#### 3.1. Consideraciones generales

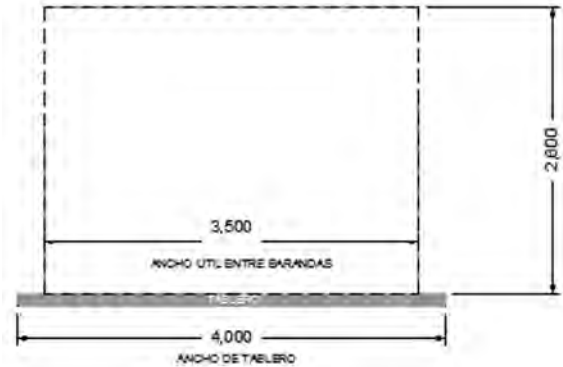
De las investigaciones internacionales más recientes y sus resultados recogidos en los últimos apartados incorporados a los Códigos, Reglamentos y Normas vigentes en los países tecnológicamente más avanzados, se puede encontrar limitaciones y recomendaciones que rigen para pasarelas livianas susceptibles a problemas de vibración por cargas antrópicas. Estas han sido extraídas y aplicadas consistentemente para el actual proyecto de la pasarela del Bicentenario y han guiado el proceso de diseño que ha resultado en la versión final motivo de esta memoria de cálculo.

Consecuentemente con el relevamiento bibliográfico realizado, en el diseño ha primado la búsqueda de una adecuada rigidez ante las distintas sollicitaciones, particularmente las dinámicas, a las que puede llegar estar sometida la estructura en su vida útil.

#### 3.2. Consideraciones particulares

Debido a restricciones de la Secretaría Nacional de Regulación del Transporte (SNRT) y del propio Ferrocarril, se debe prescindir de plantear apoyos intermedios para las pasarelas.

El gálibo peatonal fue definido por la Secretaría de Obras Públicas de la Provincia de Tucumán, siendo mostrado en la Figura 4 sobre un ancho de tablero básico de 4 m. de ancho.



**Fig. 4.** Gálibo peatonal requerido

Bajo estos condicionantes principales para el diseño estructural, se realizó una búsqueda bibliográfica conducente a definir la tipología adecuada para una pasarela liviana y netamente urbana teniendo en cuenta las investigaciones más recientes sobre diseño, cálculo, ejecución y comportamiento de pasarelas con características similares a la estudiada.

Como concepto de diseño, el mismo es gobernado por la rigidez de la estructura ante acciones dinámicas más que por la resistencia global de la estructura y la de sus elementos componentes principales.

La rigidez flexional longitudinal ante cargas estáticas y dinámicas por tránsito peatonal gravitacionales se logra mediante dos planos resistentes consistentes cada uno en un bowstring híbrido rebajado, que combina el trabajo en arco con el de viga reticulada. La rigidez transversal resulta de generar adecuadas vinculaciones en-

tre los elementos principales de los planos resistentes longitudinales, para lograr el trabajo de los mismos ante solicitaciones derivadas de la acción del viento y de la sincronización lateral de marcha humana. Finalmente, la rigidez torsional se materializa con los planos inclinados de los bowstring y los planos horizontales a nivel de tablero y de arcos, que en conjunto componen un cajón trapecial de sección variable y con paredes formadas por elementos discretos.

Las limitaciones y recomendaciones contenidas en los códigos extranjeros y publicaciones consultadas generan condicionantes para el comportamiento de la pasarela que involucran principalmente a) la rigidez del conjunto aportada por la combinación de las individuales de sus elementos componentes y por las conexiones entre los mismos, b) la masa de los elementos estructurales y de los componentes funcionales (solado de tablero, baranda) y c) la masa asociada reglamentariamente al tránsito peatonal esperado en la pasarela.

Estas limitaciones fueron determinantes para el logro del diseño final al que se arribó luego de ajustes iterativos realizado al mismo y conducentes a una solución técnico-económica factible.

## 4. Análisis

### 4.1. Método de análisis y descripción de los modelos

Para el análisis de la estructura se procedió a su modelización mediante modelos matemáticos basados en el Método de Elementos Finitos.

Los modelos desarrollados fueron, por un lado, modelos globales para analizar el comportamiento general de la estructura, y modelos parciales para analizar comportamientos individuales de elementos estructurales principales y de uniones entre los mismos. Para los modelos globales en general se usaron elementos finitos de viga (frame), mientras que para los parciales se emplearon además elementos de cáscara (shell). Los elementos frame y shell contienen en sus formulaciones las características necesarias para captar y describir adecuadamente el comportamiento de los elementos representados.

A continuación, se muestra uno de los mode-

los matemáticos desarrollados, que corresponde a un modelo global con elementos frame.



Fig. 5. Modelo de elementos finitos.

Para la definición geométrica del modelo se tomaron los planos de proyecto respectivos.

En la Figura 6 se muestra el plano resistente conformado por el arco superior, el tensor y el reticulado que los vincula. El arco y el tensor configuran el arco atirantado, el cual con el añadido del reticulado constituido exclusivamente por diagonales define la caracterización de bowstring predominante de la estructura.

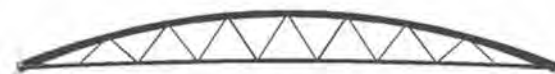


Fig. 6. Plano Resistente Bowstring

En puentes carreteros, las cargas predominantes son las gravitatorias y eventualmente las eólicas; si bien el efecto de estas últimas puede ser controlado por un diseño aerodinámico dado por la forma y disposición de los elementos estructurales y/o por el uso de elementos auxiliares como deflectores para evitar la formación de vórtices y de enmascaramientos sobre las superficies expuestas al viento para mejorar su perfil aerodinámico.

Sin embargo, para el caso de puentes peatonales cobran importancia preponderante las cargas antrópicas. Estas resultan definitorias y pueden llegar a gobernar el diseño estructural teniendo en cuenta parámetros de diseño no solamente dados por las convencionales limitaciones surgidas del comportamiento tensional-resistente y deformacional, sino también por el confort en la marcha de los viandantes y la



susceptibilidad a efectos vandálicos devenidos de resonancia intencional provocada con eventual peligro de colapso. Esto es particularmente aplicable para el caso de pasarelas metálicas livianas.

Los planos resistentes bowstring proveen una adecuada rigidez ante solicitaciones dinámicas del tipo de las derivadas de la marcha humana. Estas tienen una amplia variabilidad, son eminentemente aleatorias y con posibilidad de excitar una gran variedad de modos de vibración. Ante este tipo de efectos, la configuración bowstring puede proveer una respuesta adecuada, aunque no convencional aún para este tipo de estructuras; por ejemplo, se pueden presentar casos de carga críticos por efectos dinámicos que generen compresión en las diagonales. Efectivamente, esto se ha podido comprobar en el análisis del presente caso.

Por otra parte, en la Figura 7 se puede apreciar el tablero del puente. El mismo está conformado por los 2 tensores de los arcos (éstos no mostrados en la Figura 7), que constituyen a su vez las vigas longitudinales del tablero. Transversalmente se disponen vigas horizontales que estabilizan lateralmente a los tensores y sirven de apoyo a las losetas que constituyen el solado del tablero para tránsito peatonal. La rigidez en su plano del tablero, que aporta la mayor parte de la rigidez transversal del puente, se completa con las diagonales dispuestas en zig-zag que terminan de generar un reticulado horizontal ligeramente curvo.



**Fig. 7.** *Detalle de Modelo de elementos finitos de tablero*

El solado del tablero no ha sido modelado por no cumplir una función estructural a nivel global de la estructura. Las losetas de hormigón pretensado que constituyen el solado han sido calculadas de manera preliminar a los fines de ser tenidas en cuenta como parte de las cargas gravitatorias por su peso propio, para la deter-

minación de cargas sobre vigas transversales como parte del sistema de transmisión de cargas de tránsito peatonal al tablero y, finalmente, como contribución a la masa del tablero para el análisis del comportamiento dinámico y vibracional del puente.

Los arcos a su vez se encuentran arriostrados entre sí mediante elementos transversales que les permiten al mismo tiempo generar un plano resistente transversal curvo, como lo muestra la Figura 8.



**Fig. 8.** *Detalle de Modelo de elementos finitos de arcos y arriostramientos.*

Los planos resistentes transversales dados por el tablero (Figura 7) y por los arcos arriostrados (Figura 8), conjuntamente con los planos resistentes dados por las vigas bowstring (Figura 6), definen un sistema estructural cuyo análisis debe comprobar que presenta un comportamiento en resistencia y rigidez adecuado ante las cargas y combinaciones reglamentarias y cuyos efectos han sido contextualizados en las consideraciones vertidas en el Capítulo 3.

#### 4.2. Cargas

Los modelos fueron sometidos a las condiciones de carga y sus combinaciones reglamentarias. Las cargas sísmicas aplicadas al modelo se obtuvieron de un análisis dinámico modal espectral, según lo indicado en el apartado 14.1.6 b) del INPRES-CIRSOC 103 Parte I. La estructura fue solicitada con los espectros de aceleraciones recomendados por el reglamento INPRES-CIRSOC 103 Parte I para la zona de emplazamiento de la obra y para el tipo de suelo existente.

Este análisis permite obtener información de los esfuerzos debidos a los modos de vibración, y calcular los totales mediante la realización de una superposición modal.

En este caso se realizó la superposición modal por el método de la Combinación Cuadrática

Completa (CQC), que tiene en cuenta el posible acoplamiento modal.

## 5. Comportamiento dinámico

Las Figuras 9 a 16 muestran el comportamiento dinámico mediante las deformadas correspondientes a distintos modos propios de vibración para la estructura completa o partes de ella.



**Fig. 9.** *Modo Fundamental de Vibración (Modo 1) – Estructura Completa*

Para una mejor visualización del primer modo, en la Figura 10 se aprecia una vista de la sección transversal del puente.



**Fig. 10.** *Modo Fundamental de Vibración (Modo 1) – Vista transversal.*

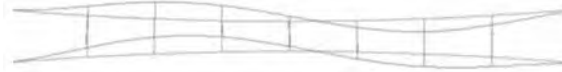
Por su parte, la Figura 11 muestra el segundo modo propio de vibración (Modo 2). Para claridad de la visualización, solo se ha representado el conjunto arco-tensor.



**Fig. 11** *Segundo Modo de Vibración (Modo 2) – Vista longitudinal Conjunto Arco-Tensor.*

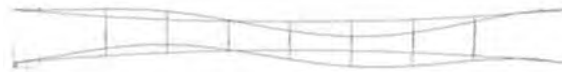
Similarmente, para la visualización del tercer modo propio de vibración (Modo 3) en la Figura 12 sólo se muestra en planta el conjunto forma-

do por los dos arcos y sus arriostramientos.



**Fig. 12.** *Tercer Modo de Vibración (Modo 3) – Vista planta. Conjunto Tensores-Vigas Transversales.*

De la misma manera, en la Figura 13 se halla representado el cuarto modo propio de vibración.



**Fig. 13.** *Cuarto Modo de Vibración (Modo 4) – Vista planta. Conjunto Tensores-Vigas Transversales.*

Por su parte, en las Figuras 14 y 15 se ha representado toda la estructura para mostrar el quinto modo y sexto modo de vibración (Modo 5 y Modo 6).



**Fig. 14.** *Quinto Modo de Vibración (Modo 5) – Perspectiva*



**Fig. 15.** *Sexto Modo de Vibración (Modo 6) – Perspectiva.*

A su vez, en la Figura 16 se ha representado el Séptimo Modo (Modo 7) mediante una vista lateral.



**Fig. 16.** *Séptimo Modo de Vibración (Modo 7) – Vista longitudinal*

En estructuras complejas y con sistemas resistentes con un grado apreciable de ortotropía del tipo del analizado, no se obtienen modos propios puros. Sin embargo, de un primer análisis de estas figuras descriptivas de los modos propios de vibración de la estructura, se encuentra que el modo fundamental de vibración (Modo 1) es preponderantemente Lateral (horizontal), mientras que el Modo 2 es preponderantemente Longitudinal (vertical). Los siguientes modos, Modo 3 y Modo 4 corresponden a modos superiores Laterales. Los Modos 5 y 6 se caracterizan por presentar rasgos preponderantemente Torsionales el Modo 5 y Torsional con participación Lateral el Modo 6.

Por su parte, el Modo 7 vuelve a ser preponderantemente Longitudinal-vertical, correspondiendo al segundo modo con estas características.

En la Tabla 2 se resume los resultados hasta el Modo 12, modo para el cual ya se captura más del 90% de la participación modal en las direcciones horizontal y vertical, tal como se hace notar al final de la Tabla.

Para las determinaciones dinámicas resumidas en la Tabla 2 se ha considerado parcialmente la masa de los peatones, siguiendo las especificaciones reglamentarias consultadas que forman parte de la documentación de referencia de este informe. En particular, para este estudio se ha adoptado una masa de peatones de 70 Kg/m<sup>2</sup> de acuerdo a las especificaciones de SETRA (Service d'Études Techniques de Routes et Autoroutes).

**Tabla 2:** Principales Propiedades Dinámicas del Puente

MODO	Período (seg.)	Frecuencia (Hz)	Descripción	Estado
1	0.62	1.60	Lateral	≤1.2 VERIFICA
2	0.40	2.51	Vertical	≥2.5 VERIFICA
3	0.34	2.91	Lateral	
4	0.32	3.17	Lateral	
5	0.22	4.53	Torsional	
6	0.21	4.80	Torsional-Lateral	
7	0.20	4.98	Vertical	≥1.5 VERIFICA
8	0.16	6.44	Lateral	
9	0.14	7.40	Lateral	
10	0.13	7.63	Torsional	
11	0.12	8.40	Vertical	
12	0.10	9.53	Lateral	

Masa total desplazada	
Masa R	92.53 %
Masa V	95.74 %

Los límites referenciados en la Columna de Estado en las filas destacadas en azul se refie-

ren a la aptitud del comportamiento dinámico registrado según especificaciones de Códigos de Referencia.

### 6. Conclusiones

-Se ha presentado el estudio y análisis de un puente peatonal cuya estructura resistente corresponde a tipología bowstring, consistente en arcos atirantados rebajados y reticulados mediante diagonales.

-Se han expuesto las normas y reglamentos aplicables y las referencias bibliográficas pertinentes a este tipo de estructuras, y las consiguientes condiciones de resistencia, rigidez y funcionamiento del puente peatonal proyectado.

-Los estudios desarrollados y los análisis realizados con el aporte de modelos matemáticos basados en el Método de los Elementos Finitos han mostrado el adecuado comportamiento general del puente proyectado.

-Las características dinámicas del puente resultan satisfactorias para garantizar la seguridad estructural y el confort en la marcha peatonal según las últimas especificaciones de códigos extranjeros aplicables a pasarelas metálicas urbanas.

### Referencias

- Factores de Carga y Resistencia. Introducción al Método según el "Load and Resistance Factor Design" del American Institute of Steel Construction 1983 – Biblioteca de Apoyo CIRSOC. 1993.
- AISC – LRFD 2010 – American Institute of Steel Structures.
- HIVOSS (Human Induced Vibration of Steel Structures) – Design of Footbridges Guideline 2010. Comisión Europea.
- HIVOSS (Human Induced Vibration of Steel Structures) – Design of Footbridges Background 2010. Comisión Europea.
- Technical guide. Footbridges. Assesment of vibrational behavior of footbridges under pedestrian loading. Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes. 2006. France.
- Guideline for the design of footbridges. Fédération Internationale du Béton (fib), 2005
- AASHTO. LRFD Guide Specifications for the



Design of Pedestrian Bridges. 2009. USA.



# Síntesis y caracterización de nanocompuestos de óxidos de Níquel-Negro de Carbono para Supercapacitores

Marcela A. Bavio<sup>1a</sup>, Jesica E. Lafón<sup>1</sup>,  
Teresita Kessler<sup>1b</sup>

## Resumen

Se estudiaron nuevos compuestos basados en óxido de níquel (NiO) para su posible aplicación como materiales en supercapacitores. Mediante el método Sol-Gel, se sintetizaron diferentes nanocompuestos de NiO, a partir de acetato de níquel y ácido oxálico. Posteriormente, se prepararon distintas muestras agregando partículas de negro de carbono, sin funcionalizar (CB) y funcionalizado (CBf). Los compuestos desarrollados fueron caracterizados por difracción de rayos X, microscopía electrónica de barrido (MEB) y microscopía electrónica de transmisión (TEM). A fin de evaluar sus propiedades electroquímicas en relación a la capacitancia específica y la velocidad de carga/descarga, se utilizaron técnicas electroquímicas convencionales. Se determinó que el agregado de negro de carbono durante la síntesis de los óxidos mejora notablemente las propiedades capacitivas de los mismos, obteniéndose los valores más altos de capacitancia, energía y potencia específicas para los nanocompuestos que contienen CBf.

*Palabras clave:* Nanocompuestos – Óxidos de Níquel – Negro de carbono- Método Sol-Gel – Supercapacitores.

## 1. Introducción

Recientemente, la gran demanda de energía limpia y sostenible ha impulsado un esfuerzo considerable hacia el desarrollo de sistemas de almacenamiento de energía. Los supercondensadores o supercapacitores son considerados los dispositivos de almacenamiento de energía más destacados debido a sus interesantes características, tales como la alta densidad de potencia,

1. Facultad de Ingeniería, INTELYMEC-CIFICEN, UNCPBA. Av. del Valle 5737, Olavarría, Buenos Aires, Argentina.

A. CONICET. Argentina.

B. CICPBA, Argentina.

mbavio@flo.unicen.edu.ar.

el rápido proceso de carga/descarga, el largo ciclo de vida y el pequeño impacto ambiental que producen [1]. De acuerdo a su mecanismo de almacenamiento de energía, los condensadores se clasifican en supercapacitores de doble capa eléctrica (EDL) y pseudocapacitores [2-4]. La capacitancia de los condensadores EDL se debe a la carga acumulada en la interfase electrodo/electrolito, mientras que la capacitancia de los pseudocapacitores es resultante de las rápidas reacciones redox en el propio material de electrodo. Para ambos tipos de capacitores, el material del electrodo es determinante del rendimiento capacitivo, por lo que existe un esfuerzo considerable para explorar nuevos materiales o mejorar otros aplicando tratamientos apropiados.

Actualmente, los materiales que se encuentran en auge en el campo de los capacitores electroquímicos son los materiales nanoestructurados. Esto se debe a las interesantes propiedades que poseen, tales como: alta superficie específica, rápidas reacciones redox, y la corta trayectoria de difusión en fase sólida.

El carbón activado es un material adecuado para los capacitores electroquímicos, debido a su buena conductividad, alta superficie especí-





fica, excelente estabilidad térmica y bajo costo relativo [5-6]. Otros materiales a base de óxidos de metales nobles, tales como RuO<sub>2</sub>, exhiben propiedades de pseudo-capacitancia, con una mayor capacidad de almacenar carga en comparación con el carbono [5]. Algunos óxidos de metales de transición tales como óxidos de rutenio [7-8], óxidos de manganeso [9-10], óxidos de cobalto [11] y óxidos de níquel [12-13] han sido investigados en un intento de obtener altas capacitancias específicas y velocidades de carga/descarga. El elevado costo de algunos de estos óxidos ha estimulado la investigación para identificar otros materiales menos caros que exhiben un comportamiento similar. Sin embargo, su rendimiento no debe estar comprometido debido a limitaciones de la conductividad y la superficie disponible.

Varios métodos alternativos se han desarrollado y utilizado para la síntesis de polvos de óxidos cristalinos de dimensiones nanométricas. El principal objetivo es producir materiales con propiedades fisicoquímicas adecuadas para aplicaciones tecnológicas reduciendo el costo de las síntesis químicas. Así, para la obtención de nanopartículas de óxidos metálicos, muchos investigadores han empleado diversas técnicas, tales como sol-gel [11], la síntesis asistida por surfactante [12], descomposición térmica [13], solvólisis [14] y síntesis mediada con una matriz polimérica [15].

En este trabajo, se describe la preparación y caracterización de diferentes nanocompuestos de óxido de níquel con el agregado de negro de carbono durante el proceso de síntesis, a partir del método Sol-Gel, utilizando como reactivos acetato de níquel y ácido oxálico, y como solvente etanol. Se prepararon distintas muestras, a alguna de las cuales se les agregó negro de carbono sin funcionalizar (CB) y negro de carbono funcionalizado (CBf). Los compuestos sintetizados fueron caracterizados por difracción de rayos X, microscopía electrónica de barrido (MEB) y microscopía electrónica de transmisión (TEM). Se utilizaron técnicas electroquímicas a efectos de evaluar las propiedades de estos materiales compuestos en su posible aplicación como materiales de supercapacitores.

## 2. Experimental

### 2.1 Síntesis

Se sintetizaron nanopartículas de óxido de níquel (NiO) mediante el método Sol-Gel. Se disolvió acetato tetrahidratado de níquel Ni(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub> · 4H<sub>2</sub>O en etanol (2 % P/V) bajo constante agitación a 60°C durante 2 horas. Luego, se añadió lentamente una solución caliente de ácido oxálico (7% P/V en etanol) a la solución anterior, obteniéndose un gel espeso de color verdoso. El producto obtenido fue posteriormente secado en una estufa a 110°C por 24 horas y, seguidamente calcinado en un horno a 500°C por 2 horas. Este proceso produjo un polvo negro que finalmente fue triturado en un mortero hasta obtener un fino polvo.

Para la síntesis de nanoestructuras de óxido de níquel y negro de carbono (NiO-CB) se siguió el mismo procedimiento descrito anteriormente, con el agregado de partículas de negro de carbono, funcionalizadas (CBf) y sin funcionalizar (CB) a la disolución inicial, en una concentración de 0.1 mg/ml totales.

Se utilizó negro de carbono comercial (Vulcan XC-72R). El pretratamiento de funcionalización se realizó con ácido nítrico. Para ello, se suspendió 0.85 mg/ml de negro de carbono en HNO<sub>3</sub> 2.2 M, y se mantuvo la suspensión a temperatura ambiente durante una hora. Luego, el preparado se agitó con ultrasonido durante 30 minutos. Posteriormente la dispersión obtenida fue guardada a temperatura ambiente durante 20 horas. Se filtró y se lavó con abundante agua destilada hasta obtener pH neutro en el filtrado. Finalmente, las partículas de negro de carbono tratadas se secaron en estufa a 37 °C durante 2 horas.

### 2.2 Métodos de Caracterización

La observación de las muestras por Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) se llevó a cabo con un microscopio electrónico de barrido Carl Zeiss SMT Ltd. Modelo MA10. Las micrografías por Microscopía Electrónica de Transmisión (TEM) se obtuvieron con un modelo JEOL 100CX operado a 100 kV. Las imágenes TEM se procesaron con el software ImageJ para determinar el tamaño de partícula.

Los patrones de difracción de rayos X (DRX)

de los compuestos sintetizados fueron obtenidos utilizando un difractómetro de rayos X Philips PW 3710, y Línea de Cu Ka ( $\lambda = 1.5451$  nm) con ánodo de cobre.

### 2.3 Preparación de electrodos y mediciones electroquímicas

Los electrodos de trabajo se prepararon colocando los compuestos sintetizados (NiO, NiO-CBs, NiO-CBf) sobre un disco de carbono vítreo pulido a espejo. En primer lugar, una determinada cantidad del compuesto se pesó directamente sobre el carbono vítreo. Luego, 18  $\mu$ l de una solución de Nafion fue colocada cuidadosamente sobre el material con una micropipeta.

Para estudiar el comportamiento capacitivo de los materiales sintetizados se aplicaron técnicas electroquímicas típicas tales como voltamperometría cíclica y mediciones galvanostáticas de carga/descarga. Las experiencias se llevaron a cabo en el intervalo de voltaje 0.0 y 0.7 V (vs RHE). Los perfiles de I/V fueron registrados variando las velocidades de barrido de 10 a 100 mV/s. Las curvas de carga/descarga se registraron en diferentes densidades de corriente, con valores 3 a 37 A/g.

Todos los experimentos electroquímicos se realizaron en una celda de tres electrodos, en KOH 1 M, termostaticada a 25 °C, utilizando un electrodo de Platino (Pt) y un electrodo de Hidrógeno, como contraelectrodo y referencia respectivamente. Para las mediciones electroquímicas se utilizó un Potenciostato/Galvanostato EG & G PAR Modelo 362, acoplado a un osciloscopio Nicolet con una plaqueta adquisidora de datos conectada a una PC.

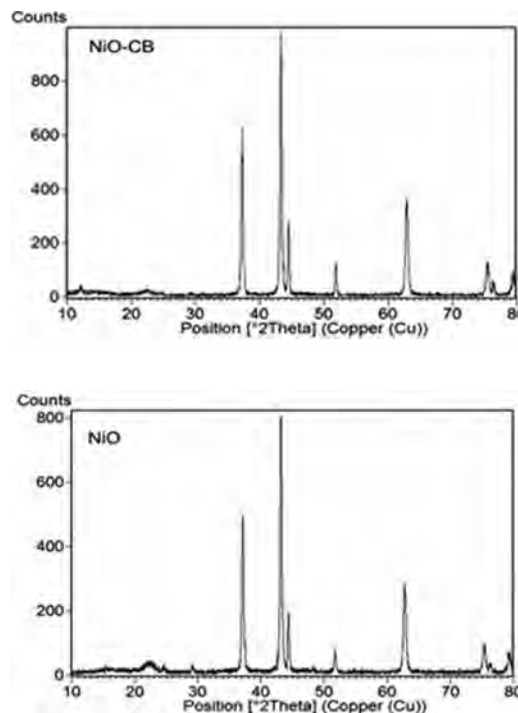
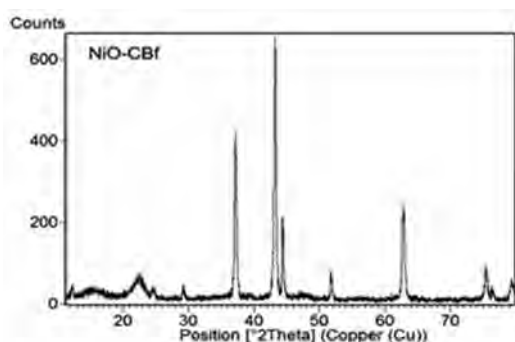


Fig. 1. Difracción de Rayos X de nanoestructuras de NiO, NiO-CB y NiO-CBf.

## 3. Resultados y discusión

### 3.1 Difracción de Rayos X

Los patrones de difracción de rayos X de las nanopartículas sintetizadas se muestran en la Fig. 1. La existencia de fuertes picos de difracción agudos situados en  $2\theta = 37.3^\circ$ ,  $43.3^\circ$ ,  $62.9^\circ$ ,  $75.4^\circ$  y  $79.4^\circ$  corresponden a los planos de cristal (111), (200), (220), (311) y (222) respectivamente, indicando la formación de una fase pura, de óxido níquel cúbico (estructura de NaCl) [16]. Además fueron observados pequeños picos de la fase de Ni situados en  $2\theta = 44.5^\circ$ ,  $51.8^\circ$  y  $76.3^\circ$  que corresponden a la estructura FCC del níquel metálico [16]. La presencia de Ni metálico es atribuida a la formación del nanocompuesto NiO/Ni a temperaturas por encima de los 400°C debido a la deficiencia de oxígeno durante la descomposición térmica de los restos orgánicos, probablemente causada por la disminución de la presión parcial de oxígeno a temperaturas cercanas a la correspondiente de descomposición [17]. Además, un aumento en la amorficidad en las muestras se evidencia en la zona de  $2\theta$  menores que  $30^\circ$  debido a la incorporación del negro de carbono en las nanoestructuras.

### 3.2 Microscopía electrónica de barrido y transmisión

En la Fig. 2 se muestran las micrografías MEB y TEM de las diferentes nanoestructuras de NiO, NiO-CB y NiO-CBf, evidenciándose la presencia de nanopartículas de varios tamaños correspondientes al óxido de níquel y a los materiales compuestos de óxido de níquel con negro de carbono incorporado. De las imágenes MEB, se establece que la morfología corresponde a un agregado de partículas uniforme en el caso de las muestras correspondientes a nanopartículas de NiO y NiO-CB. Cuando se agrega CBf, pueden distinguirse partículas bien interconectadas, dando lugar a la formación de una estructura porosa que favorece su uso en dispositivos electroquímicos como los supercapacitores.

Del análisis realizado de las micrografías TEM con el procesador ImageJ, se determinó que existe una diversidad de tamaños en todas las muestras. No obstante, se estableció un diámetro medio de 13 nm, 17 nm y 15 nm para NiO-CBf, NiO-CB y NiO, respectivamente.

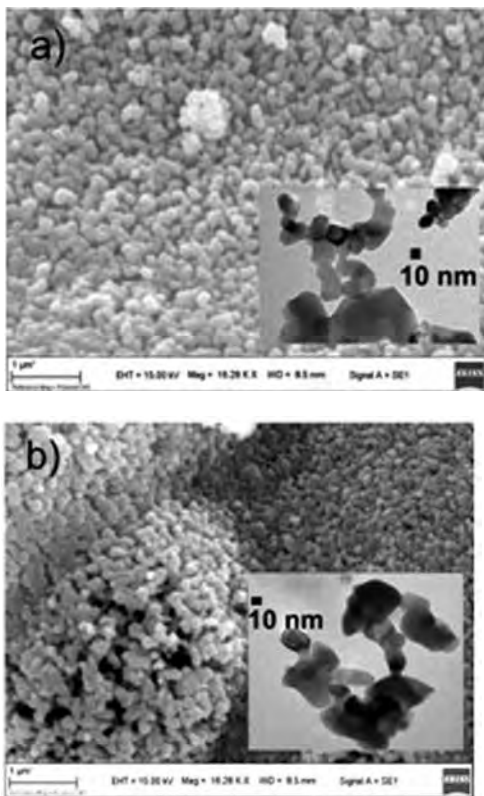


Fig. 2. Imágenes MEB y TEM de nanoestructuras de a) NiO, b) NiO-CB y c) NiO-CBf.

### 3.3 Estudios electroquímicos

Con el fin de evaluar las características electroquímicas de las nanopartículas sintetizadas se utilizó voltamperometría cíclica, entre 0.0 y 0.7 V como límites de potencial, a varias velocidades de barrido. Los voltamperogramas típicos de los nanocompuestos se muestran en la Fig. 3a. El nanocompuesto NiO-CBf presenta el mejor comportamiento capacitivo evidenciado en una mayor densidad de corriente de doble capa.

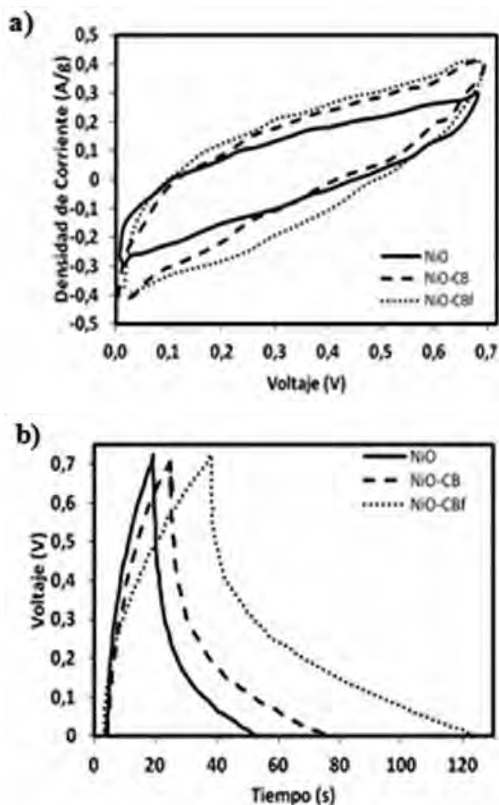
Para estudiar el comportamiento de las nanoestructuras de NiO, NiO-CB y Ni-CBf para su aplicación en supercapacitores, se realizaron mediciones galvanostáticas de carga/descarga a diferentes densidades de corriente. Los parámetros eléctricos de interés en los condensadores son la capacitancia específica ( $C_m$ ), la energía específica ( $E_s$ ) y la potencia específica ( $P_s$ ). Estas propiedades fueron calculadas utilizando las ecuaciones (1) a (3).

$$C_m = C/m = I \Delta t / (m \Delta V) \quad (1)$$

$$E_s = I \Delta t \Delta V / m \quad (2)$$

$$P_s = I \Delta V / m \quad (3)$$

donde  $C_m$  es la capacitancia específica,  $I$  es la corriente de carga/descarga,  $Dt$  es el tiempo de descarga,  $DV$  es el potencial y  $m$  es la masa de material activo [18]. Los perfiles de potencial versus tiempo para una densidad constante de 3 A/g se muestran en la Fig. 3b. La respuesta presenta una desviación de la idealidad, siendo asimétrica no lineal.



**Fig. 3.** a) Voltamperometría cíclica a 10 mV/s. b) Curvas galvanostáticas de carga/descarga a 3 A/g, de los nanocompuestos en KOH 1M.

Los valores de capacitancia específica, medidos a diferentes densidades de corriente se presentan en la Tabla 1. Es de destacar los altos valores de capacitancia que fueron obtenidos a bajas densidades de corriente, 339.47 F/g, 262.56 F/g y 182.75 F/g para, NiO-CBf, NiO-CB y NiO, respectivamente. Los nanocompuestos que poseen negro de carbono funcionalizado agregado durante el proceso de síntesis son los que poseen los valores más elevados de capacitancia en todas las experiencias realizadas.

**Tabla 1.** Capacitancias específicas calculadas a partir de las mediciones galvanostáticas de carga/descarga para los nanocompuestos sintetizados.

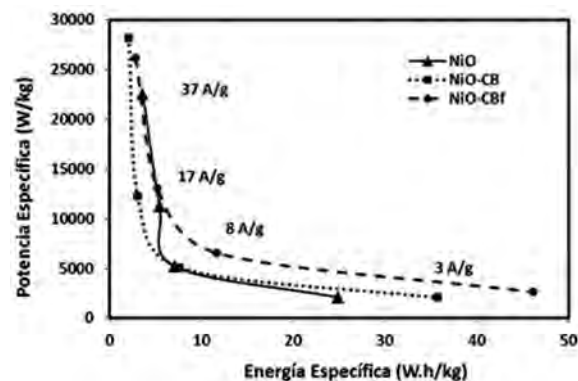
i/m (A/g)	NiO	NiO-CB C (F/g)	NiO-CBf
7	26.54	15.39	20.87
17	39.96	22.58	38.36
8	51.94	56.28	86.21
3	182.75	262.56	339.47

Varios factores son considerados como res-

ponsables del mejor rendimiento de los nanocompuestos NiO-CBf. La incorporación de negro de carbono, sea funcionalizado o sin funcionalizar, aporta una capacidad de doble capa propia de los materiales carbonosos. En particular, el CBf contribuye con una pseudocapacitancia faradaica adicional, proporcionada por los grupos oxigenados superficiales que se generan durante el proceso de funcionalización. Es importante señalar la presencia de una estructura porosa en los nanocompuestos de NiO-CBf, determinada por MEB, que facilita el acceso del electrolito [18].

### 3.4 Diagrama de Ragone

En la Fig. 4 se presenta el diagrama de Ragone correspondiente a la relación entre la potencia específica y la energía específica, calculadas a varias densidades de corriente para las nanoestructuras sintetizadas de NiO, NiO-CB y NiO-CBf. A altas densidades de corriente, los nanocompuestos sintetizados presentan comportamientos similares, esto es, elevados valores de potencias específicas de aproximadamente 25000 W/kg y energías específicas de 3 W h/kg. Sin embargo, es de destacar que a bajas densidades de corriente el valor de la energía específica de los nanocompuestos NiO-CBf es prácticamente el doble del correspondiente a NiO.



**Fig 4.** Relación entre la potencia específica y la energía específica para los nanocompuestos en KOH 1M.

### 4. Conclusiones

Mediante el método de Sol - Gel se sintetizaron nanopartículas de NiO y nanocompuestos con el agregado in-situ de negro de carbono. Diversas técnicas fisicoquímicas permitieron la caracterización de las nanopartículas. A partir



de DRX se determinó que, a la temperatura de trabajo, se obtienen partículas de NiO y Ni metálico. Mediante las micrográficas se estableció el tamaño de las mismas siendo el diámetro medio no mayor de 20 nm.

A partir de los resultados electroquímicos, se evaluó la posible aplicación de estos nanocompuestos en supercapacitores. Las tres muestras de nanopartículas ensayadas ofrecen elevados valores de capacitancia específica a bajas densidades de corriente. El nanocompuesto de NiO-CBf es el que presenta, además, energía específica superior.

### Agradecimientos

Las autoras de este trabajo agradecen el apoyo de SECyT- Facultad de Ingeniería - UNCPBA y CICPBA. JEL agradece Beca EVC-CIN.

### Referencias

1. Wang G, L. Zhang, J. Zhang, A: Review of electrode materials for electrochemical supercapacitors. *Chem Soc Rev.* 41 (2012) 797–828.
2. Shakir I, Shahid M, Yang H.W., Kang D.J.: Structural and electrochemical characterization of  $\alpha$ -MoO<sub>3</sub> nanorod-based electrochemical energy storage devices. *Electrochim Acta* 56 (2010) 376–80.
3. Shahid M, Liu J.L, Ali Z, Shakir I, Warsi M.F.: Structural and electrochemical properties of single crystalline MoV<sub>2</sub>O<sub>8</sub> nanowires for energy storage devices. *J. Power Sources* 230 (2013) 277–81.
4. Shakir I, Shahid M, Nadeem M, Kang D.J.: Tin oxide coating on molybdenum oxide nanowires for high performance supercapacitor devices. *Electrochim. Acta* 72 (2012) 134–7.
5. Huang Q., Wang X., Li J., Dai C., Gamboa S., Sebastian P.J: Enhanced electrochemical properties of nanocomposite polymer electrolyte based on copolymer with exfoliated clays *J. Power Sources* 164 (2007) 425-32.
6. Babel K., Jurewicz K.: KOH activated carbon fabrics as supercapacitor material. *J. Phys. Chem. Solids* 65 (2004) 275-80.
7. Zheng J.P., Cygan P.J., Jow T.R.: Hydrous Ruthenium Oxide as an Electrode Material for Electrochemical Capacitors. *J. Electrochem. Soc.* 142 (1995) 2699-703.
8. Jow J .J., Lee H.J., Chen H.R., Wu M.S., Wei T.Y.: Anodic, cathodic and cyclic voltammetric deposition of ruthenium oxides from aqueous RuCl<sub>3</sub> solutions. *Electrochim. Acta* 52 (2007) 2625-33.
9. Wei J., Nagarajan N., Zhitomirsky I.: Manganese oxide films for electrochemical supercapacitors. *J. Mater. Process. Technol.* 186 (2007) 356-61.
10. C. Hu, C. Wang, J.: Nanostructures and Capacitive Characteristics of Hydrous Manganese Oxide Prepared by Electrochemical Deposition. *Electrochem. Soc.* 150 (2003) A1079-84.
11. Lin C., Ritter J.A., Popov B.N.: Characterization of Sol-Gel Derived Cobalt Oxide Xerogels as Electrochemical Capacitors. *J. Electrochem. Soc.* 145 (1998) 4097-103.
12. Liu K.C., Anderson M.A.: Porous Nickel Oxide/Nickel Films for Electrochemical Capacitors. *J. Electrochem. Soc.* 143 (1996) 124-30.
13. Srinivasan V., Weidner J.W.: An Electrochemical Route for Making Porous Nickel Oxide Electrochemical Capacitors. *J. Electrochem. Soc.* 144 (1997) L210-3.
14. Srinivasan V., Weidner J.W.: Studies on the Capacitance of Nickel Oxide Films: Effect of Heating Temperature and Electrolyte Concentration. *J. Electrochem. Soc.* 147 (2000) 880-5.
15. Kalu E.E., Nwoga T.T., Srinivasan V., Weidner J.W.: Cyclic voltammetric studies of the effects of time and temperature on the capacitance of electrochemically deposited nickel hydroxide. *J. Power Sources* 92 (2001) 163-7.
16. Anandan K., Rajendran V.: Morphological and size effects of NiO nanoparticles via solvothermal process and their optical properties. *Mat. Sci. Semicond Proc.* 14 (2011) 43-47.
17. Wang Y.D., Ma CL, Sun X.D., Li H.D.: Preparation of nanocrystalline metal oxide powders with the surfactant-mediated method. *Inorg Chem Commun* 5 (2002) 751–5.
18. Bavio, M.A., Acosta, G.G., Kessler T.: Polyaniline and polyaniline-carbon black nanostructures as electrochemical capacitor

electrode materials. Int J Hydrogen Energy 39  
(2014) 8582-9.







# Cálculo de factibilidad y zonas primarias de despliegue en redes rurales de banda ancha con radios cognitivas

Darío M. Goussal

## Resumen

Este artículo describe criterios y resultados para la evaluación de factibilidad de implantación de Redes Inalámbricas de Área Regional (WRAN) en planes de expansión para accesos rurales en banda ancha, con eventual uso de bandas de espectro de espacio blanco y radios cognitivas. Expone métodos y criterios para la determinación de áreas primarias de despliegue con nuevas premisas de adopción y cobertura, en referencia a áreas rurales de Argentina.

*Palabras clave:* Banda ancha rural– Radios cognitivas– Factibilidad– WRAN.

## 1. Introducción

El concepto de red de área regional inalámbrica (WRAN) nació de la búsqueda de alternativas tecnológicas más adecuadas para accesos rurales de banda ancha. El uso potencial de radios cognitivas y sistemas de coexistencia en canales vacantes de la TV abierta se afirmó en 2004 con la formalización de un grupo de trabajo para desarrollar un nuevo estándar internacional: IEEE 802.22. El concepto de radios cognitivas se basa en la idea originalmente propuesta por Joseph Mitola (1999).

IEEE 802.22 plantea el uso subsidiario de canales de TV- DTV en zonas u horarios vacantes mediante técnicas de geolocalización y baliza, sensado inteligente de RF, selección dinámica de frecuencias y autolimitación de la potencia radiada aparente. Procura el aprovechamiento residual de espacios blancos de VHF-UHF entre 54 y 862 Mhz, donde la distribución de última milla mediante macroceldas puede alcanzar dis-

Grupo de Telecomunicaciones Rurales (GTR). Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Nordeste, Av. Las Heras 727 (3500) Resistencia, Argentina.

tancias considerables. Técnicamente exitosas, las pruebas de campo de algunos productos comerciales en 2013 y 2014 en EE.UU. y Japón enfrentan sin embargo, la cautela de fabricantes y operadores hacia la evolución de expectativas de mercado y cambios regulatorios antes de planificar decisiones de inversión. Las oportunidades de expansión rural de la conectividad en ambientes de coexistencia requieren nuevos criterios de factibilidad en la ingeniería de planeamiento, con el cambio tecnológico obligando a continuas mudanzas y ajustes de modelos. Es importante remarcar el carácter subsidiario de los sistemas de coexistencia para los planes de conectividad en banda ancha en áreas rurales. La alternativa WRAN no se adecua bien a áreas urbanas y tampoco a las semi-rurales con densidades normales de abonados, ó relativamente cerca de la cobertura de otros servicios. Para zonas rurales vecinas a ciudades ó con topologías de “racimos de abonados” existen opciones más baratas, fáciles y mejor adaptadas técnicamente. Las zonas candidatas para conectividad en espacio blanco son las que permanecen sin servicio por estar fuera del interés de proveedores ó de programas de banda ancha del gobierno debido a su baja densidad de abonados, tasas de adopción, ingresos ó aislamiento geográfico. Contra-



intuitivamente, WRAN en bandas de espacio blanco deberían considerarse como una opción de conectividad limitada por densidades máximas de abonados y por máximas tasas de adopción. Nuestro análisis se centrará justamente en la aplicación de la tecnología WRAN con radios cognitivas a tales áreas rurales “duras”.

La mayor parte de los modelos de factibilidad de implantación para redes de banda ancha rural de área regional (WRAN) se elaboraron antes de aprobada la versión final de la norma: Simancas (2006); Wright (2007); Calabrese & Rose (2008); Nekovee (2009); Goussal (2010); Da Silva (2010); Omar et al (2010) y Fitch et al (2011). Sin embargo, en Latinoamérica la variedad de relieves geográficos, tipos de clima, patrones demográficos y de ingreso, y las diferencias en los niveles de conectividad aun dentro de un mismo país hacían poco realista el cómputo de estimaciones de cobertura aplicando directamente las premisas originales, por lo que desde 2009 en la UNNE se ensayaron diversas modificaciones sobre el mismo (Goussal, 2011).

## 2. Reelaboración del modelo de factibilidad

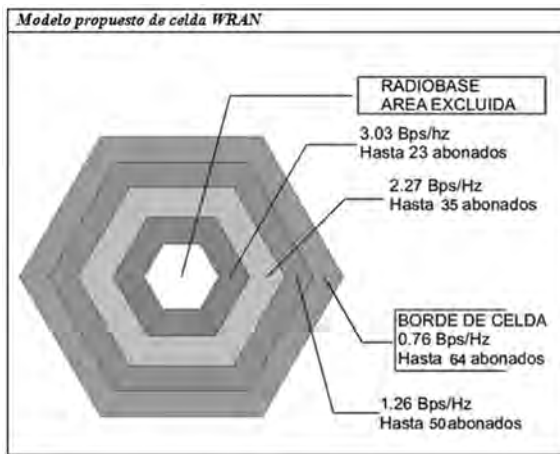
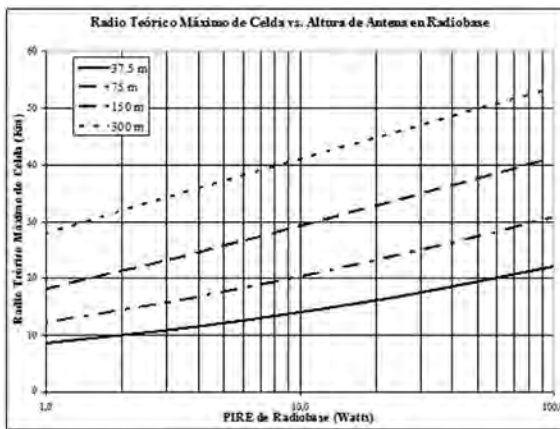
El umbral de operación viable nace de la interacción entre densidades de población y tasas esperadas de adopción del servicio. Cuanto menor fuera el número de viviendas en el área -o de personas por vivienda-, mayor debería ser la esperanza mínima de adopción. Las premisas de factibilidad de implantación de WRAN fueron planteadas originalmente en 2005. El modelo de capacidad adoptado en la norma IEEE 802.22 suponía una macrocelda circular genérica de 30,7 Km (2.960 Km<sup>2</sup>), correspondiente al alcance teórico máximo de una estación base operando en una frecuencia de 617 Mhz (Canal 38 UHF), con una altura de antena de 75 m. irradiando a la potencia límite (4 W, PIRE= 98,3 W). La distribución de densidades de abonado decrecía radialmente del centro hacia el borde de celda con rendimientos espectrales progresivamente menores, desde 5 hasta 1 Bit/Hz. (Fig. 1). Luego, un canal de 6 Mhz vacante del espectro de ATV ó DTV habilitaría 18 Mhz para la distribución, en tanto la eficiencia espectral mantuviera un promedio de 3 Bit/ Hz. Ello permitiría acomodar

hasta 600 abonados rurales por canal de TV en la celda, con similares capacidad y calidad de servicio a una conexión ADSL urbana (384 Kbs de subida y 1,5 Mbs de bajada con una concentración de tráfico de 50:1). Utilizando 3 canales de 6 Mhz vacantes del espacio blanco para tráfico de bajada y 1 para subida, la macrocelda podría servir hasta 4.500 habitantes (1.800 abonados en áreas con 2,5 habitantes por vivienda), arrojando una densidad límite de 1,5 Hab/Km<sup>2</sup>. para celdas de 30,7 Km.

En el modelo de factibilidad de David Wright (2007), el ancho de banda promedio teóricamente disponible por canal de TV (18 Mbps), se reducía a 13,5 Mbps netos una vez deducido el tráfico interno de gestión (supuesto un 25%). Esa estimación llevaba a una capacidad máxima de 358 abonados por celda, bien por sobre el umbral de factibilidad de 90 clientes por radiobase considerado por el IEEE para operación económica. Mantenía sin embargo las mismas premisas de adopción inicial (5 %) con 2,5 personas por vivienda, y una única relación de concentración de tráfico de 50:1, reflejando un intermedio entre los usuales para ADSL (40:1) y cablemodem (80:1). Wright adoptaba en cambio, una celda circular tipo de 17 Km de radio (908 Km<sup>2</sup>), que para la misma adopción inicial exigía una densidad mínima de 5 Habitantes por Km<sup>2</sup>, muy por debajo de la premisa de 60 por Km<sup>2</sup> usual en accesos DSL urbanos.

Nosotros concebimos un modelo más pesimista pero de menor costo, limitando a la mitad la altura de antena de la base y con ello, reduciendo el alcance máximo de celda en zonas de llanura (37,5m /23 Km). Adoptamos densidades de vivienda en lugar de densidades de población con distribución uniforme (y no, radialmente decreciente del centro al borde de celda como en el modelo de Wright). Usando celdas hexagonales de 17 Km perfectamente centradas y uniformemente distribuidas, la zona de servicio macro sin solapamiento alcanzaría 751 Km<sup>2</sup>. Con distribución irregular de abonados radiobases imperfectamente centradas y solapamiento 25%, el área de cobertura neta se degradaría hasta 563 Km<sup>2</sup>. Para radios de 11, 14, 20 y 23 Km., alcanzaría 236, 382, 779 y 1031 Km<sup>2</sup>. Obviamente, en zonas de relieve montañoso podrían desplegar-

se celdas de 30,7 Km y mayores, aprovechando cerros o alturas naturales. Al aprobarse la versión final de la norma (2011), recalculamos con 4 niveles de eficiencia espectral (desde 3,03 hasta 0,76 Bit/Hz), con dos topologías de WRAN -respectivamente, con y sin una localidad rural en el sitio base. En vez del único coeficiente de concentración (50:1), supusimos que éste pudiera reducirse en áreas con abonados de uso intensivo, explotaciones agrarias, escuelas rurales, puestos sanitarios y telecentros comunitarios, ó bien ampliarse para zonas de familias rurales pequeñas y usuarios ocasionales.



Para determinar la ubicación más conveniente de una radiobase WRAN, nuestro modelo considera dos casos típicos en áreas rurales vacantes:

- I. Zonas con al menos un aglomerado poblado adecuado para alojar la radiobase.
- II. Zonas sin aglomerados (únicamente población rural dispersa).

Para celdas tipo I, supusimos que no habrá abonados WRAN en el área contigua a la radio-

base pues no tendría sentido a tan poca distancia compitiendo con tecnologías más sencillas de corto alcance (Wi-Fi) (Fig. 2). Incluso, también deberían excluirse los del segundo hexágono, en WRAN de pequeño radio. Los umbrales de factibilidad, recalculados con la versión 2011 de la norma 802.22 y manteniendo la misma premisa de tasa de adopción inicial (5 %) serían así: las celdas de tipo I, excluyendo el hexágono urbano central tendrían 96,8 % del área total con los abonados rurales allí ubicados. Los abonados del 36 % de probables usuarios situados en el hexágono exterior podrían funcionar con eficiencia espectral mínima (0,76 Bit/Hz modulando en QPSK 1/2). Luego, las del hexágono 4, representando 28 % del área total, podrían funcionar a 1,26 Bit/Hz con modulación QPSK 3/4. En el hexágono interior 3, representando el 20 % del total podrían alcanzar 2,27 Bit/Hz modulando en 16-QAM 3/4; y en el segundo, con 12,8 % del área lo harían a 3,03 Bit/Hz con modulación 64-QAM 2/3. La celda I tipo podría servir hasta 64 usuarios en el hexágono exterior, 50 en el 4º, 35 en el 3º y 23 en el 2º. El total de 172 abonados estaría bien por debajo del rango originalmente adoptado como premisa de cobertura en las recomendaciones de instalación iniciales (Chouinard, 2005).

Al ensayar umbrales de viabilidad de WRANs con distintas opciones de calidad de servicio (concentraciones de tráfico desde 50:1 hasta 10:1), la celda típica permitiría atender hasta 172, 138, 103, 69 y 34 abonados, respectivamente. Para celdas de 11 Km de radio, la máxima densidad de abonados con el coeficiente de concentración más alto sería de 0,47 por Km2 en áreas del Caso I y 0,50 por Km2 en el Caso II, pero el umbral de viabilidad podría llegar a ser tan bajo como 0,031 por Km2 para celdas de 30,7 Km. trabajando con la máxima calidad de servicio (21:1).

El Caso II reflejaría áreas de servicio “rurales puras”, es decir donde todavía no hay población aglomerada (aldeas ó pequeños pueblos). La estación base puede entonces estar en cualquier ubicación, siendo conveniente ubicarla en alturas naturales o compartiendo infraestructura común (torres, contenedores, energía y enlaces a la red troncal). Alternativamente, para reducir

las inversiones y costos de explotación, la radiobase podría ubicarse en el sitio de un abonado intensivo (telecentro, biblioteca ó escuela rural). Al no haber áreas de exclusión en el área de la base la capacidad de servicio sería casi igual con topes ligeramente mayores -desde 53 hasta 190 abonados, con concentraciones de tráfico desde 10:1 hasta 50:1-. Estos nuevos resultados para los Casos I y II arrojan un umbral de 26:1 como concentración mínima permitida para operación viable en zonas de servicio del Caso I, y 21:1 para las del Caso II, tomando siempre como límite el umbral original de 90 abonados con adopción inicial de 5%. Sin embargo, para cálculos ejemplificativos en Argentina usamos una adopción 20%, al estimar su elasticidad acceso como más parecida a la de zonas “duras” de Canadá como la Península Acadiana, alcanzando 26,4:1 en el primer año (Wright, 2007).

### 3. Áreas primarias de despliegue en la Provincia del Chaco

La estimación de áreas de primarias de despliegue necesita computar valores y tendencias demográficas con desagregación de micronivel. La cobertura de banda ancha requiere además, estimaciones de viviendas rurales dispersas, habitantes por vivienda y densidades, incluyendo el factor de ocupación. Los radios censales serían la unidad correcta, pero ese nivel de detalle supone datos a menudo difíciles de hallar u obsoletos cuando se obtienen. Por ello, nosotros utilizamos una combinación de fuentes censales (decenales) y electorales (bienales). La Tabla 1 enlista las densidades de viviendas rurales dispersas y totales ocupadas (incluyendo centros ó aglomerados), para los 26 departamentos de la provincia del Chaco. También, el número de centros con población aglomerada, adecuados para implantación de bases WRAN. Se notan las diferencias en densidad mínima y habitantes por vivienda respecto al modelo de Wright. Naturalmente, las prioridades de despliegue a nivel de departamento deberán intersectarse con tendencias intercensales y datos bienales de fuentes alternativas. La meta primaria de cobertura ideal en la provincia serían unos 9.500 abonados (20% de las viviendas rurales), pero sólo 3 departamentos presentan densidades promedio

de más de 1 vivienda por Km<sup>2</sup>.

Las tablas 2-3 detallan posibles áreas de despliegue de celdas WRAN factibles para los Casos I y II, estimadas para adopción inicial de 20%. Ese valor refleja la inclusión de abonados rurales supuestos de baja elasticidad-acceso (viviendas con comercios en pueblos rurales y cascos de explotaciones agropecuarias de pequeños productores).

Tabla 1

Departamento	Viviendas Rurales Dispersas	Viviendas Rurales (Total)	Habitantes por Vivienda	Densidad V/R Total Ocupadas	Centros Rurales
Quitilipi	2188	2441	4,11	1,42	1
Bermejo	1697	3693	3,66	1,23	3
Comandante Fernández	2083	2083	3,86	1,18	
Libertad	953	1213	3,91	0,96	3
O'Higgins	1666	1666	4,02	0,87	
Sargento Cabral	1050	1654	3,88	0,82	2
Chacabuco	1124	1124	3,80	0,72	
Maipú	2234	2234	4,13	0,69	
Independencia	1365	1444	4,3	0,64	1
25 de Mayo	1541	1811	4,31	0,68	2
9 de Julio	1550	1550	3,83	0,64	
General San Martín	4000	5273	3,89	0,59	5
General Donovan	735	986	3,76	0,59	1
San Lorenzo	965	1350	3,90	0,53	1
Santa María de Oro	955	1315	3,78	0,51	2
12 de Octubre	1142	1490	3,83	0,49	3
2 de Abril	723	883	3,67	0,46	1
1° de Mayo	744	955	3,66	0,41	1
General Belgrano	617	617	4,08	0,42	
San Fernando	1066	1757	3,77	0,44	3
Mayor Fontana	1665	1791	3,80	0,42	1
Presidencia de la Plaza	868	868	3,91	0,34	
Tapenagá	468	1476	3,67	0,18	5
General Güemes	4663	6225	4,14	0,21	6
Almirante Brown	1706	2007	4,24	0,09	1
Totales	37768	47906		0,41	43

La estimación, aún muy gruesa se obtuvo desde registros de votantes en escuelas rurales de elecciones (2013) y del Mapa Educativo Nacional. Las localidades de la Tabla 2 son pequeños municipios y las de la Tabla 3 son escuelas rurales que podrían albergar a priori, bases WRAN en topologías I y II respectivamente, ya que ambos tipos de área primaria de despliegue superan el umbral de factibilidad inicial de 90 abonados por celda. Ese umbral podría ser menor si por ejemplo, la infraestructura de la radiobase se abarata aprovechando sitios con alojamiento, energía y estructuras de antena existentes. Pero también podría aumentar, si el nivel de ingresos rural en el área primaria de despliegue determinara la fijación obligada de tarifas más bajas. Si el capital requerido para WISPs de tecnología tradicional es ya demasiado alto, por ejemplo por falta de vínculo con la red troncal (“backhaul”), la alternativa WRAN será afectada por la misma restricción. Este cálculo estimativo



arroja metas de 1.745 abonados para cobertura primaria en celdas WRAN tipo I y 882 en las de tipo II.

Tabla 2

Departamento	Área Rural Caso I	Estimación Viviendas	Viviendas Rurales	20 % TA (Antena)	20 % TA (Total)
25 de Mayo	Colonia Aborigen	631	258	32	126
Bermejo	Isla del Cerrito	623	372	114	125
Sta Maria De Oro	Chorocho	581	274	55	116
Gral Güemes	El Espinillo	989	357	71	198
	Fuerte Esperanza	790	507	101	158
	Zaparrinqu	562	182	36	112
Gral San Martín	Laguna Limpia	614	343	69	123
	Pampa Almirón	753	401	80	151
Quilipi	Villa El Palmar	893	253	51	179
San Lorenzo	Samuhu	377	385	77	115
Sargento Cabral	Capitán Solari	750	553	111	150
Tapeñaga	Cote Lai	507	373	75	101
	Charadai	453	506	101	91

Tabla 3

Departamento	Área Rural Caso II	Latitud	Longitud	Est. Viv.	20 % TA
25 de Mayo	Colonia Aborigen	-26.956	-60.204	529	106
25 de Mayo	Colonia Tres Palmas	-26.738	-59.966	736	147
C. Fernandez	Colonia Bajo Hondo	-26.879	-60.556	451	90
C. Fernandez	Pampa Aguado	-26.738	-60.407	556	111
Gral. San Martín	Campo Bermejo	-26.435	-59.284	646	129
Quilipi	Colonia El Paraisal	-26.499	-60.067	477	95
Quilipi	Colonia General Paz	-26.706	-60.144	568	114
Quilipi	El Zanjon	-26.540	-60.084	449	90

#### 4. Conclusiones

Desde el punto de vista de la expansión de la infraestructura de banda ancha, las áreas sin conectividad son una oportunidad comercial y al mismo tiempo una señal de alerta para la factibilidad. Un plan de conectividad sin zonas oscuras, pero consciente en costos requiere una mezcla de tecnologías desplegadas conjuntamente (Wi-Fi ó sistemas de corto alcance para los aglomerados y WRAN para el área rural exterior. Tal es el camino seguido en los ensayos pioneros de productos comerciales 802.22 en Japón y EE.UU. en 2013-2014. Cuando la tasa de adopción o los potenciales clientes son escasos -aun incluyendo el pueblo rural y todas sus áreas circundantes-, el problema de factibilidad permanecerá irresuelto, sin importar la tecnología adoptada. Si la falta de operadores en el pueblo obedece sólo a limitaciones de cobertura, ése es el nicho correcto para el despliegue de celdas WRAN. La evaluación estimativa bajo nuevas premisas en zonas piloto ha permitido detectar zonas y condiciones para el despliegue de celdas WRAN de espacio blanco, calcular metas de cobertura primaria y prioridades de despliegue. También se ha evaluado el uso de fuentes alternativas de información demográfica para refinar la selección de las mismas.

#### Referencias

1. Calabrese, M. & Rose, G. "The economics of auctioning DTV white space spectrum" Wireless Future Program, Working Paper 22. New America Foundation, USA (2008)
2. Chouinard, G. "Recommended Practice for Installation of IEEE 802.22 Wireless RAN". Doc. IEEE 802.22-04/0002r13 (2005)
3. Da Silva E. & Alencar, M "A study of IEEE 802.22 as an alternative to the Brazilian Digital Television Return Channel" – Proc. 9th. International Information and Telecommunications Technologies Symposium – Rio de Janeiro, Brasil (2010)
4. Fitch, M.; Nekovee, M.; Kawade, S.; Briggs, K. & MacKenzie, R. "Wireless service provision in TV white space with cognitive radio technology: a telecom operator's perspective and experience" -IEEE Communications Magazine Vol. 49, Issue 3 ((2011).
5. Goussal, D.M. "Planeamiento de sistemas de banda ancha rural inalámbrica basados en redes de coexistencia y radios cognitivas en ambiente IEEE 802.22" – XXII Conferencia Latinoamericana de Energía y Telecomunicaciones Rurales (CLER). Buenos Aires, (2010)
6. Goussal, D.M. "Feasibility and strategic planning aspects of the deployment of rural wireless broadband networks based in white space spectrum technologies and cognitive radios". Proc. ITS Conference "Telecommunications and Investment: the Road Ahead" in honor of Professor Emeritus Lester D. Taylor. International Telecommunications Society (ITS). Jackson Hole, Wyoming (USA) (2011).
7. IEEE "Standard for Information Technology-Telecommunications and information exchange between systems -Wireless Regional Area Networks (WRAN)—Specific requirements Part 22: Cognitive Wireless RAN Medium Access Control and Physical Layer Specifications: Policies and Procedures for Operation in the TV Bands" –IEEE 802.22-2011TM IEEE Computer Society, N York USA (2011)
7. Mitola, J. "Software Radios: Wireless Architecture for the 21st Century" John Wiley & Sons, New York, NY, USA. (1999)
8. Nekovee, M. "A Survey of Cognitive Radio

Access to TV White Spaces” International Journal of Digital Multimedia Broadcasting, Vol. 1 (2010).

9. Omar, M; Hassan,S. & Shabli,A. “Feasibility Study of Using IEEE 802.22 Wireless Regional Area Network (WRAN) in Malaysia”. Proc. Second International Conference on Network Applications,Protocols and Services. IEEE Computer Society, pp- 198-202 (2010)

10. Simancas, E. “Análisis del estándar IEEE 802.22 (WRAN)) y su posible implementación en Ecuador”. Escuela Politécnica Nacional, Quito. (2006).

11. Wright, D. “Dynamic spectrum access in the IEEE 802.22 Wireless Regional Area Network” Proc. II International Conference on Access Networks (Access-Nets) Ottawa, Canada (2007)

