

# SECCIONES PERMANENTES

## Recuperando el rol protagónico de la Ingeniería en el desarrollo del país

Ing. Roberto Giordano Lerena e Ing. Miguel Sosa

Estamos publicando un nuevo número de la Revista Argentina de Ingeniería, en un marco donde la ingeniería (y la formación de ingenieros) está tomando una presencia en la agenda nacional que hace años no tenía.

Hay una necesidad clara y manifiesta de ingenieros en la Argentina. El modelo económico-productivo nacional se fundamenta en una matriz de crecimiento económico basada en la producción, en el valor agregado, en el mercado interno y en un fuerte crecimiento de las exportaciones. Los grandes planes estratégicos nacionales, como el Plan Estratégico Industrial 2020, el Plan Estratégico Agroalimentario y Agroindustrial, el Plan de Desarrollo Minero, el Plan de Ciencia, Tecnología e Innovación 2012 – 2016, que necesitan, a su vez, de Infraestructura en Transporte, Comunicaciones y Energía entre otros aspectos, requieren de una ingeniería moderna y comprometida. La ingeniería es un factor clave para lograr consolidar el desarrollo industrial, relacionar conocimiento con innovación productiva y disminuir los niveles de dependencia tecnológica. Sin ingeniería no hay valor agregado en la producción nacional.

La política en educación debe acompañar también esta demanda nacional de ingeniería e ingenieros, en cantidad y calidad. La meta es alcanzar la mayor tasa de graduados por año de Latinoamérica, un nuevo ingeniero cada 4.000 habitantes por año, es decir, 10.000 nuevos graduados por año en el 2020.

Y la política en educación no es solo una cuestión del gobierno. Todos los actores involucrados deben asumir la política en educación como propia y actuar en consecuencia. Las universidades, comprometidas con la sociedad, deben responder a sus demandas y constituirse en referentes de los procesos de transformación que deben enfrentar los países en el contexto de un mundo cada vez más interrelacionado. Pero no alcanza sólo con esfuerzos unilaterales de las universidades. Es imprescindible la participación activa del Estado, del sector productivo y de la comunidad toda, en el diseño de políticas públicas participativas y la coordinación de acciones conjuntas para la implementación de las mismas.

Esa responsabilidad de contribución, indispensable para el cumplimiento de las metas previstas en los mencionados planes estratégicos nacionales, es asumida y ordenada políticamente en el Plan Estratégico de Formación de Ingenieros 2012-2016, con ambiciosos objetivos y acciones previstas.

El plan estratégico no es solo punto de partida. Es también un punto de llegada; es consecuencia de un trabajo de años que sientan las bases para su diseño. La ingeniería argentina ha sido pionera en Iberoamérica en aspectos tales como la unificación curricular y homogenización de carreras (en terminales), la determinación de las carreras de ingeniería como “de impacto público”, el acuerdo sobre los estándares de calidad para tales carreras, la elaboración de un Manual de Acreditación de Grado de la Ingeniería Argentina por parte de CONFEDI, los procesos de acreditación propiamente dichos, el Proyecto de Mejoramiento de la Ingeniería, los programas de becas y fomento al estudio de la ingeniería, la presencia internacional de la ingeniería argentina, los acuerdos internacionales de movilidad suscriptos, la reformulación de los criterios de evaluación de las actividades de desarrollo tecnológico y transferencia y su impacto en el desarrollo regional y nacional, etc. Todos estos procesos, que hacen al aseguramiento y mejora de la calidad, han sido concretados por el acuerdo pleno de las unidades académicas de todas las universidades argentinas que dictan carreras de ingeniería, lo que configura un escenario auspicioso para el oportuno diseño y actual implementación de un plan estratégico de alcance nacional y plurianual y para el logro de sus metas.

El consenso de todos los actores de la ingeniería argentina (públicos y privados, industria, gobierno y academia) en pro de un plan estratégico de formación de profesionales es también una cuestión importante para destacar. En ese sentido, el Plan Estratégico de Formación de Ingenieros 2012-2016 es una experiencia ejemplar de conciliación y cooperación focalizado en el desarrollo nacional, que reúne en su consejo consultivo, presidido por el Sr. Ministro de Educación, a representantes de todos los ministerios, las grandes empresas con participación mayoritaria del Estado Nacional, Cámaras Empresariales y Sectoriales de Alcance Nacional, Confederaciones Sindicales y representantes del sistema universitario de formación de ingenieros. En el caso

de CONFEDI, la representación en el Consejo Consultivo recae en la persona de su presidente.

En este marco, las acciones del Plan Estratégico de Formación de Ingenieros 2012-2016 se vienen desarrollando conforme lo previsto. CONFEDI está trabajando mancomunadamente con la Secretaría de Políticas Universitarias y la coordinación ejecutiva del plan para la concreción de las actividades planificadas. Prácticamente todas las actividades agendadas para el período 2012-2013 tienen un importante grado de avance.

En síntesis, hay necesidad de ingeniería e ingenieros. Hay conciencia de la necesidad y responsabilidad de contribución. Hay voluntad política y consenso de los actores claves de la ingeniería. Hay un Plan estratégico que ordena. Hay acciones concretas que se están llevando adelante en el marco del Plan.

Hay, en definitiva, una oportunidad y un momento histórico de recuperación del rol protagónico de la ingeniería en el desarrollo del país. Desde Confedi y la Revista Argentina de Ingeniería celebramos esto, ratificamos nuestra permanente vocación de servicio y renovamos nuestro compromiso con la sociedad, formando los ingenieros que la Argentina necesita.

**Ing. Roberto Giordano Lerena**

Director Revista Argentina de Ingeniería  
Decano Facultad de Ingeniería Universidad FASTA

**Ing. Miguel Ángel Sosa**

Presidente CONFEDI 2011-2012  
Decano Facultad Regional Delta Universidad Tecnológica Nacional

## Hacia una redefinición de los criterios de evaluación del personal científico tecnológico

Alejandro Ceccatto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Secretario de Articulación Científico Tecnológica  
Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva

En un taller interinstitucional convocado por la Secretaría de Articulación Científico Tecnológica (SACT) del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (MCTIP) –realizado en septiembre de 2011 en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y denominado “1er Taller Nacional de Evaluación del Personal Científico Tecnológico para una Argentina Innovadora– se realizó un diagnóstico común a todas las instituciones del sistema acerca de la necesidad de reformular los criterios con que se evalúa la actividad científico tecnológica en nuestro país. En particular, se consideraron, entre otras, las siguientes cuestiones:

- la no pertinencia de aplicar criterios de evaluación propios de la investigación básica al personal dedicado a la investigación aplicada y al desarrollo tecnológico y social;
- la distancia entre criterios de calidad académica y criterios de relevancia desde un punto de vista institucional, productivo o social;
- las diferencias existentes entre las distintas disciplinas científicas y la forma en que cada comunidad disciplinar evalúa (o pretende evaluar) a sus miembros; y
- la dualidad entre la evaluación de trayectorias individuales en ciencia y trayectorias colectivas en el contexto de grandes proyectos tecnológicos nacionales.

Tras la realización del mencionado taller se convocó desde la SACT a la conformación de una comisión de trabajo integrada por representantes idóneos de los organismos de ciencia y tecnología (gerentes de recursos humanos y de evaluación del personal) y universidades públicas y privadas (secretarios de ciencia y técnica), que conforman el Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SNCTI).

Así, la Comisión de Trabajo sobre Evaluación del Personal Científico Tecnológico, creada por Resolución MCTIP 007/12, se constituyó como una instancia de reflexión interinstitucional orientada, en sus primeros encuentros plenarios, a la definición de una serie de objetivos y a delinear una línea de trabajo. En tal sentido, hubo consenso de que en una primera etapa era prioritario profundizar en el desarrollo de instrumentos de evaluación que permitieran una ponderación más equilibrada entre lo que se denomina ciencia básica y las actividades de desarrollo tecnológico y social. En particular, se consideró esencial la elaboración de pautas de evaluación dirigidas a superar el esquema de medición tradicional basado en indicadores bibliométricos, usualmente referido como el modelo lineal de producción de conocimiento.

Uno de los principales desafíos de esta Comisión consistió en definir un mecanismo eficaz de evaluación que ponderase la generación de conocimiento, en sus distintas modalidades, destinado a la solución de problemas concretos o demandas específicas nacionales, regionales o locales, de carácter social o productivo. El objetivo en este sentido es contar con un nuevo sistema donde se logre un equilibrio entre criterios de originalidad y criterios de aplicabilidad, teniendo en cuenta que el sistema actual sobrevalora la originalidad a través de la medición de variables de impacto usuales de la producción científica, mientras que no hay consenso acerca de las formas de medición de la aplicabilidad y el impacto de los desarrollos tecnológicos y sociales.

En este marco, emergió la propuesta de generar una nueva clasificación de proyectos orientados al desarrollo y transferencia de tecnología, a través de los cuales repensar la evaluación del personal científico tecnológico bajo nuevos parámetros.

## Los PDTS: Base de un nuevo paradigma en la evaluación del personal científico tecnológico

Los Proyectos de Desarrollo Tecnológico y Social (PDTS) surgen entonces como el primer paso en la adecuación de mecanismos y pautas de evaluación que se orienten a una revalorización de la actividad tecnológica, permitiendo además singularizar propuestas con real capacidad de transferencia de conocimiento al medio socio productivo nacional. Así, se apuntó a que todo investigador que desarrolle este tipo de actividades dentro de un proyecto dedicado a resolver una problemática o demanda específica, sea evaluado teniendo en cuenta el grado de avance del proyecto y su participación y desempeño en el mismo, más allá de los parámetros tradicionalmente utilizados en la evaluación de las actividades de ciencia y tecnología.

En este contexto, se ha definido a un PDTS como “un proyecto de actividad que hace uso de conocimientos científicos y tecnológicos pertenecientes a una o más disciplinas, identificando de manera clara sus fines y objetivos; el alcance del avance cognitivo propuesto; la factibilidad de su realización; y la evaluación de su gestión, avance y logros. El mismo debe encarar la resolución de problemas y la satisfacción de necesidades concretas, enmarcados en la sociedad, la política, la economía o el mercado. Por tanto, deben estar orientados al aprovechamiento de una oportunidad –sea ésta una tecnología, un marco normativo, un programa de intervención en la sociedad, una prospectiva o una evaluación de procesos y productos- generando soluciones que pueden ser replicables o sólo aplicables a un caso singular. Su objetivo debe estar justificado en un interés nacional, regional o local, sea por acciones estatales o privadas, para lo cual debe identificar una o más organizaciones públicas o privadas que estén en capacidad de adoptar el resultado desarrollado.”

A partir de esta definición, en el **Documento I**, firmado en octubre de 2012 por las autoridades de los organismos científico-tecnológicos (CONICET, INA, INTA, SEGEMAR, CNEA, CONAE, INTI, INIDEP, IAA, ANLIS, CITEDEF), universidades públicas (CIN) y de gestión privada (CRUP), CONEAU, CIC de la Provincia de Buenos Aires y Programa de Incentivos de la SPU, se alcanza un acuerdo histórico dentro del SNCTI. Dicho acuerdo incluye la conformación, por parte del Ministerio de Ciencia, de un Banco Nacional de PDTS donde serán incluidos los proyectos presentados por las instituciones. El Banco apunta a constituirse no sólo en una instancia para la gestión de la evaluación del personal de

CyT, sino en un espacio para la visibilización de la actividad tecnológica producida en el país.

**El Documento II**, firmado en la reunión del 19 de agosto pasado del Consejo Interinstitucional de Ciencia y Tecnología (CICYT), establece un mecanismo preliminar para la incorporación de los proyectos al Banco y esclarece algunos aspectos de la definición de PDTS. Asimismo, incorpora una instancia de acreditación que no implica la re-evaluación de los PDTS, sino la certificación de que los mismos cumplen con las condiciones establecidas en su definición. Dicho proceso será llevado a cabo por una Comisión Acreditadora de alcance nacional conformada ad hoc con representación de distintas extracciones del SNCTI.

Actualmente, la Comisión de Trabajo sobre Evaluación del Personal Científico Tecnológico se encuentra elaborando el **Documento III**, que tiene por objetivo delinear las especificaciones respecto de la evaluación individual de los investigadores que desarrollan su actividad con dedicación completa o parcial en el marco de un PDTS. De este modo, la Secretaría de Articulación Científico Tecnológica aborda una de las iniciativas prioritarias de trabajo para el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva como es profundizar el desarrollo de todo un conjunto de instrumentos de evaluación tendientes a una ponderación más equilibrada entre la ciencia básica y las actividades orientadas al desarrollo tecnológico y social, desde una visión que tenga como horizonte un esquema sistémico y no compartimentado de la ciencia y el desarrollo.

<sup>1</sup> Doctor en Física, Universidad Nacional de La Plata, 1985. Realizó estudios post doctorales en el Departamento de Física Aplicada de la Universidad de Stanford, Estados Unidos (1986-1988) y en el Instituto de Física Teórica de la Universidad de Colonia, Alemania (1988-1989).

Desde 2007 es Director Ejecutivo de la Red Nacional de Investigación y Educación de Argentina (INNOVA-RED), perteneciente a la Fundación INNOVA-T, y Director del Centro Internacional Franco-Argentino de Ciencias de la Información y de Sistemas (CIFASIS), ambos cargos en uso de licencia. Entre 2001 y 2007 se desempeñó como Director del Centro Regional de Investigación y Desarrollo Rosario (CERIDER) y entre 2007 y 2009 como Director del Centro Científico Tecnológico (CCT) Rosario del CONICET. Entre 1999 y 2003 fue Coordinador del Área de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica. Entre 2005 y 2009 actuó como Vicepresidente de la Sociedad Argentina de Informática (SADIO).

# Programa Regional de Emprendedorismo e Innovación en Ingeniería

Néstor Braidot<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Coordinador de Argentina del Precitye.

## Introducción

La sigla PRECITYE identifica al “Programa regional de emprendedorismo e innovación en ingeniería”. El propósito general del programa consiste en promover, como su nombre sugiere, las actitudes hacia el emprendedorismo y la innovación en el conjunto específico de los estudiantes de ingeniería. La cualidad regional del programa responde a que, en forma inédita, ha sido concebido y es implementado en forma conjunta por unidades académicas de ingeniería de cuatro países: Argentina, Brasil, Chile y Uruguay.

El PRECITYE ha sido desarrollado por las instituciones representativas de formación de ingenieros de estos cuatro países: el CONFEDI (Consejo Federal de Decanos de Ingeniería de la República Argentina), ABENGE (Associação Brasileira de Educação de Engenharia), el CONDEFI (Consejo de Decanos de Facultades de Ingeniería de Chile), y por la ANII (Agencia Nacional de Investigación e Innovación) de Uruguay como entidad nucleadora de la representación de las facultades de ingeniería de ese país.

Desde su concepción, el programa ha suscitado el interés de las correspondientes dependencias nacionales a cargo de la Educación Superior de los países involucrados, quienes en forma conjunta con el BID (Banco Interamericano de Desarrollo) a través de su Programa de Bienes Públicos Regionales, se han constituido en la principal fuente de financiación del proyecto.

## El contexto

Motivó esta empresa conjunta el hecho que en las últimas dos décadas se han producido numerosos cambios tanto en el contexto en el que se desenvuelven las actividades productivas, de servicios y de negocios, como en lo referente a los vectores de crecimiento de los países. En este nuevo escenario tanto el conocimiento

como la generación, difusión y comercialización de las innovaciones, juegan un rol clave en el crecimiento y desarrollo económico de un país o región. Asimismo, las investigaciones sobre emprendedorismo y el fenómeno de creación de empresas demuestran que el rol de nuevas empresas creadas por egresados/alumnos universitarios, se ha constituido en una variable de suma importancia en países emergentes como los de América Latina. Esto es debido a que en esta región la estructura industrial está principalmente compuesta por firmas de sectores tradicionales, caracterizados por un moderado contenido tecnológico, y que por lo tanto que no juegan un rol importante como “organizaciones incubadoras” de nuevos emprendimientos. En este escenario los estudiantes y graduados de ingeniería, por su particular formación, se constituyen naturalmente en vectores de innovación tecnológica y creación de empleo.

La adaptación a este nuevo contexto por parte de las unidades académicas formadoras de ingenieros requiere el tránsito de un cambio de paradigma. Partiendo de la tradicional formación de profesionales para el empleo, se hace hoy necesario centrarse conceptualmente en una formación para el trabajo. Esto coloca en un plano igualitario el trabajo dependiente, el trabajo independiente, y la creación de organizaciones que brinden el espacio para el propio trabajo a la vez del de otros.

Por otra parte, en términos regionales y en el ámbito específico de las ingenierías de Argentina, Brasil, Chile y Uruguay, en los últimos años han comenzado a instrumentarse numerosos proyectos e iniciativas orientadas a desarrollar el potencial que existe en las universidades e institutos de investigación para la creación de empresas de base tecnológica. En apoyo a las po-

líticas de estado, estos cuatro países consideraron necesario extender la base de destinatarios de las acciones existentes promoviendo la expansión del conjunto de egresados con vocación por la creación de empresas, impulsando la formación para la empresarialidad desde los estudios de grado.

### Antecedentes y relación con las políticas del CONFEDI

En la Argentina se encuentra un antecedente inmediato vinculado con los fines del PRECITYE en el “Acuerdo sobre competencias genéricas del ingeniero argentino” cuya discusión comenzó en la XXXVI reunión plenaria del CONFEDI en la ciudad de Jujuy, y que fue formalizado con el correspondiente documento publicado en el año 2006. En este acuerdo que expone las diez competencias que todo egresado de ingeniería de la Argentina debe haber desarrollado en sus estudios de grado, se incluye como 10ª competencia genérica, y dentro del conjunto de competencias sociales, políticas y actitudinales, la “competencia para actuar con espíritu emprendedor”. El PRECITYE fue entonces promovido por el CONFEDI como un instrumento o herramienta funcional a ese desafío previamente planteado para y por nuestras unidades académicas de ingeniería.

La concepción e implementación en forma conjunta con las entidades representativas de la formación de ingenieros de Brasil, Chile, y Uruguay, responde también a la necesidad plasmada tanto en políticas de Estado como del propio CONFEDI. Esto es la de constituir una matriz formativa de ingenieros con visión supranacional-regional. Debe entenderse entonces al PRECITYE como una acción concreta de las políticas de integración y trabajo conjunto promovidas por el CONFEDI en el marco de ASIBEI (Asociación Iberoamericana de instituciones de Enseñanza de la Ingeniería).

Por último, la formación de ingenieros con competencias para abordar procesos de creación de empresas, sean éstas o no de base tecnológica, en el devenir de su carrera profesional, es funcional a la formación del ingeniero para el desarrollo sostenible. Este concepto sostenido en el documento que el CONFEDI aportara al Congreso Mundial de Ingeniería 2010, se vincula y debe entenderse como un aporte a la formación de los recursos humanos necesarios para la exitosa implementación del plan industrial 2020. Este plan, en sus lineamientos generales, propone como objetivo lograr una competitividad sistémi-

ca, es decir, una competitividad a lo largo de cada cadena y en todas las cadenas productivas. La regionalización de la producción, la incorporación de tecnología, y el desarrollo de proveedores, de un conjunto mayor de necesidades postuladas por el plan, requieren como un factor fundamental recursos humanos capacitados para intervenir y promover la creación de las organizaciones que den respuestas a esos desafíos.

### Historia del Precitye

Las primeras ideas de lo que a la postre resultó el PRECITYE fueron gestadas en el marco del Seminario Internacional “La Urgencia de Innovación del Currículo y Aseguramiento de la Calidad de la Educación de Ingeniería” realizado en Viña del Mar, Chile, en febrero de 2007, donde, representantes de Argentina, Chile, y Brasil que participaban del mismo, acordaron trabajar de manera conjunta en la promoción del emprendedorismo e innovación en las currículas de ingeniería. Planteadas esas ideas a las respectivas entidades de Educación Superior se dio entonces lugar a la generación de las bases del proyecto.

Posteriormente, ese mismo año, y en oportunidad de celebrarse en Córdoba la XLI reunión plenaria del CONFEDI, se bosquejaron las primeras líneas de trabajo, que se completaron en encuentros desarrollados en las ciudades de São Carlos, Santiago de Chile y Buenos Aires, realizándose un diagnóstico de la situación, del contexto, de las falencias existentes, y comenzando a discutir posibles programas y alternativas de trabajo en conjunto. Finalmente se consensuó un núcleo de actividades críticas que permitieron desarrollar una propuesta para solicitar al BID, en el marco de su programa de Bienes Públicos Regionales, un subsidio para el financiamiento, y formular las condiciones para hacer sostenible la continuidad de las actividades en el tiempo. Estos esfuerzos y acuerdos iniciales entre estos tres países concretaron una plataforma inicial, a la que luego de otra serie de encuentros desarrollados tanto en Buenos Aires como en Montevideo se sumó la participación de Uruguay.

Al aporte de las entidades líderes de este proyecto (CONFEDI, ABENGE, CONDEFI y ANII), se sumó el aporte de otras instituciones vinculadas al ámbito privado. En algunos casos el aporte fue financiero, como en el caso de la empresa Hewlett Packard, y en otros en su calidad de instituciones vinculadas y vinculantes con el ámbito de interés del proyecto.

El carácter de bien público regional del PRECITYE implica que los productos por este generados quedan, al finalizar el proyecto, a disposición de los restantes países de la región que consideren útil y pertinente su utilización en sus respectivas unidades académicas de ingeniería.

### **Descripción, avances y próximos pasos del Programa**

Como se anticipó, el fin del PRECITYE es promover en los estudiantes de grado de las carreras de ingeniería una cultura emprendedora y de innovación. El propósito es desarrollar e implementar en forma colectiva y a escala piloto un conjunto de conocimientos, materiales e instrumentos didácticos y pedagógicos para la formación de ingenieros emprendedores e innovadores en la región.

Para su ejecución el proyecto fue dividido en dos componentes. El primero abarca las tareas correspondientes al desarrollo de estrategias, materiales e instrumentos didácticos y pedagógicos. Los productos específicos asociados a este componente son un “Manual de buenas prácticas de incubadoras”, casos de estudio, videos, y un cuaderno de ejercicios. El primero de los productos está dirigido fundamentalmente a los decanos o miembros de su equipo de gestión, y compila la información básica requerida en el proceso de evaluación de la potencial creación de una incubadora de empresas. Los casos de estudio, son casos para su utilización en el dictado de diversas asignaturas. Se caracterizan por haber sido desarrollados teniendo como protagonistas a ingenieros egresados de unidades académicas de ingeniería de los cuatro países participantes del proyecto, y que han creado sus propias empresas. Se buscó de esta manera contribuir con casos locales, de emprendimientos y emprendedores operando en el contexto de nuestra región, material que por escaso o inexistente obligaba a la utilización de casos foráneos que por su condición de tales carecían de la contextualización necesaria para un impacto formativo relevante. En estrecho vínculo con los casos, el tercero de los productos consistió en siete videos que como en el caso anterior refieren empresas creadas por egresados de las carreras de ingeniería de los cuatro países. El último de los productos consiste en lo que en la jerga del proyecto se denomina “cuaderno de ejercicios”. En la práctica refiere a un conjunto de ejercicios que a la vez de ser pertinentes para la

formación específica en diversas materias, son funcionales al desarrollo de competencias emprendedoras. Los ejercicios fueron clasificados en dos categorías: ejercicios unitarios, de aplicación en una única materia o asignatura, y ejercicios transversales, que son aquellos que para el logro de sus objetivos apelan a intervenciones en al menos dos materias de las currículas existentes de ingeniería.

En este componente además de los aportes de los productos como tales, cabe destacar la metodología aplicada para su producción. Tanto en los casos de estudio como en los videos, la elección de aquellos a documentar fue realizada por profesores de las carreras de ingeniería. Es así que fueron incluidos casos con destacado componente tecnológico, con componentes tecnológicos menores pero relevantes en el contexto regional, de ingenieras emprendedoras, de base informática, de base productiva, que apelaron a diversos apoyos de los ecosistemas emprendedores locales, por nombrar algunos de los criterios consensuados por los profesores. Esta tarea de apoyo y definición de necesidades por los potenciales usuarios de los productos se hizo a partir de diversas reuniones. Algunas revistieron el carácter de internacionales, a la que asistieron un grupo seleccionado de profesores de los cuatro países, como por ejemplo la realizada en ocasión de sentar las bases y estrategias de trabajo para el proyecto, que fue desarrollada en la ciudad de Montevideo en el año 2009. Otras tuvieron el carácter de nacionales, como por ejemplo el “Encuentro Nacional de Emprendedorismo en la Formación de Ingenieros” realizado en la ciudad de Villa Carlos Paz en junio de 2011 y la que contó con 110 asistentes entre profesores y decanos.

Para la generación del material del “cuaderno de ejercicios” se apeló también a una lógica participativa, bajo el formato de concurso. En este caso, los profesores elevaron la propuesta de ejercicios tanto unitarios como transversales, que, en un esquema competitivo, fueron evaluados, seleccionados, y premiados por un jurado determinado por las instituciones promotoras del proyecto. Los profesores de Argentina tuvieron una valiosa y destacada participación en las dos ediciones llevadas a cabo del concurso, habiendo logrado un total de 68 premios, lo que representa un 75% del total de distinciones entregadas.

De las tareas del segundo componente del proyecto se destacan el desarrollo de una metodología para la visita a empresas de reciente

creación, y el curso de “formación de formadores”, ambos en ejecución al momento de la redacción de este artículo. Es, sin dudas, el hito más importante de este segundo componente, el segmento de formación de profesores que, capacitados en metodologías y técnicas para la promoción de competencias emprendedoras en el específico campo de la formación de ingenieros, podrán replicarlas al interior de las unidades académicas a las cuales pertenecen. En línea con la lógica colaborativa y de aprovechamiento de la experiencia y capacidades preexistentes en las diferentes unidades académicas, es que el diseño definitivo del curso de “formación de formadores” como bien público regional, será realizado como última tarea de esta etapa del proyecto en forma conjunta entre los profesores que han sido designados para asistir a esta capacitación.

El PRECITYE, más allá de sus aportes específicos, ha significado y significa para el CONFEDI otra demostración cabal de la potencialidad y utilidad del trabajo sistemático que se impuso para recorrer los desafíos estratégicos que el sistema de formación de ingenieros debe asumir, como actor relevante para el desarrollo, tanto de nuestro país como de la región en su conjunto. Proactivamente, concitando el interés internacional por un trabajo colaborativo a nivel regional que es inédito en el mundo, el PRECITYE nos permite concluir en el verdadero desafío: continuar encontrando los desafíos que el desarrollo de nuestras regiones nos impone.

# Panorama nacional e internacional de la enseñanza de la Ingeniería Ferroviaria en nuestro país y en el exterior

Carlos Rosito<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Secretario Permanente del CONFEDI. Decano Facultad de Ingeniería Universidad de Buenos Aires.

## Introducción

El objetivo de este trabajo es presentar un panorama de los estudios universitarios en el área ferroviaria en el país y en el exterior, a efectos de poner en contexto la posible la creación de carreras de grado en Ingeniería Ferroviaria en nuestras Facultades de Ingeniería. La tesis central de este trabajo es que hay una evidente desproporción entre escasísimas actividades que se realizan en nuestro medio en la formación de recursos humanos y en I&D en este tema y las que serían necesarias para desarrollar y mantener un sistema ferroviario acorde con las necesidades del país.

La limitada oferta académica en nuestro país se presenta en la sección 2. En relación con la situación internacional, es obviamente imposible dar un panorama completo en el marco de este trabajo. Presentamos, en la sección 3 un resumen de las actividades en algunas universidades América del Sur, América del Norte, Europa Occidental, Europa Oriental, Asia y Oceanía. Hemos elegido casos representativos o especialmente interesantes de cada región, a efectos de apreciar las diferentes formas en que se encara la enseñanza de la ingeniería ferroviaria.

Los nombres de carreras, títulos y temas de investigación cuando no están inicialmente en castellano, se han consignado en el idioma que hemos creído más conveniente a efectos de preservar los significados y mejorar la comprensión.

La información ha sido obtenida en la mayoría de los casos de las páginas web de cada universidad. Por este motivo solamente se consignan, cuando haya sido necesaria su consulta, las referencias derivadas de otras fuentes.

En la sección 4 se presentan algunas conclusiones.

## Estudios en Argentina

En ninguna universidad argentina se dicta aún

la carrera de grado de Ingeniería Ferroviaria. En la mayoría de las universidades donde se cursa Ingeniería Civil se dictan algunas materias relacionadas con el tema. No hay actividad significativa de investigación en temas técnicos de transportes o ferroviarios ni existen tampoco tesis de doctorado concluidas o en curso. Existen, sin embargo, tecnicaturas y carreras de posgrado. En lo que sigue detallaremos las actividades existentes por cada universidad.

- **UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES**

En la Facultad de Ingeniería existe un **Departamento de Ingeniería del Transporte**. Los alumnos de Ingeniería Civil cursan materias de grado en el mismo, y se dictan además la **CARRERA DE ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERIA FERROVIARIA**

Fue iniciada en 1959 por convenio entre la FIUBA y Ferrocarriles del Estado, que otorgaba 25 a 30 becas anuales y luego incorporaba la casi totalidad de los graduados a su plantel. Lamentablemente, como consecuencia del proceso de privatización ferroviaria la carrera quedo sin sustento y debió cerrarse en 1990. Durante el período 1958-1990 se formaron más 900 ingenieros especialistas, entre ellos más del 10% países extranjeros.

Esta carrera fue la principal fuente de ingenieros especializados para la empresa ferroviaria nacional. La carrera se reabrió en 2009 por convenio con la recientemente creada **ADIF** (Administración de Infraestructura Ferroviaria S.E.) y se encuentra nuevamente en funcionamiento, habiendo ya graduados de las primeras promociones.

Debemos resaltar entonces que durante 20 años no hubo graduación en la especialidad Ingeniería Ferroviaria en el país, lo cual es un daño irreversible.

- En la **UNIVERSIDAD NACIONAL DE CORDOBA** (Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales) funciona el **INSTITUTO SUPERIOR DE INGENIERIA DEL TRANSPORTE**, y en el mismo se desarrolla la **MAESTRIA EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA MENCION TRANSPORTE**. No trata específicamente temas tecnológicos de ingeniería ferroviaria.
- **UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO** (Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura) En la desarrolla sus actividades el **INSTITUTO DE ESTUDIOS DEL TRANSPORTE**. No desarrolla temas específicos de ingeniería ferroviaria.

Se han creado recientemente **TECNICATURAS UNIVERSITARIAS EN TECNOLOGÍA FERROVIARIA** en **UNIVERSIDAD DE SAN MARTIN** (2009).

**UTN HAEDO** (2012)

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LANUS** (2011).

En esta última se ha creado también la **LICENCIATURA EN TECNOLOGIAS FERROVIARIAS**

Cuyo plan de estudios comprende 8 cuatrimestres (3.624 horas), con dos orientaciones: **ELECTROMECAÁNICA FERROVIARIA** e **INFRAESTRUCTURA FERROVIARIA**.

En la tabla I observamos claramente el área de vacancia existente en la formación de universitaria de grado en ingeniería ferroviaria. Tampoco existen doctorados ni grupos de I&D en el área.

**Tabla I.** Carreras Universitarias en Ing. Ferroviaria

	Tecnicatura	Licenciatura	Ingeniería Grado	Ingeniería Posgrado
<b>Universidad de Buenos Aires</b>	-----	-----	-	Carrera de especialización 1959-1990, reiniciada 2009
<b>Universidad de Lanus</b>	Iniciada 2011	Iniciada 2011	-----	-----
<b>Universidad de San Martin</b>	Iniciada 2009	-----	-----	-----
<b>UTN Haedo</b>	Iniciada 2012	-----	-----	-----

### 3. Estudios en el exterior

#### 3.1. América Latina

##### 3.1.1. Brasil

Aparecen 9 universidades con actividad en el área de transportes, lo que se resume en la tabla II. Aparecen temas ferroviarios, pero no encontramos específicamente una carrera de grado de ingeniería ferroviaria.

##### 3.1.2. Chile

Desarrollan estudios de grado y de posgrado en Ingeniería del Transporte la **UNIVERSIDAD DE**

**CHILE (MAGISTER EN INGENIERÍA DEL TRANSPORTE)**, la **PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO (LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA DEL TRANSPORTE)**, y la **UNIVERSIDAD ANDRES BELLO**.

El énfasis es en la Ingeniería vial, la gestión y la planificación. Aparentemente no hay actividad significativa en temas de Ingeniería Ferroviaria.

##### 3.1.3. Venezuela

La **UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL POLITÉCNICA ANTONIO JOSÉ DE SUCRE**, desarrolla la carrera de grado de 5 años **INGENIERIA DE EQUIPOS FERROVIARIOS**, y la **UNIVERSIDAD**

Tabla II. Actividades Universitarias Brasil

UNIVERSIDAD	INSTITUTO CENTRO O DEPTO.	GRADO	POSGRADO	TEMAS DE TRABAJO/ OBSERVACIONES
UNIVERSIDAD DE SÃO PAULO (USP)	Laboratorio de Automatización y Control (LAC) Planeamiento y Operación de Transportes	Ingeniería del Transporte	Maestrías Doctorado	Ya graduados 280 maestrandos y doctorandos
UNIVERSIDAD FEDERAL DE ESPÍRITU SANTO (UFES)	Núcleo de Transportes Centro Tecnológico			Desarrollan tareas de I&D en áreas de transporte.
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS (UFMG)	Departamento de Ingeniería de Transportes y Geotécnica		Especialización: Logística Estratégica y Sistemas de Transporte	Orientado a Análisis, Planeamiento y Logística.
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO (UFPE)	Depto. de Ingeniería Civil		Maestría y Doctorado: Transporte y Gestión de Infraestructuras Urbanas	
UNIVERSIDAD DE BRASÍLIA (UNB)			Maestría: Transportes Urbanos	Estructura Organizacional, Institucional y Financiamiento de Transportes. Planeamiento
UNIVERSIDAD FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL (UFRGS)	Escuela de Ingeniería Laboratorio de Sistemas de Transportes (LASTRAN)		Posgrado: Ingeniería de Producción	
INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA (IME)	Centro de Investigaciones en Transportes (CPT)		Maestría: Ingeniería de Transportes	
UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE (UFF)	Laboratorio de Apoyo a Decisión Logística y Gestión Tecnológica (LAGETEC)			

**ROMULO GALLEGOS** dicta, con apoyo chino la carrera de grado de INGENIERIA FERROVIARIA, en el marco de una masiva inversión y transferencia de tecnología de dicho país para un Plan Nacional Ferroviario. (Debe aclararse que no está confirmado que estas carreras se estén dictando al presente).

### 3.2. América del Norte

#### 3.2.1. Estados Unidos

La relación entre las empresas e industria ferroviaria con las universidades fue muy fuerte ya desde el siglo XIX, con numerosos cursos universitarios en ingeniería ferroviaria<sup>1</sup>. Después de la segunda guerra mundial se produjo una decli-

nación del sistema ferroviario, que produjo una reducción de la actividad universitaria en estos temas llevando el sistema a una desventaja tecnológica en relación con la Comunidad Europea y los países asiáticos, mucho más adelantados en áreas clave, de gran repercusión en la sustentabilidad, eficiencia energética y ecología, tales como el porcentaje de vías electrificadas, la tecnología de trenes de alta velocidad y el transporte ferroviario y tranviario urbano y suburbano.

En los últimos años ha habido una importante recuperación del tráfico ferroviario de cargas que ha alcanzado al 43% del total de las TnKm transportadas<sup>2</sup>, en tanto que se trabaja en planes para desarrollar un sistema nacional de trenes de alta velocidad que resultan más convenientes en términos de ahorro de energía y ecológicos que el avión en tramos de distancias cortas y medias de alta densidad de tráfico<sup>3</sup>. Esto hace prever un fuerte déficit de ingenieros ferroviarios que deberá cubrirse con nuevas carreras en las universidades, por lo que el gobierno ha iniciado vigorosos planes para remediar la situación<sup>4</sup>. Varias universidades de Estados Unidos y de la Unión Europea han producido en 2011 un informe comparando la enseñanza universitaria en ambas zonas<sup>5</sup>. Las conclusiones del mismo muestran claramente el atraso relativo de Estados Unidos. Para enfrentar esto el United States Department of Transportation ha lanzado un programa de **72,5 millones de dólares** para 2013-2014 para establecer centros de formación en universidades con hasta un máximo de **3 millones por universidad**<sup>6</sup>. Este programa llamado "NURail" lo integran siete universidades lideradas por la **UNIVERSIDAD DE ILLINOIS at URBANA-CAMPAIGN**. (Líder en educación e I&D en ingeniería ferroviaria por más de 100 años, con carreras de grado y posgrado), y lo integran:

- **MICHIGAN TECHNICAL UNIVERSITY**
- **PENN STATE UNIVERSITY**
- **ROSE-HULMAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY**
- **MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY**
- **UNIVERSITY OF KENTUCKY**
- **UNIVERSITY OF TENNESSEE**

Adicionalmente, la **COLORADO STATE UNIVERSITY** ofrece el recientemente creado **MASTER OF SCIENCE IN ENGINEERING**, en la especialidad ferroviaria en coparticipación con el **TRANSPOR-**

**TATION TECHNOLOGY CENTER** en Pueblo, Colorado<sup>7</sup>, importe centro de I&D perteneciente a la Association of American Railroads con grandes laboratorios, talleres y vías de prueba de más de 75 Km de extensión.

### 3.3. Europa Occidental

Es imposible siquiera presentar una lista completa de las universidades con actividades en el área ferroviaria. Cabe aclarar que una parte importante del trabajo de I&D se hace en grandes empresas de origen europeo pero con actividad global como Siemens (Alemania), Alstom (Francia) ambas productoras de material rodante ferroviario, señalización, electrónica de control, Voestalpine (Austria), productora de rieles y equipo ferroviario, Vossloh (Alemania), material de vía, Ansaldo (Italia) material rodante, ABB (Suiza-Suecia), motorización y control, CAF (España) material rodante, incluyendo trenes de alta velocidad. Estas empresas, poseedoras de la más alta tecnología, y que ocupan a miles de empleados, trabajando en colaboración con universidades, son a su vez en sí mismas verdaderas escuelas de ingeniería para jóvenes graduados. Por este motivo un porcentaje de los ingenieros ingresantes a las mismas no son graduados en ingeniería ferroviaria sino en mecánica, electrónica, electrotecnia u otras especialidades y completan su formación en las empresas. Otro tanto ocurre con las propias empresas ferroviarias. Debemos hacer notar que **esta práctica es inviable en nuestro país dado que no existen empresas de gran desarrollo tecnológico en el sector**, por lo que la formación debe ser encarada por las universidades.

En este trabajo hemos elegido solo algunos de los países más significativos y en cada uno de ellos nos limitaremos a listar algunas de las más importantes universidades en las que hay actividad en Ingeniería Ferroviaria.

El caso de los países de Europa Oriental lo tratamos separadamente por motivos que se explicarán en su momento.

#### 3.3.1. Gran Bretaña

Por su posición fundacional en la historia ferroviaria, Gran Bretaña es inevitablemente un país de referencia, lo que amerita una breve introducción. Estatizados en 1947, y arrastrando una carencia crónica de inversión, los ferrocarriles fueron privatizados en 1993-97<sup>8</sup>.

Se separó la infraestructura de la operación y el sistema se fragmentó geográficamente, con participación de muchas empresas privadas. Siguieron numerosos cambios de titularidad de los operadores, complicaciones legales y políticas algunos accidentes graves. Paralelamente cerraron prácticamente las principales fábricas de material rodante y equipamiento ferroviario<sup>9,10</sup>, y comenzó a hablarse, cada vez más insistentemente, del fracaso de la privatización y de la necesidad de re-estatizar total o parcialmente el servicio<sup>11</sup>, aunque aún no se tomó ninguna decisión al respecto. El resultado, a dos décadas de iniciada la privatización, es de un atraso relativo del sistema en relación con los del continente europeo. Esto se refleja en el ámbito académico en una situación atípica. Hay grupos de excelente nivel en I&D, pero muchas veces su trabajo está orientado al exterior. Hay poca demanda de formación de grado en ingeniería ferroviaria por parte de alumnos británicos y la mayoría de los alumnos son extranjeros. Resumimos en lo que sigue las actividades universitarias en el tema.

- **UNIVERSITY OF BIRMINGHAM**  
**BIRMINGHAM CENTRE FOR RAILWAY RESEARCH AND EDUCATION.**I&D en ingeniería ferroviaria. Ofrece el **MASTER IN RAILWAY SYSTEM ENGINEERING AND INTEGRATION** y programas específicos de Doctorado y Master of Philosophy (M. Phil. es un título británico, superior a un master, pero inferior a un doctorado):
- **UNIVERSITY OF SOUTHAMPTON**  
**SOUTHAMPTON RAILWAY SYSTEMS RESEARCH.**  
Se especializa en infraestructura, factores humanos (tanto en personal ferroviario como en pasajeros), vibraciones y operación ferroviaria. Desarrolla programas doctorado en relación con estos temas de I&D
- **UNIVERSITY OF LEEDS**  
**INSTITUTE FOR TRANSPORT STUDIES**  
Trabaja en aspectos económicos, ambientales, de modelización, externalidades y planificación del transporte desde 1970. Más recientemente se agrega el área **ITS** (IntelligentTransportSystems)

- **UNIVERSITY OF NOTTINGHAM**  
Posee importantes centros de investigación ferroviaria como el **CENTRE FOR RAIL HUMAN FACTORS**, que estudia los factores humanos en el sistema ferroviario y el **RAILWAY TRACK SYSTEM INTEGRATION AND OPTIMISATION**, que cuenta con laboratorios de gran porte para estudios de infraestructura en escala. Ofrece programas de Posgrado y Doctorado.
- **MANCHESTER METROPOLITAN UNIVERSITY**  
**RAIL TECHNOLOGY UNIT.** Trabaja en proyectos de avanzada en:  
Dinámica Vehicular,  
Optimización de perfiles de ruedas.  
Interacción riel-rueda.  
Cuenta con equipamiento experimental de primer nivel mundial y tiene carreras de Grado, Master, Doctorado
- **UNIVERSITY OF HUDDERSFIELD**  
**EL INSTITUTE OF RAILWAY RESEARCH**, es un grupo de I&D en temas ferroviarios, con importante dotación de personal y dirigido por el Dr. Simon Iwnicki, prestigioso especialista, editor del Handbook of Railway Vehicle Dynamics, obra de referencia en el tema de dinámica vehicular<sup>12</sup>.
- **IMPERIAL COLLEGE OF LONDON**  
En el mismo funciona el **FUTURE RAILWAYS RESEARCH CENTRE**  
Sus temas de I&D son: Interacción vía-vehículo, diseño de vehículos ferroviarios, estudios de fatiga en ejes ferroviarios, estructuras de gerenciamiento ferroviario.
- **SHEFFIELD HALLAM UNIVERSITY**  
Otorga el título de grado **“F.D. ENG RAILWAY ENGINEERING”**. (Foundation degree in Engineering). Es un título que se otorga en el Reino Unido y es aproximadamente intermedio entre un Bachelor y una Tecnicatura en la Argentina)

### 3.3.2. Italia

Italia tiene una larga tradición de pionera en ingeniería ferroviaria. Ya en 1938 corrían en algunos

tramos trenes eléctricos a 200 Km/h. Actualmente tiene el 70% de su red electrificada y más de 1.500 Km de red de alta velocidad, nominalmente de 300 Km/h. Su importante y activa industria ferroviaria mantiene estrecha relación con los sectores de I&D de universidades y politécnicos.

Los estudios de grado en el sistema Italiano siguen el esquema del Acuerdo de Bologna, con un título de "Laurea" de 3 años seguido de la "Laurea Specialistica" o "Laurea Magistrale" de 2 años (valores nominales, que frecuentemente se alargan). Este último título equivale al Master anglosajón.

Adicionalmente se dictan el "Master di Primo Livello", al cual se accede con el título de Laurea y el "Master di Secondo Livello" al cual se accede después de haber completado la Laurea Specialistica/Magistrale. Estas son maestrías similares a las argentinas, que se suelen cursar simultáneamente con la actividad profesional. Finalmente existe el "Dottorato de Ricerca" equivalente al Ph.D. o a nuestro doctorado. Este esquema es en general válido (con los obvios traducciones de nombres) para los demás países que adhieren al acuerdo de Bologna.

Resumimos en lo que sigue las actividades universitarias en el área ferroviaria. Incluimos en algunos casos el área de transportes en general dado que contiene a la anterior. Algunas universidades tienen actividad de I&D de primer nivel internacional en el área ferroviaria pero se especializan en el doctorado solamente en el doctorado.

- **UNIVERSITÀ DI ROMA "LA SAPIENZA".**

**MASTER UNIVERSITARIO DI II LIVELLO IN INGEGNERIA DELLE INFRASTRUTTURE E DEI SISTEMI FERROVIARI**, en colaboración con la empresa FerroviedelloStato, y otras.

Además ofrece el:

**DOTTORATO DE RICERCA IN INFRASTRUTTURE E TRASPORTI**

Se desarrollan temas de I&D en ingeniería ferroviaria, apoyado por importantes laboratorios de ensayos.

- **UNIVERSITÀ DEGLI STUDI ROMA TRE**

Ofrece la **LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA DELLE INFRASTRUTTURE VIARIE E TRASPORTI**

El ámbito profesional de esta carrera inclu-

ye los proyectos avanzados de las grandes infraestructuras de transporte terrestre viales y ferroviarias.

- **UNIVERSITA DI SALERNO**

No se desarrollan carreras de grado en Ingeniería ferroviaria, aunque en el Departamento de Ingeniería Industrial (Ingeniería Industrial tiene en Italia una acepción distinta, más amplia que en nuestro medio) se trabaja en:

Sistemas de Conversión de Energía

Sistemas de Potencia y Electrónica de Potencia.

Sistemas Eléctricos para la Energía y el Transporte

Este ultimo aplicación en tracción ferroviaria.

- **UNIVERSITÀ DI NAPOLI "FEDERICO II"**

**MASTER UNIVERSITARIO DI II LIVELLO IN INGEGNERIA DEI SERVIZI E DEI SISTEMI FERROVIARI** Temas de trabajo son:

Tecnología de los sistemas de transporte ferroviario.

Métodos y modelos para el proyecto de horarios ferroviarios.

Modelos de simulación del ejercicio ferroviario.

Sistemas de tracción y dinámica de los vehículos ferroviarios.

Normativas específicas del sector ferroviario.

Sistemas de gestión de la seguridad, del trabajo, del ambiente y de la calidad en el ámbito ferroviario.

Planificación y control de la gestión ferroviaria.

Tiene la colaboración de las empresas del sector: Ansaldo Breda, Ansaldo STS S.p.A., Gruppo Ente Autonomo Volturnos.r.l, Bombardier y Metronapoli.

Tienen un importante laboratorio de ingeniería ferroviaria, donde ensayan ruedas, bogies, aerodinámica de locomotoras y vagones (con modelos en túnel de viento), rieles e infraestructura de vía

- **POLITECNICO DI MILANO**

Es el mayor y más prestigioso de Italia.

Tienen un importante laboratorio de ingeniería ferroviaria, donde ensayan ruedas, bogies, rieles e infraestructura de vía.

Realizan trabajos de fluidodinámica experimental (con modelos en túnel de viento) y computacional para la optimización de la geometría de vehículos ferroviarios. Realizan trabajos para diseño de trenes de alta velocidad para Tenitalia (Ferrovía dello Stato) y Ansaldo-Breda. En programas de doctorado del más alto nivel internacional estudian temas I&D ferroviario relacionados con lo expuesto más arriba, aunque no tienen carreras de grado en ingeniería ferroviaria.

- **POLITECNICO DI TORINO**

Es el otro gran Politécnico italiano, que disputa el primer lugar al de Milano.

Es muy activo en R&D ferroviario. Participa del proyecto europeo ACEM de automatización del mantenimiento de la infraestructura ferroviaria<sup>13</sup>.

En el departamento de ingeniería Mecánica funciona el RailwayTechnologyLaboratory, que se dedica a:

Simulación numérica de la estabilidad dinámica de vehículos ferroviarios.

Tests de estabilidad en prototipos en escala<sup>14</sup>.

Desarrollo de algoritmos y códigos de simulación del contacto rueda-riel y del desgaste debido a la interacción de los perfiles rueda-riel.

Sensores y sistemas de diagnóstico del vehículo ferroviario.

Las actividades de I&D las aplican al doctorado. No tienen carreras de grado en ingeniería ferroviaria.

- **UNIVERSITÀ DI PISA**  
**LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA DEI VEICOLI**

Carrera de grado que estudia el diseño de vehículos terrestres, tanto viales como ferroviarios, en sus aspectos aerodinámicos, eléctricos, electrónicos y mecánicos.

- **UNIVERSITÀ DI CATANIA.**  
**LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA DEI TRASPORTI**

Se dedica planificación, proyecto, construc-

ción y gestión de los sistemas de transporte.

- **UNIVERSITÀ DI BOLOGNA**  
**DOTTORATO DI RICERCA IN INGEGNERIA DEI TRASPORTI**

Se desarrollan tesis sobre a las distintas modalidades del transporte, incluyendo obviamente el ferroviario y su interacción, por ejemplo en el transporte multimodal.

### 3.3.3. Alemania

El sistema ferroviario alemán, sus industrias ferroviarias y universidades son de primer nivel mundial y se encuentran armónicamente relacionadas<sup>15</sup>. La revisión que presentamos no es exhaustiva sino que nos concentramos primordialmente en las universidades del grupo **TU9**<sup>16</sup>, alianza de las 9 universidades alemanas de mayor prestigio en el área tecnológica. Todas ofrecen el Doctorado en Ingeniería. Concentran el 51% de los graduados y el 57% de las tesis de doctorado en ingeniería de Alemania.

- **AACHEN UNIVERSITY**

En el **DEPARTMENT OF RAIL VEHICLES AND MATERIALS HANDLING TECHNOLOGY** se desarrollan trabajos de I&D en temas de mecánica vehicular y control, ruedas y bogies, operación inteligente, tráfico de cargas, guiado en la vía y aplicación de navegación satelital al tráfico ferroviario. Programas de:

- **BACHELOR IN MOBILITY AND TRANSPORT**  
**MASTER IN MOBILITY AND TRANSPORT.**

Dentro de ambos existe la especialización ferroviaria

- **TU BRAUNSCHWEIG**

En esta universidad existe el **INSTITUTE OF RAILWAY SYSTEMS ENGINEERING AND TRAFFIC SAFETY**. Ofrece las carreras:

- **BACHELOR IN TRANSPORT SYSTEMS.**  
**MASTER TRANSPORT SYSTEMS**

En ambos casos se ofrece la especialidad ferroviaria y vial.

- **TU BERLIN.**

Desarrolla sus actividades el importante instituto **TRANSPORT PLANNING AND TECHNOLOGY OF TRANSPORT SYSTEMS,**

con actividades de I&D en:

Vehículos ferroviarios, transmisiones, simulación de sistemas con muchos grados de libertad, ensayo y análisis de vehículos ferroviarios, componentes ferroviarios y de infraestructura, análisis de ruido. Sistemas de electrificación ferroviaria, consumo de energía de sistemas ferroviarios, propulsión de trenes de alta velocidad, operación ferroviaria automática. Optimización de sistemas ferroviarios. Tecnología Maglev

- **TU MÜNCHEN**

Se ofrece el grado **MASTER IN TRANSPORTATION SYSTEMS**. Está orientado al transporte en general, su interrelación y optimización, pero no específicamente al transporte ferroviario.

- **KARLSRUHE INSTITUTE OF TECHNOLOGY**

Su actividad de I&D es acerca los vehículos ferroviarios, su interrelación, la infraestructura y la operación ferroviarias. Ofrece un programa de:

**BACHELOR IN MECHANICAL ENGINEERING IN RAIL SYSTEM TECHNOLOGY.**

- **UNIVERSITÄT STUTTGART**

Existe el **INSTITUTE OF RAILWAY AND TRANSPORTATION ENGINEERING**.

Se ocupa de diseño de sistemas de transporte, economía del transporte, mecánica del transporte guiado y características de los vehículos ferroviarios..

- **TU DRESDEN**

En esta Universidad existe una facultad entera dedicada a temas Ferroviarios y del Transporte: **THE FACULTY OF TRANS-**

**PORTATION AND TRAFFIC SCIENCES "FRIEDRICH LIST"**. Es la más importante de Alemania en el área. La figura 1 da idea de su dimensión.

Dentro de esta desarrolla sus actividades el:

**INSTITUTE OF RAILWAY SYSTEMS AND PUBLIC TRANSPORT**

con las siguientes áreas:

Transportation Systems Engineering

Planning and Design of Railway Infrastructure

Rail and Public Urban Transport

Railway Signalling and Transport Safety Technology

Institute of Traffic Telematics

Traffic Control and Process Automation

Transport Systems Information Technology

Traffic Communication Systems

Posee programas de Bachelor, Master y Doctorado

### 3.3.4. España

España se ha convertido en un país de primer nivel mundial en tecnología ferroviaria. Con una red 2.600 Km de trenes de alta velocidad solo es superada por China (9.300 Km)<sup>17</sup>. Está exportando trenes de alta velocidad a Saudi Arabia, Rusia, y Kazakstan<sup>18</sup>, y tranvías y material rodante a diversos países, entre ellos a Estados Unidos.

Las universidades o institutos dedicados al tema son:

- **EADIC** (Escuela abierta de desarrollo de ingeniería y construcción)

Dicta postgrado online: **ESPECIALIZACIÓN EN DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO DE INFRAESTRUCTURAS FERROVIARIAS**



Figura1. La Facultad de Transporte y Ciencias del Tráfico "Friedrich List"

- **UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID,**  
En su **CENTRO DE INVESTIGACION EN TECNOLOGIAS FERROVIARIAS** ofrece el **POSGRADO EN TECNOLOGÍAS FERROVIARIAS**

I&D y docencia dentro área de tecnología ferroviaria.

- **UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS** (Madrid)

**LA ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA** de ofrece el título de **MASTER UNIVERSITARIO EN SISTEMAS FERROVIARIOS**

- **UNIVERSITAT POLITECNICA DE VALENCIA**  
En el, **INSTITUTO DE TRANSPORTE Y TERRITORIO**, ofrece el posgrado de **MASTER EN FERROCARRILES Y TRANSPORTE FERROVIARIO.**

- **UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN A DISTANCIA**, (estatal) ofrece la carrera de **INGENIERIA FERROVIARIA**

- **UNIVERSIDAD DEL PAÍS VASCO.**  
Desarrolla sus actividades el **GRUPO DE OPTIMIZACIÓN DE ESTRUCTURAS Y SISTEMAS FERROVIARIOS**

Se dictan materias de grado y se desarrollan proyectos de fin de carrera y doctorados.

- **UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CATALUNIA**  
Se dicta el **MÁSTER EN SISTEMAS FERROVIARIOS Y TRACCIÓN ELÉCTRICA**

El Máster tiene por objetivo formar profesionales especializados en el transporte ferroviario, abarcándose a lo largo del mismo las diferentes disciplinas que conforman la ingeniería ferroviaria: electrificación, señalización, comunicaciones, material rodante, gestión y explotación de empresas ferroviarias.

### 3.3.5. Francia

La enseñanza de la ingeniería en Francia presenta una estructura relativamente compleja. Conviven las “Grandes Écoles” y las universidades, carreras sin título intermedio y otras según el Acuerdo de Bologna. A esto se agregan diferentes tipos de maestrías y doctorados. Adicionalmente,

mucho trabajo de I&D y se lleva a cabo en instituciones como el CNRS que no son formalmente parte de las universidades pero están muy integradas con las mismas. Por este motivo, a pesar de ser Francia un país de primer nivel en tecnología ferroviaria, omitimos un estudio detallado de los muchos títulos ofrecidos que exigiría tediosas explicaciones adicionales y no aportaría mucho a lo expuesto en las secciones anteriores.

### 3.4. Europa Oriental

A diferencia de Europa Occidental, el transporte y la industria ferroviarios en Europa Oriental se hallaban centralizados, en manos estatales. Las facultades de ingeniería eran las proveedoras naturales tanto de personal técnico como de desarrollos tecnológicos. A su vez, el sistema ferroviario no sufría una fuerte competencia del transporte automotor, de menor desarrollo relativo, por lo que se desarrollaron redes ferroviarias con amplia cobertura territorial tanto en servicios de carga como de pasajeros. En este contexto hubo un importantísimo desarrollo del área ferroviaria en las universidades, que ha perdurado. En ciertos casos toda una facultad o aún una universidad se dedica a enseñanza e I&D en temas ferroviarios. Veremos los casos de Rumania y Rusia.

#### 3.4.1. Rumania

País de producto bruto per cápita inferior al de la Argentina, aún así asegura que todas las poblaciones de alguna importancia están servidas por ferrocarril, con servicio de pasajeros. Tiene un 35% de líneas electrificadas, lo que asegura un uso relativamente eficiente de la energía. Correspondientemente, hay gran desarrollo de enseñanza e I&D en temas ferroviarios. En la Universidad Técnica de Bucarest una facultad entera está dedicada a este tema.

- **UNIVERSIDAD DE CLUJ-NAPOCA**

Ofrece:

Carrera de grado en **FERROCARRILES.**

Carrera de especialización en **FERROCARRILES Y PUENTES.**

Maestría en Ingeniería de la **INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE.**

Doctorado en áreas de **INGENIERÍA DEL TRANSPORTE.**

temas de ingeniería

- **UNIVERSIDAD TECNICA EN INGENIERIA CIVIL DE BUCAREST**

La Integran cinco Facultades, una de ellas exclusivamente de Ingeniería Ferroviaria, la **FACULTAD DE FERROCARRILES Y PUENTES**.

Ofrece cursos de grado, maestrías y doctorado en temas ferroviarios

Destacamos la **MAESTRÍA EN LA INGENIERÍA DE TRENES DE ALTA VELOCIDAD**. Vemos que aunque el país no cuenta aún con trenes de alta velocidad, está capacitando ingenieros en el tema, anticipándose a necesidades futuras.

- **UNIVERSIDAD DE CRAIOVA**

Tiene 16 Facultades, 3 de ellas en Ingeniería, en las especialidades Eléctrica, Mecánica, Electromecánica e Informática industrial.

Aunque no desarrolla carreras de grado en ingeniería ferroviaria, tiene fuerte tradición en I&D en material ferroviario, particularmente en tracción eléctrica, dado que está ubicada próxima una gran fábrica de locomotoras eléctricas y diesel eléctricas, con más de 3500 unidades producidas para uso nacional y exportación.

- **UNIVERSIDAD TECNICA DE TIMISOARA**

La forman 10 Facultades de Ingeniería, en distintas especialidades.

Entre ellas la Facultad de Management en Producción y Transporte.

Se desarrollan tesis de doctorado, además en temas de ciencia de materiales, electrónica y electrotecnia en temas relacionados con Ingeniería del Transporte.

### 3.4.2. Rusia

Con una densidad de población de menos de la mitad de la Argentina existen **13 universidades** totalizando **27 sedes** dedicadas primordialmente a las disciplinas relacionadas con el transporte. De entre ellas, **8 universidades** con **20 sedes** en distintas ciudades se dedican **exclusivamente a la ingeniería ferroviaria**.

La más importante de ellas es la **MOSCOW STATE UNIVERSITY FOR RAILWAY ENGINEERING**. Fundada en 1896, tiene **120.000 estudiantes**, **2.500 docentes** y **6.500 personal auxiliar**. Es la

mayor Universidad Rusa (aún considerando todas las demás disciplinas universitarias). Posee numerosas carreras de grado, master y PhD.

También se destacan la **IRKUTSK STATE RAILWAY TRANSPORT ENGINEERING UNIVERSITY** con sedes en las ciudades de Ulan-Ude, Severo-baikalsk, Abakan y Bratsk, y la **PETERSBURG STATE RAILWAY UNIVERSITY**

Típicamente, las Universidades de Ingeniería Ferroviaria se organizan en Facultades de Ingeniería Civil, Mecánica, Puentes y Túneles, Operación Ferroviaria, Electromecánica, Electrónica y Economía Ferroviaria. A efectos de apreciar su magnitud, adjuntamos fotos de algunas de las facultades dedicadas íntegramente a la ingeniería ferroviaria.



Figura 2. Universidad Estatal de Moscú de Ingeniería Ferroviaria.



Figura 3. Universidad Estatal de San Petersburgo de Ingeniería Ferroviaria.

### 3.5. Asia

Es imposible en un informe de esta naturaleza dar cuenta de la enorme actividad universitaria en Asia en el área ferroviaria. Debido a la alta densidad de población el ferrocarril es esencial en el movimiento de pasajeros y carga. Japón ha

sido precursor de la tecnología de los trenes de alta velocidad. China se ha convertido en el primer exportador mundial de material ferroviario y ya posee una red de 9500 Km de trenes de alta velocidad en plena expansión. La India posee uno de los sistemas ferroviarios de cargas y pasajeros más importantes del mundo. Mostraremos este último caso, interesante por la forma particular de encarar la formación de ingenieros ferroviarios.

### 3.5.1. India

El transporte ferroviario en India depende de la compañía estatal **INDIAN RAILWAYS**. La misma transporta 30 millones de pasajeros y 2.8 millones de toneladas de carga por día sobre una red de 115.000 Km. de extensión<sup>19</sup>.

La formación de Ingenieros Ferroviarios se lleva a cabo principalmente en cinco grandes institutos de ingeniería que dependen directamente de la compañía estatal de ferrocarriles. Los mismos son:

- **INSTITUTO DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES Y SEÑALAMIENTO DE LOS FERROCARRILES DE LA INDIA**, Secunderabad.
- **INSTITUTO DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA DE LOS FERROCARRILES DE LA INDIA**, Jamalpur.
- **INSTITUTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA DE LOS FERROCARRILES DE LA INDIA**, Nasik.
- **INSTITUTO DE INGENIERÍA CIVIL DE LOS FERROCARRILES DE LA INDIA**, Pune
- **INSTITUTO DE PERSONAL JERÁRQUICO DE LOS FERROCARRILES DE LA INDIA**, Vadodara.

Es interesante observar que las titulaciones ofrecidas marcan precisamente las especialidades necesarias para mantener y desarrollar uno de los más grandes sistemas ferroviarios del mundo, crucial para el funcionamiento del país.

Se desarrollan además trabajos de I&D, cursos, maestrías y doctorados en temas relacionados con ingeniería ferroviaria en los cientos de Universidades e Institutos Tecnológicos del país.

## 3.6. Oceanía

### 3.6.1. Australia

Desde el punto de vista del desarrollo de un sistema ferroviario, Australia posee algunas si-

militudes con la Argentina, por lo que veremos su caso con algún detenimiento. Tiene grandes extensiones desérticas, grandes distancias y población desigualmente distribuida con una densidad promedio de solo 3 Hab/Km<sup>2</sup>, (14,5 Hab/Km<sup>2</sup> de Argentina). Al igual que la Argentina, la red tiene tres trochas diferentes: ancha, de 1.600 mm, media de 1.435 mm y angosta de 1.067 mm<sup>20</sup>, valores próximos a los de la Argentina de 1.676 mm, 1.435 mm y 1.000 mm. La extensión total de la red es de 41.500 Km, valor próximo al que supo tener la Argentina de más de 45.000 Km.

A diferencia de la Argentina, sin embargo, la red está perfectamente operativa, con 2.940 Km de vía electrificada<sup>21</sup>, y permanece en manos estatales o federales. Tiene una importante industria ferroviaria propia, con tres grandes compañías que producen material ferroviario y exportan: Commonwealth Engineering, Downer EDI Rail y UnitedGroup Rail.

En cuanto al transporte de carga, la diferencias son abismales: 815 MTn anuales versus 23 MTn de la Argentina. El porcentaje de TnKm transportadas por ferrocarril es sensiblemente superior al vial: 237 BTnKm en el primer caso contra 190 BTnKm transportadas por camión<sup>22</sup>, presentando esto también una gran diferencia con la situación de nuestro país, donde el grueso de la carga se transporta por camión.

A pesar de las grandes distancias y la baja densidad de población el sistema ferroviario sostiene además un activo tráfico de pasajeros, cuyas rutas se muestran en la figura 4.



**Figura 4** .Rutas del servicio ferroviario de pasajeros en Australia.

temas de ingeniería

En Australia, al igual que en Argentina, hay una aguda falta de ingenieros<sup>23</sup>. Se gradúan unos 6.000 al año (grado de bachelor de 4 años más un variado número de posgrados). En líneas generales podríamos decir entonces que es un número similar al de nuestro país. Sin embargo, referido a una población de 23 millones, el número de graduados por habitante casi duplica al de la Argentina. Para llevar adelante desarrollos conjuntos ferroviarios se ha creado el Cooperative-Research Centre (CRC) for Rail Innovation, con un presupuesto de más de 100 millones de dólares americanos en 7 años. El mismo lo constituyen las más importantes empresas de transporte y material ferroviarios conjuntamente con siete importantes universidades:

**Central Queensland University**

**Monash University**

**Queensland University of Technology**

**Southern Cross University**

**The University of Queensland**

**University of South Australia**

**The university of Wollongong**

Detallaremos en lo que sigue las universidades australianas que ofrecen títulos en temas de ingeniería ferroviaria o afines.

- **CENTRAL QUEENSLAND UNIVERSITY**

Desarrolla sus actividades el **CENTRE FOR RAILWAY ENGINEERING (CRE)**

Forma graduados y trabaja en I&D con fuerte relación con la industria, en los temas: dinámica de vehículos ferroviarios, fatiga estructural, análisis de fallas, control de erosión, sistemas de control y sistemas de frenos. Tiene importantes laboratorios con equipamiento de gran porte, con capacidad para ensayos en fatiga dinámica de estructuras ferroviarias y material rodante.

Se ofrecen los siguientes títulos en el área ferroviaria (preferimos transcribirlas en el idioma original para no perder precisión en la traducción):

Graduate Certificate in Maintenance Management

Graduate Certificate in Project and Program Management

Graduate Certificate in Rail Operations Management

Graduate Certificate in Railway Signalling and Telecommunications

Graduate Diploma of Maintenance Management

Graduate Diploma of Project and Program Management

Graduate Diploma of Rail Operations Management

Graduate Diploma of Railway Signalling and Telecommunications

Master of Accident Investigation (Specialisation)

Master of Maintenance Management

Master of Management (Engineering)

Master of Project and Program Management

Master of Rail Operations Management

Master of Railway Signalling and Telecommunications

("Graduate Certificates" se entregan a estudiantes que ya hayan recibido el grado de bachelor).

Además se desarrollan doctorados en temas afines

- **QUEENSLAND UNIVERSITY OF TECHNOLOGY**

**MASTER OF ENGINEERING RAILWAY INFRASTRUCTURE,**

Esta maestría se desarrolla exclusivamente para ingenieros que ya trabajan en la industria ferroviaria, sobre una base part-time, con esquemas flexibles que incluyan educación a distancia. El diseño de la misma se apoya en el **COOPERATIVE RESEARCH CENTRE (CRC) FOR RAIL INNOVATION**, descrito más arriba

- **UNIVERSITY OF WOLLONGONG**

**CENTRE FOR GEOMECHANICS AND RAILWAY ENGINEERING**

Se especializa en los problemas asociados con el diseño y mantenimiento de infraestructura ferroviaria para trenes de carga de elevado peso por eje y trenes de pasajeros de alta velocidad en terrenos caracterizados por condiciones adversas. Estudia el

diseño de infraestructuras ferroviarias en suelos blandos o arcillosos, deslizamientos en obras de arte, monitoreo, modelización y control de obras de arte en suelos problemáticos y degradación de balasto.

Adicionalmente se ocupa del diseño de material rodante y entrega los diplomas de:

**GRADUATE CERTIFICATE IN ROLLING STOCK ENGINEERING**

**MASTER OF ROLLING STOCK ENGINEERING**

- **MONASH UNIVERSITY**

**THE INSTITUTE OF RAILWAY TECHNOLOGY**

Es el principal centro de investigación en vías y material rodante en Australia y es uno de los principales proveedores de I&D en ingeniería ferroviaria del país, de excelente reputación y conexiones internacionales. Cuenta con 40 años de tradición y se ocupa tanto de infraestructura como de material rodante. Ofrece Doctorados en estas áreas y el diploma de MASTER OF TRANSPORT

## Conclusiones

1. El número de graduados en áreas afines a la Ingeniería Ferroviaria en el país es absolutamente insuficiente. Como comparación, para mantener el sistema ferroviario argentino entre 1959 y 1990 se graduaron en la Carrera de Especialización de UBA más de 900 ingenieros que en su casi totalidad se incorporaron a Ferrocarriles del Estado. Al presente, la mayoría de ellos están retirados o ejerciendo otra actividad. Ahora debemos diseñar, construir y mantener un sistema prácticamente de cero y es imposible llevar adelante esta tarea solamente con los graduados de dicha carrera de especialización y las tecnicaturas recientemente creadas.
2. Es altamente deseable tener una fuerte industria ferroviaria local. Esto agrega demanda de profesionales en todos los niveles, desde tecnicaturas hasta doctorados.
3. Vemos en la Tabla I el “hueco” existente en la formación de grado. Es evidente,

incluso en comparación con otros países, la necesidad de una carrera de grado en Ingeniería Ferroviaria.

4. Vemos del resumen presentado en relación con América Latina, la escasa producción de graduados específicos en ingeniería ferroviaria. Esto abre posibilidades de establecer industrias y consultorías con liderazgo en la región.
5. Del informe acerca de la situación en Estados Unidos vemos que han reconocido su atraso en ciertas áreas críticas y están realizando importantes inversiones estatales en enseñanza de la ingeniería ferroviaria para remediar la situación.
6. Vemos que en Estados Unidos, Australia y Europa se establecen redes de universidades e industrias a fin de afrontar desarrollos de importancia en el área.
7. Del resumen presentado acerca de Europa vemos que el camino seguido por Europa Occidental es, en una primera etapa, inviable para la Argentina, dado la inexistencia de empresas de alta tecnología tanto en diseño y fabricación como en operación en el sector que puedan liderar el desarrollo tecnológico en el sector ferroviario. Parece más apropiado, inicialmente al menos, el camino seguido por los países de Europa Oriental o Asia donde existen grandes universidades que forman el personal necesario.
8. La gran variedad de temas de trabajo en I&D y en titulaciones muestra claramente que la ingeniería Ferroviaria Tiene identidad propia y no es de meramente una especialidad de la Ingeniería Civil o Mecánica u otra.
9. El caso de España nos muestra que una acción coordinada de una empresa estatal ferroviaria fuerte, las universidades y las industrias privadas fabricantes de todo tipo de material ferroviario puede, en un plazo relativamente corto, llevar el país a una situación de liderazgo internacional en el área. El caso del Gran Bretaña nos muestra la situación inversa, es decir cómo una política errónea puede llevar a un país que fue líder tecnológico en el área a una posición de segundo nivel. Vemos en este caso también que tener excelentes áreas de I&D en las universidades no es suficiente si no

hay una política clara por parte de estado de fijar un horizonte cierto de desarrollo a las industrias privadas del sector.

10. El caso de Rumania nos muestra cómo es posible, aún con recursos relativamente modestos, tener un sistema ferroviario al servicio de la población y de las industrias locales. Asimismo, es interesante observar que han creado una maestría en trenes de alta velocidad previendo generar con anticipación los recursos humanos necesarios para poder en el futuro incorporarse a la red europea de alta velocidad en proceso de expansión. Vemos también que en Bucarest hay una facultad entera dedicada a la ingeniería ferroviaria.
11. El caso de Rusia muestra la enorme dimensión e importancia del estudio de la ingeniería ferroviaria en ese país, con universidades enteras dedicadas al tema. Puede argüirse que la dimensión del país lo justifica, pero aún así es interesante dividir los números presentados por cualquier factor de escala propuesto (superficie del país y/o población, por ejemplo) en relación con nuestro país para ver que aún así daría números muy grandes. Hacemos notar que Rusia forma parte del grupo BRIC.
12. El caso de la India, también del grupo BRIC, nos muestra qué especialidades son necesarias para mantener y ampliar un sistema ferroviario que es vital para el funcionamiento y el desarrollo de un país.
13. El caso de Australia nos muestra cómo con coordinación entre el estado, las universidades y la industria privada se puede, a pesar de la adversa economía de escala asociada con la baja densidad de población y las grandes distancias, tener una industria propia, un eficiente sistema de cargas y un red troncal de pasajeros.
14. Como conclusión final creo que las facultades de ingeniería tenemos el ineludible deber de formar los ingenieros, técnicos e investigadores que permitan tener un sistema ferroviario al servicio del país, eficiente, seguro y sustentable y una industria ferroviaria moderna que permita el autoabastecimiento y la exportación. La formación de estos profesionales llevará tiempo por lo que debemos comenzar sin demora a trabajar en este sentido. La falta de un sistema ferroviario aceptablemente desarrollado y eficiente será, de otra ma-

nera, un cuello de botella en el desarrollo del país.

## Referencias

- 1 [www.sinfin.net/railways/world/usa/history.html](http://www.sinfin.net/railways/world/usa/history.html)
- 2 [www.ncl.ac.uk/newrail/assets/docs/tunrail-hb.pdf](http://www.ncl.ac.uk/newrail/assets/docs/tunrail-hb.pdf)
- 3 [www.ushsr.com/ushsrmap.html](http://www.ushsr.com/ushsrmap.html)
- 4 [www.ncl.ac.uk/newrail/assets/docs/tunrail-hb.pdf](http://www.ncl.ac.uk/newrail/assets/docs/tunrail-hb.pdf)
- 5 TUNRailproyect, 2011 TransatlanticProjectin. Railway Education, <http://www.ncl.ac.uk/newrail/assets/docs/TUNRailNewsletter1Final.pdf>
- 6 <http://www.progressiverailroading.com>
- 7 <http://co-labs.org/labs?id=13>
- 8 [wikipedia.org/wiki/Privatisation of British Rail](http://wikipedia.org/wiki/Privatisation_of_British_Rail)
- 9 [www.gracesguide.co.uk/Metro Cammell](http://www.gracesguide.co.uk/Metro_Cammell)
- 10 [wikipedia.org/wiki/BREL](http://wikipedia.org/wiki/BREL)
- 11 [www.theatlanticcities.com/commute/2012/09/why-britains-railway-privatization-failed/3378/](http://www.theatlanticcities.com/commute/2012/09/why-britains-railway-privatization-failed/3378/)
- 12 Iwnicki Simon. Handbook of Railway Vehicle Dynamics, Taylor and Francis, 2006.
- 13 [www.acem-rail.eu/summary.html](http://www.acem-rail.eu/summary.html)
- 14 [springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-642-36246-0\\_4#page-1](http://springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-642-36246-0_4#page-1)
- 15 Fengler, Wolfgang et al, Mechanics Transport Communications, Issue 3, 2007
- 16 [www.tu9.de/en](http://www.tu9.de/en)
- 17 [wikipedia.org/wiki/High speed rail by country](http://wikipedia.org/wiki/High_speed_rail_by_country)
- 18 [www.railwaygazette.com/news/industry-technology/export-contracts-drive-talgo-expansion.html](http://www.railwaygazette.com/news/industry-technology/export-contracts-drive-talgo-expansion.html)
- 19 Nag, Bodhibrata Public procurement: a case study of the Indian Railways, 2012.
- 20 [www.infrastructure.gov.au](http://www.infrastructure.gov.au)
- 21 [www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/fields/print\\_2121.htm](http://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/fields/print_2121.htm)
- 22 [http://www.bitre.gov.au/publications/2012/files/stats\\_002.pdf](http://www.bitre.gov.au/publications/2012/files/stats_002.pdf)
- 23 <http://rtsa.com.au/assets/2009/06/final-skill-shortages-rail-engineers-australia.pdf>

# Desarrollo tecnológico y transferencia de conocimientos tecnológicos de las facultades de Ingeniería

Miguel Sosa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Presidente del CONFEDI. Decano Facultad Regional Delta Universidad Tecnológica Nacional.

## Resumen

Se presenta una reseña de lo actuado por el Consejo Federal de Decanos de Ingeniería (CONFEDI) en el sentido de promover cambios en los criterios de evaluación de los desarrollos tecnológicos y transferencia de conocimientos tecnológicos (DTyT) realizados en las Facultades de Ingeniería (FI). Se describen las gestiones llevadas a cabo ante organismos pertinentes con el propósito de que se reconozca adecuadamente esta importante labor, y se hace referencia a acciones realizadas por los mismos, que muestran el reconocimiento de la necesidad de disponer modificaciones según se ha propuesto.

Se deja constancia que es necesario que los órganos de aplicación de la nueva normativa incluyan actores que realizan actividades de DTyT, a fin de enriquecer el análisis incorporando miradas complementarias a las ya tradicionales orientadas a la necesaria rigurosidad científica, tendiendo a ponderar inclusive el impacto social de todas las acciones que implican investigación básica o aplicada, o DTyT, en el marco de las particulares necesidades de desarrollo de nuestro país. CONFEDI se encuentra a total disposición para ello.

Finalmente, se plantean interrogantes que mantienen vigencia y podrían permitir seguir avanzando en las cuestiones planteadas.

## Introducción

El Consejo Federal de Decanos de Ingeniería comenzó a desarrollar durante 2010, por parte de la Comisión de Ciencia, Tecnología, Industria y Extensión (CCTIyE), alternativas de evaluación de actividades de desarrollo tecnológico y transferencia de conocimientos tecnológicos (DTyT) en las Facultades de Ingeniería, aprobando en Noviembre de 2010, en su 48ª Reunión Plenaria en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de San Juan, el documento denominado: “Criterios de Evaluación de las Actividades de I+D+i en las Facultades de Ingeniería”, en el cual se

señala la importancia de valorar adecuadamente las actividades de DTyT en las facultades de ingeniería (FI), en particular en distintas instancias de evaluación, tanto de docentes – investigadores tecnológicos, como de evaluación institucional o de acreditación de carreras, en el marco de las necesidades de desarrollo de nuestro país, y en un pie de igualdad con la relevante tarea de publicar resultados de investigación en distintos medios acreditados.

El trabajo continuó y en Mayo de 2011 en la 49ª Reunión Plenaria del CONFEDI, organizada por las Facultades de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata y de la Universidad FASTA de la misma ciudad, fue presentado un segundo documento de la CCTIyE, en presencia de un invitado especial, el Sec. de Articulación Científico Tecnológica del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación (MCTIP), con quien se analizó y debatió en Plenario el documento de Noviembre de 2010, que el CONFEDI le había girado oportunamente, alcanzando acuerdo en general sobre lo expresado por el CONFEDI.

La nueva presentación, aprobada por el plenario de Decanos, se tituló: “Las Facultades de Ingeniería y las Necesidades de Desarrollo Nacional y Regional. El Desarrollo Tecnológico y la Transferencia de Tecnología”.

En Noviembre de 2011, en la 50ª Reunión Plenaria del CONFEDI, en la Facultad Regional Avellaneda de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN), se presenta el Documento “Evaluación de Desarrollos Tecnológicos y la Transferencia de Conocimientos Tecnológicos en las Facultades de Ingeniería”, que profundiza el análisis iniciado en 2010 abordando as-

pectos teóricos y normativos que distinguen al DTyT de la investigación básica y aplicada, y proponiendo un modelo de evaluación del conjunto de las actividades mencionadas anteriormente, en particular la ponderación de su impacto social.

En Septiembre de 2011 el MCTIP lleva a cabo el Primer Taller Nacional de Evaluación del Personal Científico y Tecnológico para una Argentina Innovadora.

En Abril de 2012, en la 51ª Reunión Plenaria del CONFEDI en la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba, se trata y se aprueba el documento: "Las Facultades de Ingeniería y el Desarrollo Territorial Sostenible", en el que, rescatando los aspectos consensuados desde Noviembre de 2010, se brinda un marco en el que éstas puedan promover y ampliar su participación en las actividades de DTyT.

Las FI presentaron a la Secretaría de Políticas Universitarias (SPU) del Ministerio de Educación de la Nación (MEN), Planes de Apoyo al Desarrollo Territorial Sostenible (PADTS), en el marco del Plan Estratégico de Formación de Ingenieros 2012-2016.

En Agosto de 2012 se hace público un documento del MCTIP denominado: "Documento I de la Comisión Asesora sobre Evaluación del Personal Científico y Tecnológico del MINCYT: Hacia una redefinición de los criterios de evaluación del personal científico y tecnológico".

En éste se destacan, en coincidencia con la postura del CONFEDI, los siguientes pasajes:

*Identificación de ejes y áreas problemáticas...*

*"La no pertinencia de aplicar criterios de evaluación del personal dedicado a la investigación básica al personal dedicado a la investigación aplicada y al desarrollo tecnológico y social".*

*"Se trata de la elaboración de pautas de evaluación dirigidas a superar el esquema de medición tradicional basado en el modelo lineal de producción de conocimiento"*

*"El objetivo en este sentido es contar con un nuevo sistema donde se logre un equilibrio entre criterios de originalidad y criterios de aplicabilidad, teniendo en cuenta que el sistema actual sobrevalora la originalidad a través de la medición de variables de impacto de la producción científica y tecnológica mientras*

*que no hay consenso acerca de las formas de medición de la aplicabilidad y el impacto de los desarrollos tecnológicos y sociales".*

En Noviembre de 2012, en la 52ª Reunión Plenaria del CONFEDI en la Facultad Regional Delta de la UTN, continúa el tratamiento de los temas DTyT y PADTS, y se aprueba la denominada: "Declaración de Campana":

*"Los integrantes del Consejo Federal de Decanos de Ingeniería, reunidos en Plenario en la ciudad de Campana el día 1º de noviembre de 2012, manifiestan su beneplácito por la decisión del Ministerio de Educación de la Nación de incorporar a las instancias de evaluación docente para el desarrollo de la carrera docente universitaria una valoración específica y positiva de las tareas de "vinculación y transferencia del conocimiento, guía y acompañamiento en las acciones de voluntariado que realicen los estudiantes", lo mismo que la decisión del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación, de redefinir los criterios de evaluación del personal científico y tecnológico.*

*La incorporación de la valoración de esas actividades fue una prédica de este Consejo Federal desde hace varios años a la fecha.*

*Por todo ello, los integrantes del Consejo Federal de Decanos de Ingeniería manifestamos además nuestra voluntad y decisión de trabajar con esos Ministerios y todos los organismos que sean convocados al efecto, para diseñar e instrumentar los mecanismos e indicadores idóneos y necesarios para alcanzar los objetivos mencionados".*

En Julio de 2013 se hace público un segundo documento del MCTIP denominado: "Documento II de la Comisión Asesora sobre Evaluación del Personal Científico y Tecnológico: Precisiones acerca de la definición y los mecanismos de incorporación de los Proyectos de Desarrollo Tecnológico y Social (PDTs) al Banco Nacional de Proyectos del MCTIP".

Se destacan los siguientes párrafos:

*El proceso de incorporación de PDTs al Banco Nacional no implica la consideración de características generales de los proyectos de I+D. En cambio, atiende a criterios de incorporación*

*que buscan calificar a los proyectos en función de su aporte a la resolución de problemas, necesidades o demandas identificables en la sociedad y/o expresadas por los agentes sociales en la esfera de la política, el mercado, el territorio, la cultura o la estructura social.*

*La incorporación de un proyecto al Banco Nacional como PDS debe considerar interactivamente el conjunto de criterios arriba mencionados, aunque dichos criterios puedan asumir valores diferentes para cada proyecto. Así, por ejemplo, un PDS con un bajo nivel de novedad u originalidad local en el conocimiento puede ser admitido por su alto valor de relevancia o por responder a una demanda estratégica.*

*Un próximo documento de esta Comisión Asesora avanzará en especificaciones respecto de la evaluación individual de los investigadores científicos y tecnológicos que desarrollan su actividad con dedicación completa o parcial en el marco de un PDS.*

*.....Es necesario redefinir el concepto de novedad u originalidad del conocimiento a un significado acotado a las condiciones locales: se trata, entonces, de entender la cuestión de la originalidad en el sentido de "novedad local".*

Es necesario ahora que los órganos de aplicación de esta nueva normativa incluyan actores que realizan actividades de DTyT a fin de enriquecer el análisis, incorporando miradas complementarias a las ya tradicionales, orientadas a la necesaria rigurosidad científica, tendiendo a ponderar inclusive el impacto social de todas las acciones que implican investigación básica o aplicada, o DTyT, en el marco de las particulares necesidades de desarrollo de nuestro país. El CONFEDI se encuentra a total disposición al efecto.

### **Evaluación de los desarrollos tecnológicos y la transferencia de conocimientos tecnológicos en las facultades de Ingeniería. Su impacto en el desarrollo territorial sostenible**

A continuación se realiza una síntesis de los conceptos desarrollados relativos a la necesidad de modificar los criterios de evaluación de las actividades de I+D+i de las FI y de los docentes - investigadores tecnológicos que realizan las mismas, presentaciones realizadas en las respectivas Reuniones Plenarias del CONFEDI de Noviembre de 2010, Mayo de 2011, Noviembre de 2011, Abril

de 2012 y Noviembre de 2012.

### **Modelos del cambio tecnológico en las organizaciones**

Ciertas líneas de pensamiento latinoamericano en ciencia y tecnología rompen con concepciones ortodoxas que conforman el "modelo lineal" que, en grandes rasgos, propone que los desarrollos tecnológicos y la innovación dependen y resultan posteriores al desarrollo científico correspondiente, ya que aun cuando de la investigación básica se puede llegar al desarrollo tecnológico, no ha sido éste el caso general en América Latina dado que su sector productivo, al contrario de lo que ocurre en los países centrales, se encuentra prácticamente desvinculado de la ciencia local y recibe sus insumos tecnológicos de aquéllos, principalmente mediante la compra de equipos o de tecnología.

Y considerando que el desarrollo tecnológico es central para el desarrollo general, resulta insoslayable analizar distintas posturas frente al mismo a fin de intentar clarificar conceptos o bien ponerlos en términos de poder ser discutidos, para lo cual es necesario contrastar distintas teorías de las organizaciones y del cambio tecnológico, tal como el modelo denominado neoclásico o lineal "ofertista" y las llamadas ideas evolucionistas.

El primero implica una concepción exógena del cambio tecnológico y se refiere a que el conocimiento proviene del exterior de la organización, viene dado. El modelo lineal de desarrollo tecnológico implica que la ciencia básica precede al desarrollo de tecnología y ésta a la aplicación productiva. Esto es afín a la teoría económica neoclásica, que por explicitación o por omisión considera a la tecnología, y por extensión al conocimiento, dentro del conjunto de mercancías transables del mercado, pasibles de ser adquiridas en cualquier momento.

En cambio las ideas evolucionistas presentan una concepción endógena del cambio tecnológico, poniendo énfasis en los procesos internos de la organización, y propone que el aprendizaje se produce debido a éstos y a los cambios incrementales o radicales que lo conforman. Es un modelo interactivo de innovación para el que los procesos que conducen a ésta son complejos, de orden dialéctico entre el entorno y la organización, y compatible con la teorías económicas que enfatizan que la capacidad de innovación está difundida en el conjunto de agentes que

constituyen la organización, en el sistema del que forma parte, y en el hecho de que la misma no es consecuencia de elecciones racionales ya que en la toma de decisiones predominan muchas cuestiones subjetivas.

En oposición a la visión ortodoxa mencionada anteriormente, el “modelo interactivo” de innovación postula que ésta se caracteriza por continuas interacciones y retroalimentaciones entre sus distintas etapas de desarrollo, las que incluyen la identificación de un mercado potencial o una oportunidad tecnológica, el diseño analítico, ensayos, rediseños, producción, comercialización. A lo largo de este proceso se acude tanto a conocimientos científicos y tecnológicos existentes como a investigaciones nuevas, y si bien las innovaciones radicales aparecen como las estrellas de la evolución tecnológica y las incrementales carecen de brillo, son las segundas las que posibilitan la realización efectiva de procesos de desarrollo industrial. Una innovación adquiere significación económica solamente a través de un largo proceso de rediseño, modificación y mejoras que la adecuan a un mercado masivo. Es más, mejoramientos técnicos anónimos, no patentados e incrementales, así como invenciones menores patentadas, han tenido consecuencias muy importantes y en muchos casos superiores a las invenciones mayores.

Las distintas formas que asumen los procesos de innovación, el carácter informal e incremental que presentan y los agentes que intervienen, cuestionan los indicadores tradicionalmente usados para estimar los procesos innovativos de las organizaciones de distinto tamaño. Una de las críticas a los indicadores utilizados tradicionalmente hace referencia a su insuficiencia para explicar la adecuada performance de empresas y países que con reducidos gastos de investigación y desarrollo tuvieron un crecimiento industrial significativo y mejoraron su situación competitiva en la economía internacional sin efectuar un gran esfuerzo innovativo formal, por lo que para relevar los cambios parece necesario conceptualizar mediciones alternativas de las actividades innovativas de distintos agentes en el marco de las hipótesis evolucionistas.

El ambiente constituido por el conjunto de instituciones, agentes, y las relaciones existentes entre éstos influye de manera decisiva en el grado de desarrollo de actividades innovativas, concebido éste como consecuencia de procesos sociales e interactivos.

Cuando el ambiente tiene un comportamiento positivo en términos de generación de externalidades, actúa disminuyendo las incertidumbres, contrarrestando las debilidades de ciertas culturas organizacionales, potenciando los procesos de aprendizaje, suministrando las competencias faltantes a los agentes y contribuyendo al proceso de difusión del conocimiento codificado y tácito.

Y en este sentido el desafío en nuestro país parece consistir en la construcción de las competencias necesarias que permitan tender a completar cadenas productivas con incorporación de mayores complejidades tecnológicas y organizacionales, lo cual sin embargo no constituye un proceso automático que podría resultar de la evolución natural de la actual configuración productiva, sino que parece requerir diferentes regulaciones macro y micro económicas, una reingeniería institucional, la emergencia de una mayor interacción público-privada, y el diseño de políticas que apunten más que a agentes individuales al desarrollo de procesos de interacción entre éstos.

### Antecedentes y Proyección

Las actividades de DTyT llevadas a cabo actualmente, fruto de iniciativas propias de las FI, podrían incrementarse si se modificaran los mecanismos de evaluación de sus docentes, de las propias FI, y se profundizaran las relaciones con ciertos organismos nacionales.

Los incentivos a la investigación, la acreditación de carreras de grado y de posgrado, y las evaluaciones institucionales, constituyen procesos que en ciertos casos han inducido la movilización institucional y de los integrantes de las FI, lo cual ha sido relevante en la mejora de la enseñanza de la ingeniería, pero no ha contribuido del mismo modo en sus actividades de DTyT.

Las FI y sus docentes se han adaptado a procesos e instrumentos de formulación de proyectos y evaluación, en los cuales no son valoradas adecuadamente las actividades de desarrollo, transferencia, asistencia técnica y servicios tecnológicos, que por su naturaleza no implican patentes, publicaciones o proyectos formales.

Por otra parte, las FI presentan perfiles diferentes y distintos contextos de actuación según su ubicación geográfica, tal que su impacto regional en el desarrollo social es distinto en cada caso y depende de diferentes actividades a atender según las necesidades del entorno, por lo cual no resulta adecuado

evaluar a todas éstas y a sus integrantes de la misma manera sin tener en cuenta precisamente que el objeto de evaluación debería ser la innovación en el contexto del desarrollo regional.

Por lo tanto, existe la necesidad de recrear mecanismos de articulación que permitan a las FI promover el desarrollo tecnológico teniendo en cuenta que si sólo se atiende a demandas solventes no se mejorará la distribución regional y sectorial deseada.

No obstante, es necesario señalar que las actividades de investigación en las FI, que se han incrementado en cantidad y calidad a partir del inicio de las actividades de evaluación citadas anteriormente, mantengan esa tendencia dando sustento en ciertos casos a los trabajos de DTyT, en un marco en que estos últimos sean valorados en función de su importancia y carácter de complementarios de aquéllas, promoviendo la evaluación comparada del impacto social de las actividades de investigación, desarrollo y transferencia, tanto de las FI como del conjunto del sistema científico tecnológico del país.

### **Elementos para establecer criterios de evaluación de las actividades de DTyT**

Dada la importancia del desarrollo tecnológico en el desarrollo general, a la ingeniería le corresponde un rol de suma relevancia, tanto a nivel nacional como regional, mejorando continuamente la calidad y la pertinencia social en la formación de sus graduados y profundizando los procesos de DTyT, anticipando cambios y necesidades del mercado, y actuando con flexibilidad ante un mundo globalizado y que cambia rápidamente.

Lo expresado implica la necesidad de valorar adecuadamente ciertas actividades que se llevan a cabo en las FI o por sus integrantes insertos en el medio productivo e institucional, las que por su naturaleza no se registran como publicaciones en medios acreditados de ciencia y tecnología ni como patentes.

Se trata de actividades de desarrollo tecnológico, organizacional y transferencia de conocimientos tecnológicos con importante impacto en procesos de innovación o mejora en distintas entidades públicas y privadas de la región de influencia de cada FI, los cuales deberían valorarse no sólo por cierta calidad intrínseca sino también y sobre todo por su impacto social, entendiendo que la participación en estas actividades por parte de docentes y alumnos de las FI también mejoran significativamente los procesos de formación de ingenieros.

Por lo expresado se considera necesario que las actividades de DTyT merezcan espacios explícitos de valoración en diferentes instancias de evaluación de las FI y sus integrantes, en particular en las siguientes instancias:

- Acreditación de carreras de grado y de posgrado
- Evaluación externa de los docentes de las FI en cuanto a su desempeño en actividades de investigación, desarrollo tecnológico y transferencia.
- Evaluación interna en las FI de los docentes en instancias de concursos o evaluación de su desempeño.
- Evaluación interna en las Universidades de las actividades de I+D+i de las FI en marcos de comparación con otras disciplinas.

### **Instrumentos de referencia para el relevamiento y evaluación de actividades de I+D+i**

En línea con lo expuesto anteriormente se realiza un análisis de los conocidos Manuales de Frascati y Oslo, referentes internacionales para la clasificación y evaluación de las actividades de I+D+i, seleccionando algunos pasajes relacionados con la conceptualización de la investigación, el desarrollo tecnológico y la innovación.

Se realiza lo propio con el denominado Manual de Bogotá que constituye un enfoque complementario que contempla las particularidades de la región latinoamericana, precisamente en el sentido indicado por el CONFEDI, de atender al impacto social e institucional de las actividades de I+D+i.

### **Manual de Frascati**

El significado dado al término “innovación” varía según el contexto y su sentido exacto dependerá de los objetivos particulares que se pretendan en materia de medición o de análisis.

Se puede considerar a la innovación científica y tecnológica como la transformación de una idea en:

- un producto nuevo o mejorado introducido en el mercado
- un proceso de fabricación nuevo o mejorado utilizado en la industria o en el comercio
- un nuevo enfoque de un servicio social.

Las innovaciones tecnológicas abarcan los nuevos productos y procesos, así como las modificaciones tecnológicas importantes en productos y procesos. Una innovación se ha realizado en el momento en que se ha introducido en el mercado.

Las innovaciones hacen intervenir todo tipo de actividades científicas, tecnológicas, de organización, financieras y comerciales. La I+D es tan sólo una de las actividades que componen la innovación y puede llevarse a cabo en diferentes fases del proceso innovador, no sólo como la fuente original de ideas creadoras sino también como una forma de resolver los problemas que puedan surgir en cualquier etapa hasta su culminación.

El desarrollo experimental consiste en trabajos sistemáticos basados en conocimientos existentes, derivados de la investigación y/o la experiencia práctica, dirigidos a la producción de nuevos materiales, productos o dispositivos; al establecimiento de nuevos procesos, sistemas y servicios; o a la mejora sustancial de los ya existentes.

### Manual de Oslo

Profundiza el concepto de innovación. La innovación tecnológica de producto es la implementación / comercialización de un producto nuevo o con características mejoradas de desempeño con el fin de brindar objetivamente servicios nuevos o mejorados al consumidor.

La innovación tecnológica de proceso es la implementación / adopción de métodos de producción o de suministro nuevos o mejorados. Puede englobar cambios en equipos, en recursos humanos, en métodos de trabajo o una combinación de éstos.

Las actividades de innovación tecnológica de productos y de procesos (TPP) son todos los pasos científicos, tecnológicos, institucionales, financieros y comerciales que llevan, o están encaminados a llevar a la creación de productos o procesos tecnológicamente nuevos o mejorados. Algunos pueden ser innovadores por sí mismos; otros no son nuevos pero son necesarios para la implementación.

Este Manual abarca todos los niveles, puesto que el nivel mínimo de entrada es el de “nuevo para la empresa” y cataloga el tipo y grado de novedad y definición de una innovación:

- Innovación TPP Tecnológicamente nueva  
De Producto

De Proceso de producción

De Proceso de distribución

- Innovación TPP Tecnológicamente significativamente mejorada

De Producto

De Proceso de producción

De Proceso de distribución

A su vez, cada una de éstas puede ser:

- Máxima o Nueva para el mundo
- Intermedia o Nueva para el país o región
- Mínima o Nueva para la empresa
- Otra innovación: puramente organizacional, nueva o mejorada.

### Manual de Bogotá

El Manual de Bogotá no conforma un enfoque alternativo sino complementario, toda vez que puede ser entendido como una profundización, o etapa posterior, del Manual de Oslo o bien como un marco contextual, conceptual-metodológico, para su aplicación en América Latina, de manera de responder a los requerimientos específicos de la región, sin abandonar los propósitos de estandarización internacional

Los problemas conceptuales de mayor interés, a la vez que los problemas de medición más complicados, emergen cuando se consideran las condiciones particulares en que se desenvuelven las actividades innovadoras en la región y el impacto de las mismas, desplazando el eje del análisis desde la innovación hacia el “Esfuerzo Tecnológico”, la “Gestión de la Actividad Innovadora”, la “Acumulación de Capacidades Tecnológicas”.

### Innovación Organizacional

Cambios en formas de organización y gestión del establecimiento, cambios en la organización y administración del proceso productivo, incorporación de estructuras organizativas modificadas significativamente e implementación de orientaciones estratégicas corporativas nuevas o sustancialmente modificadas.

### Innovación en Comercialización

Comercialización de nuevos productos. Nuevos métodos de entrega de productos. Cambios en el empaque y embalaje.

### Actividades de Innovación

- 1) Investigación y Desarrollo
- 2) Esfuerzos de Innovación
  - a) Diseño, instalación de maquinarias nuevas, ingeniería industrial y puesta en marcha de la producción
  - b) Adquisición de Tecnología
  - c) Modernización Organizacional
  - d) Comercialización
  - e) Capacitación

¿Qué deben medir los indicadores latinoamericanos?

La mayor parte de la actividad innovativa en los Países en Desarrollo consiste en innovaciones menores, modificación o mejoras de tecnologías existentes, aunque estas innovaciones menores pueden llevar a grandes aumentos de productividad en algunos casos

Son relativamente pocas las firmas que poseen “capacidades de eslabonamiento”, que son las necesarias para recibir y transmitir información, experiencia y tecnología de los proveedores de componentes y materias primas, subcontratistas, consultoras, firmas de servicio e instituciones tecnológicas.

### Acciones

En función de lo desarrollado en Mayo de 2011 se llevaron a cabo las siguientes acciones:

Solicitud al Consejo de Universidades: modificar determinados estándares para la acreditación de carreras de ingeniería de grado a fin de dejar explicitada la importancia del DTyT entre las actividades de las FI, tanto para la enseñanza de la ingeniería como por su impacto social.

Solicitud a la Comisión Nacional de Evaluación y Acreditación Universitaria: que los estándares correspondientes a la acreditación de carreras de grado, que en su mayor parte contemplan adecuadamente los procesos de DTyT, se plasmen en los instrumentos de recolección de datos empleados, en la conceptualización general del proceso por parte de los Pares Evaluadores, y en las evaluaciones en su conjunto.

Solicitud al Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación: esta-

blecer un espacio de diálogo y mecanismos de comunicación institucional permanente entre el MCTIP y las FI, a fin de tratar aspectos tales como:

- El diseño explícito de la carrera del investigador tecnológico en el marco de la normativa vigente.
- El diseño de una metodología de evaluación de los procesos de DTyT y la participación de las FI en estos procesos así como en los de su planeamiento.
- El diseño de los Instrumentos adecuados del MCTIP para promover el DTyT.
- La articulación con las FI con relación a los posibles desarrollos tecnológicos correspondientes a productos de investigaciones realizadas o a necesidades detectadas por el MCTIP.
- La participación de las FI en los foros del Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva 2011 – 2014.
- El acceso a información sobre la evaluación del impacto de las actividades de investigación y desarrollo.

Solicitud al Ministerio de Industria de la Nación:

- Establecer un espacio de diálogo y mecanismos de comunicación institucional permanente entre el MIN y las FI.
- La articulación con las FI en relación a los posibles desarrollos tecnológicos correspondientes a demandas del medio productivo o necesidades detectadas por el MIN.
- La participación de las FI en los foros del Plan Estratégico Industrial 2020.
- El diseño de los instrumentos adecuados.

Solicitud al Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios:

- La articulación con las FI en relación a los posibles desarrollos tecnológicos correspondientes a necesidades detectadas por este Ministerio.
- El diseño de los instrumentos adecuados.

Solicitud a la Secretaría de Políticas Universitarias:

- Instrumentar la presentación de proyectos de desarrollo institucional por parte de las FI atendiendo a sus necesidades particulares con el propósito de incrementar su aporte al desarrollo regional y nacional, y también mejorar permanentemente sus capacidades para esto.
- Diseñar instrumentos que incentiven no sólo a los docentes que investigan sino también y principalmente a aquellos que realizan DTyT.

Y el CONFEDI declara:

*“Que considera a las actividades de desarrollo tecnológico y transferencia de conocimientos tecnológicos como sustantivas de las Facultades de Ingeniería (FI), por lo cual continuará trabajando para su promoción y valoración adecuada tanto por parte de organismos externos a las FI en procesos de evaluación institucional y acreditación de carreras cuanto en la evaluación de sus integrantes, recomendando se tenga en cuenta lo expresado en procesos internos de evaluación de las FI y de las Universidades”.*

Y decide:

- Ampliar los alcances del Congreso Argentino de Enseñanza de la Ingeniería (CAEDI) estableciendo el Congreso Argentino de Ingeniería (CADI) incluyendo en la convocatoria en particular la presentación de trabajos de DTyT.
- Manifestarse periódicamente sobre políticas de DTyT.
- Publicar trabajos de DTyT.
- Crear una base de datos e intercambio de información sobre las capacidades de cada FI para aportar al DTyT.

### **La tecnología, la ciencia y la filosofía**

Para profundizar en lo relativo a los criterios de evaluación de las actividades de DTyT se realiza un breve análisis de las diferencias conceptuales entre ciencia y tecnología, y referencia a aspectos de la filosofía de la tecnología.

### **Ciencia básica, ciencia aplicada y tecnología**

La ciencia básica consiste en conocer las leyes de un dominio y valernos de ellas para explicar los

sucesos o fenómenos que ocurren en él.

La ciencia aplicada se basa en la ciencia básica, utiliza sus datos, sus leyes y el mismo método, se diferencia de la ciencia básica sólo por su objetivo, aplica la ciencia básica con algún propósito práctico.

La tecnología emplea partes del conocimiento científico, y agrega otros conocimientos, para diseñar artefactos y planear cursos de acción con valor práctico para un grupo social.

La ciencia básica, la ciencia aplicada y la tecnología se encuentran estrechamente ligados a otros dos campos: la filosofía y la ideología.

No hay investigación científica sin supuestos filosóficos acerca de la naturaleza y de la sociedad.

No hay tecnología sin ideología ya que ésta fija valores y con éstos fines.

La diferencia entre ciencia y tecnología está en que utilizan el mismo método pero difieren en el objetivo. El de la tecnología es práctico y conduce al control de algún sistema de la realidad.

Además de conocimiento científico utiliza otros componentes como valores, fines, propuestas, criterios, restricciones legales y económicas. No busca verdades sino diseños con ciertos objetivos.

La tecnología puede concebirse como el estudio científico de lo artificial, o si se prefiere, considerarse como el campo del conocimiento cuyo objeto es el diseño y planificación de artefactos, su realización, operación, ajuste, mantenimiento y monitoreo a la luz del conocimiento científico.

La tecnología es más que la técnica porque se funda en el conocimiento científico.

En la tecnología las reglas cumplen el papel análogo a las leyes en la ciencia básica o aplicada. Una regla es una prescripción, una convención, de un curso de acción para alcanzar un objetivo determinado.

La filosofía de la tecnología incluye cuatro puntos de vista relevantes según divisiones tradicionales: Ontología, Epistemología, Praxeología, y Axiología.

### **Ontología**

Trata de categorías de entes u objetos que hay en la realidad, distingue entre objetos abstractos e ideas de objetos espaciotemporales concretos.

La tecnología trata con artefactos, objetos producidos por el hombre con algún fin útil.

Estos artefactos conforman una clase ontológica diferenciada y son siempre artificiales, no naturales.

Llamamos artificial a algo optativo realizado a partir de conocimiento.

Son artificiales las herramientas, las máquinas, las industrias, la ganadería, las organizaciones sociales, servicios como la capacitación y la enseñanza, la programación de computadoras, la economía, la política y la cultura.

Las regularidades objetivas de la realidad se reflejan en las leyes científicas.

La tecnología formula reglas tecnológicas, no leyes, aunque se sirva de estas últimas.

La tecnología permite la emergencia de objetos que aportan novedades radicales, es decir, que no se reducen a imitar fenómenos naturales o a una mera combinación de ellos. Este creacionismo tiene obvias consecuencias ontológicas.

### **Epistemología**

Para las ciencias fácticas la epistemología trata de la estructura de las teorías, de su método y del criterio de demarcación de aceptación o rechazo de enunciados como científicos.

La tecnología emplea los mismos conceptos que las teorías científicas básicas: hipótesis, datos, teorías tecnológicas sistematizadas de la misma manera. Pero la prueba de un enunciado no está dada por su valor de verdad sino por otros criterios, como por ejemplo presupuestarios, de seguridad.

Es importante identificar los componentes cognoscitivos y no cognoscitivos que la tecnología agrega a los que presenta la ciencia básica, además del conocimiento científico, conocimiento experto, conocimiento de sentido común, valores y hasta criterios éticos, todos usados en el diseño y producción de tecnología.

### **Praxeología**

Es el estudio de la acción humana, siendo la acción racional el tipo principal para comprender y caracterizar.

La tecnología puede considerarse un tipo de acción racional, una subclase, y la diferencia con la ciencia básica consiste en que conocimiento es sólo subsidiariamente acción. La tecnología puede iluminar y guiar la acción racional.

### **Axiología**

Teoría de los valores, parte de la ética.

Las valuaciones cumplen un papel en la estructura interna de las teorías sean ciencia básica o tecnología. Las teorías se formulan y evalúan a partir de criterios, normas, objetivos o propuestas.

### **En síntesis**

A nivel ontológico la tecnología estudia una subclase de los entes artificiales, los realizados con ayuda del conocimiento científico.

Epistemológicamente el conocimiento tecnológico se fundamenta en la ciencia básica y aplicada, dando lugar a reglas que no son verdaderas o falsas, sino efectivas o no.

Praxeológicamente la tecnología procura la acción máximamente racional y con este fin se vale de diseños y planes.

Axiológicamente, los valores típicos de la tecnología son eficiencia, factibilidad, confiabilidad, y considerar éticamente sus aplicaciones.

### **Pautas para la evaluación de las actividades de DTyT**

Cuando se pretende evaluar las actividades de DTyT se verifica que no es sencillo determinar indicadores confiables, objetivos y aceptados por el conjunto de los actores involucrados.

Estos trabajos no son adecuados para ser publicados, ya sea por estar sujetos a confidencialidad, porque contienen elementos de desarrollo que son de poco interés para las revistas, o porque se trata de trabajos de adaptación de tecnologías ya conocidas internacionalmente y que por lo tanto no constituyen una novedad desde el punto de vista académico.

También se señala que con frecuencia este tipo de trabajos puede llevar a la producción de patentes y se dice que ellas pueden ser un buen sustituto de la publicación.

Sin embargo, el patentamiento asegura que un conocimiento no ha sido previamente registrado o publicado pero de ninguna manera garantiza su alta calidad y viabilidad. Las patentes son una simple ayuda en el proceso de comercialización de una tecnología pero no un certificado de calidad.

Otro criterio puede ser la implantación exitosa de la tecnología en el sector productivo pero en muchos casos, y particularmente en el contexto

de nuestro país, las innovaciones pueden fracasar por razones gerenciales, financieras o administrativas.

La tendencia mundial para la cuantificación de los beneficios de los DTyT, consiste en tener en cuenta a:

- La transferencia de productos al sector industrial
- La transferencia de nuevos procesos para la obtención de un producto
- La utilización de nuevas materias primas
- Las mejoras en productos o procesos productivos

Pero también pueden obtenerse beneficios indirectos que hay que tener en cuenta, como:

- Generación de nuevos conocimientos.
- Formación de recursos humanos.
- Mejoramiento de la infraestructura y el equipamiento.
- Establecimiento de redes.

Los criterios de evaluación deben responder a los objetivos que se le asigne al DTyT en las FI, tal que se los valore en referencia a aquéllos y, además, permitan su promoción.

Si los propósitos fueran el desarrollo nacional y regional, y teniendo en cuenta el marco argumental anterior se debería considerar al DTyT de las FI en su concepción más amplia, es decir, como presente en todo proceso que implique transferencia de conocimientos tecnológicos, definición que permite proponer la siguiente clasificación general.

- Transferencias de nuevas tecnologías
- Asistencias Técnicas
- Servicios Técnicos

Transferencias de “nuevas” tecnologías: se trata de las mejoras o la adaptación que tiendan a mejorar las condiciones de producción o comercialización de un proceso industrial o de un producto definido.

Pueden realizarse por licencias de derechos de propiedad industrial o intelectual o por transmisión de know-how, mediante convenios o contratos.

Asistencias Técnicas: incluyen los trabajos realizados para la transmisión de conocimientos a fin de resolver problemas técnicos específicos o aportar elementos para su resolución, como por ejemplo la optimización de un proceso o la mejora de la calidad de un producto. Se refieren a tareas de consultoría en general. Pueden realizarse mediante convenios o contratos.

Servicios Técnicos: consisten en la realización de tareas tales como la reparación, montaje y puesta en marcha de una planta, los ensayos repetitivos, las pruebas de control de calidad, de funcionamiento y rendimiento, de calibración, certificaciones, o bien formación y capacitación de personal.

Las transferencias de nuevas tecnologías son altamente especializadas, mientras que las Asistencias Técnicas y los Servicios Técnicos pueden ser altamente especializados o sistematizados.

### **Modelo de evaluación de las actividades de DTyT**

El DTyT puede ser evaluado en función de su impacto social pero también del impacto científico-institucional el cual incluye la acumulación de capacidades tecnológicas. Se propone tomar ambos aspectos como base de la evaluación de estos procesos en las FI.

### **Impacto Científico-Institucional**

Es de tipo cualitativo y está relacionado con la evaluación académica de las actividades de DTyT.

El impacto en el conocimiento se refiere a la trascendencia que tiene el conocimiento científico y tecnológico generado en el marco de una investigación o desarrollo tecnológico sobre el conjunto de investigaciones o desarrollos en proceso y sobre la dirección que asumen la ciencia y la tecnología.

La información requerida está compuesta por: publicaciones técnicas, si la información generada es pública o no, patentes registradas, licencias otorgadas, presentaciones técnicas, informes, etc.

El impacto en la institución incluye la Acumulación de Capacidades Tecnológicas:

- Formación de recursos humanos en aspectos científicos, técnicos, económicos, tanto en las instituciones ejecutoras de los proyectos como al interior de las empresas e instituciones que participen en los mismos
- Construcción y acondicionamiento de In-

- fraestructura en las unidades ejecutoras
- Establecimiento de redes de intercambio entre investigadores y empresarios

### Impacto social

El impacto social de la ciencia y la tecnología asume dimensiones muy diversas y complejas, y se expresa como consecuencia de un proceso de mediación de actores específicos entre los productores del conocimiento y su utilización por parte de otros actores.

Puede considerarse como el resultado de la aplicación del conocimiento científico y tecnológico en la resolución de problemas sociales, enmarcados en la búsqueda de satisfacción de necesidades básicas, desarrollo social, desarrollo humano o mejor calidad de vida, según el caso.

Se debe registrar las repercusiones socio-económicas y medioambientales de los proyectos de investigación y desarrollo tecnológico, innovación y servicios conexos a esta actividad mediante el análisis macroeconómico.

Algunos de los parámetros que interesa cuantificar son la contribución a un desarrollo socio-económico sustentable, tanto regional como nacional, y a la creación de puestos de trabajo.

También es necesario analizar las actividades de DTyT con énfasis en su importancia comercial. Es decir, haciendo hincapié en el análisis microeconómico de la empresa o sector productivo, tratando de evaluar algunos indicadores financieros, de productividad, y de rentabilidad.

### Las Facultades de Ingeniería y el desarrollo territorial sostenible

Teniendo en cuenta distintos antecedentes del CONFEDI y documentos de planificación nacional, se avanzó en el planteo de un Programa de Apoyo al Desarrollo Territorial Sostenible dando lugar a presentaciones de Programas Específicos de cada Facultad de Ingeniería.

A continuación se presenta una síntesis del marco de antecedentes en que se realizó esta convocatoria.

En el documento denominado: “La Formación del Ingeniero para el desarrollo Sostenible. Aportes del CONFEDI al Congreso Mundial Ingeniería 2010”, se desarrollaron las siguientes secciones:

- *Generar vocaciones tempranas*

- *Asegurar la calidad de la formación*
- *Formar ingenieros con visión sistémica*
- *Formar ingenieros con perspectiva supra-nacional-regional*
- *Apoyar el desarrollo local y regional*

Para esta última se incluyeron los siguientes objetivos:

#### Objetivos Generales

- *Revalorizar el rol social de la Universidad en general, y de las carreras de Ingeniería en particular, para aportar al bienestar de la sociedad argentina en la cobertura de las necesidades básicas, condiciones necesarias para el desarrollo sostenible local y regional.*
- *Promover el Desarrollo Sostenible, mediante la participación activa de la Universidad como consultora natural de los poderes de los Estados provinciales, municipales y nacional, en la fijación de políticas públicas.*
- *Promover la Investigación, el Desarrollo y la Extensión, como actividades fundamentales de las Carreras de Ingeniería, con planes y acciones orientados a contribuir a la solución de las problemáticas socio-productivas locales y regionales.*
- *Formar profesionales con competencias para actuar con conocimiento técnico, ética, responsabilidad profesional y compromiso social, considerando el impacto económico, social y ambiental de su actividad, en un marco de desarrollo sostenible local y regional.*

#### Objetivos Específicos

- *Promover el reconocimiento y cumplimiento del rol de consultora natural del Estado de las Universidades, entendiéndolas como una parte indisoluble de éste y, como tal, protagonista de su accionar. De este modo el Estado dispone de estructuras de conocimiento calificado que le permiten optimizar el uso de sus recursos humanos y materiales.*
- *Promover la realización de tareas de investigación, desarrollo y transferencia de tecnología en las universidades, que resulte un respaldo significativo para el sector em-*

presarial, especialmente para las pequeñas y medianas empresas.

- Promover la realización, por parte de las universidades, de trabajos que impliquen emitir juicios técnicos de imparcialidad.
- Promover la realización, por parte de las universidades, de estudios, dictámenes, y otras actividades, que requieran un importante componente científico-tecnológico

En el Plan Estratégico para la Formación de Ingenieros 2012–2016, de la SPU, se plantea entre otros capítulos: “El aporte de la universidad al desarrollo territorial sostenible”, en el cual se incluye los siguientes objetivos y acciones a desarrollar.

*Objetivo: Apoyar la puesta en marcha de observatorios de alcance territorial para la consolidación de cadenas productivas de valor.*

*Acciones a desarrollar*

- Apoyar a las universidades para que determinen a nivel territorial, en conjunto con gobiernos locales y organizaciones no gubernamentales las cadenas de valor de mayor impacto en el territorio, sus fortalezas y debilidades, con especial énfasis en el análisis de oferta y demanda de mano de obra calificada y profesionales y en el monitoreo de inserción de graduados universitarios.
- Apoyar la puesta en marcha de forma permanente o a término de ofertas curriculares de pregrado o grado que constituyan áreas de vacancia en el territorio, a través del mecanismo de convenio programa.
- Impulsar y favorecer la puesta en marcha de instrumentos que incentiven a los docentes a realizar desarrollos tecnológicos y transferencia del conocimiento.
- Apoyar el dictado a término de carreras de postgrado profesionales de alcance nacional o territorial en temáticas de interés que sean transversales para distintas cadenas de valor. Y en este marco el Programa Doctor@r para ingenieros, el cual apoya la consolidación de doctorados acreditados existentes en el área de ingeniería, y la movilidad y estadía para los docentes de FI que no posean doctorados en ingeniería.

*Objetivo específico: Incrementar la cantidad de ingenieros insertos en el sistema científico,*

*tecnológico y de innovación.*

*Acciones a desarrollar*

- Coordinar y propiciar el desarrollo de proyectos de investigación, desarrollo e innovación juntamente con las Facultades de Ingeniería de alto impacto local y regional.
- Apoyar la formación de doctores en ingeniería en el desarrollo de investigaciones de alta pertinencia nacional.

*Para consolidar un desarrollo tecnológico propio y sostenido resulta necesario vincular la ciencia, la tecnología y la innovación y para ello es necesario incrementar la cantidad de proyectos de desarrollo tecnológico con alta potencialidad de innovación y aplicación en el sector productivo.*

*Estos proyectos deberán estar enmarcados en los Planes Estratégicos de Desarrollo Industrial 2020 y Agroalimentario 2020.*

En el Plan Estratégico Industrial 2020, se presentan las cadenas de valor consideradas prioritarias:

- Alimentos
- Cuero, calzado y marroquinería
- Textil e indumentaria
- Foresto-industrial
- Automotriz
- Maquinaria agrícola
- Bienes de capital
- Materiales para la construcción
- Química y petroquímica
- Cadena de valor de medicamentos de uso humano
- Cadena de valor del software y servicios informáticos

*Entre los aspectos comunes citados para las distintas cadenas de valor se encuentran:*

- Desarrollar polos productivos regionales, industrializando la ruralidad, que abastezcan a la región
- Regionalización de la producción
- Mejora de procesos
- Cumplimiento de estándares de calidad
- Incorporación de tecnología
- Tratamiento de efluentes y residuos

- *Articulación público-privada para promover el desarrollo de proveedores locales de equipamiento y servicios*
- *Promover espacios de interacción y colaboración entre los diferentes eslabones de la cadena para una mejor organización del sector*
- *Capacitación empresarial y gerencial: desarrollar programas focalizados y dirigidos a difundir mejores prácticas de gestión, administración, organización de la producción y tecnología entre las PYMES*
- *Promoción del desarrollo y adquisición de máquinas, equipos y productos de software de origen nacional, a fin de generar encadenamientos productivos horizontales y sustituir importaciones.*
- *Avanzar en la sustitución de importaciones y en el salto exportador*
- *Articulación entre cadenas de valor*
- *Hay que “industrializar la ruralidad”: agregar valor en las cadenas basadas en materias primas naturales con impacto regional y aprovechar el efecto de polo de desarrollo de la gran industria*
- *Profundizar la integración productiva regional con los países del Mercosur, Mercosur ampliado y Unasur, a través de la combinación de cadenas de valor regionales orientadas a una industrialización más equilibrada entre los socios*
- *Generar centros de desarrollo tecnológico enfocados en la investigación de base y aplicada a partir de las demandas específicas que plantea la industria.*
- *Profundizar la participación de las universidades en los programas públicos, deben involucrarse de manera más activa en los programas gubernamentales de competitividad, tanto en la identificación y selección de proyectos, como en el acompañamiento y prestación de servicios a las empresas.*
- *Fomentar la participación de las universidades en centros tecnológicos asociados a los parques industriales, desarrollando actividades de investigación aplicada en función de las demandas específicas de las empresas, con apoyo financiero del Estado.*

En el Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación 2012 – 2015, se describe los Sectores

Prioritarios, los Núcleos Socio Productivos Estratégicos identificados (NSPE) y las Tecnologías de Propósitos Generales (TPG) consideradas.

- *Sectores Prioritarios*
- *Agroindustria*
- *Ambiente y desarrollo sustentable*
- *Desarrollo social*
- *Energía*
- *Industria*
- *Salud*

*Que los NSPE se constituyan en plataformas para el desarrollo regional/local de recursos humanos y capacidades institucionales de CTI relacionadas a los perfiles productivos, cadenas de valor y dotaciones de recursos naturales de las zonas en cuestión. Es decir, en plataformas para impulsar en los territorios una innovación que responda a las necesidades productivas y sociales locales.*

#### **Tecnologías de Propósitos Generales (TPG)**

- *Tecnologías de la Información y la Comunicación*
- *Biotecnología*
- *Nanotecnología*

Y se cita por ejemplo:

*Los potenciales puntos de intersección entre TPG y los Sectores Prioritarios se dan frecuentemente en la práctica en entornos territoriales específicos relativamente acotados; es allí donde se tienden a generar las vinculaciones e interacciones entre los actores productivos, institucionales y sociales que se traduce, vía la generación, circulación y apropiación de conocimientos, en mejoras y novedades de productos, procesos y prácticas organizacionales y de gestión.*

*La arquitectura institucional de ciencia y tecnología en el país se ha caracterizado por la baja articulación entre sus componentes, debido en parte a la escasa comunicación entre Sectores.*

*El resultado de ello es un sistema que ofrece grupos de excelencia en algunas áreas clave*

*pero en un contexto de aislamiento, de falta de articulación con las demandas y de fuerte concentración geográfica y temática.*

*Avanzar hacia una distribución más equitativa a nivel territorial contribuiría a apoyar procesos de convergencia socioeconómica regional fundamentales para un desarrollo balanceado a nivel nacional.*

*Apoyar el desarrollo de capacidades institucionales en CTI en las provincias de menor grado de desarrollo relativo, atender áreas de vacancia y detectar y procesar necesidades regionales.*

*En el Plan Estratégico Agroalimentario y Agroindustrial Participativo y Federal 2012-2016 se manifiesta:*

*Discurso de la Sra. Presidenta de la Nación, Dra. Cristina Fernandez de Kirchner*

*(...) Este Plan que estamos presentando busca esencialmente seguir agregando valor a nuestros productos primarios, hacerlo en origen, hacerlo con acuerdos y consensos con los sectores productivos, con los sectores industriales, todo también supervisado y ayudado a formular y a incorporar conocimiento, con lo que es nuestro sistema universitario público, nacional y gratuito; el cual también debe tener un fuerte compromiso.*

*Se propone profundizar la tendencia en la generación de valor agregado, con fuerte inserción de la Argentina en las cadenas globales de valor mundiales y, al mismo tiempo, promover que tal generación de valor se desarrolle fundamentalmente en origen, a fin de impulsar un proceso de desarrollo con equidad, todo ello en un marco de sustentabilidad ambiental y territorial.*

*Impulsar la generación de riqueza económica con mayor valor agregado, en particular en origen en un contexto de competitividad sistémica, con crecimiento sustentable en el tiempo, equitativo desde lo social y sostenible desde lo ambiental.*

*Aumentar el volumen de las exportaciones agroalimentarias y agroindustriales argentinas, con énfasis en las producciones con mayor valor agregado, en particular en el lugar de origen.*

*Estimular el desarrollo, la difusión y la adopción de innovaciones tecnológicas agroalimentarias y agroindustriales.*

*El desarrollo tiene que resolver las desigualdades regionales y locales expandiendo las oportunidades.*

*Es relevante entonces, fortalecer la innovación hacia tecnologías apropiadas que permitan estimular el desarrollo integral del Sector y de la sociedad en su conjunto.*

*Estimular procesos de desarrollo local a partir de producciones agroalimentarias y agroindustriales diferenciadas, que refuercen los lazos entre el territorio, la población y el mercado.*

*Estimular el desarrollo productivo resguardando el equilibrio entre la competitividad sectorial y la sostenibilidad ambiental, social y económica de cada territorio constitutivo de la Argentina.*

*Promover la construcción de planes de desarrollo territorial adecuados a las particularidades de los recursos naturales, sociales y económicos de cada territorio argentino.*

*Estrechamente conectada con el objetivo de generar valor en los lugares de origen de las producciones primarias, se ha planteado la necesidad que desde las instancias públicas y privadas del Sector Agroalimentario y Agroindustrial Argentino se contribuya a que en el país se implementen planes de desarrollo territorial diferenciados, adecuados a las especificidades locales.*

*Asegurar los recursos públicos y privados para la consolidación de un sistema de innovación, con estrategias de investigación y extensión dinámicas y fuertes vínculos con el entramado productivo argentino.*

## **Para continuar**

Hasta aquí se ha realizado una descripción de las actividades, propuestas y acciones llevadas a cabo por el CONFEDI con relación a la necesidad de modificar los criterios de evaluación de las actividades de I+D+i realizadas en las FI.

En función del trabajo realizado se plantean algunos interrogantes para seguir profundizando esta línea de trabajo:

¿Cuál es la relación entre la ciencia y tecnología realizada en el país y los problemas de desarrollo nacional? ¿En qué porcentaje se encuentra?

¿Estamos aprovechando la investigación y desarrollo que pueden promover las empresas públicas y el Estado en vivienda, caminos, transporte, ambiente, comunicaciones, energía, combustible, agua? Esto permitiría: Tener capacidad de decisión propia, Incorporar tecnología importada de modo conveniente y eficiente, Desarrollar capacidad de pronóstico de cambios tecnológicos, Adquirir capacidad de creación sos-

tenida, Equilibrar el balance tecnológico de pagos y Tener confianza en nuestras fuerzas

¿Prestamos atención a la tecnología incorporada contenida en los bienes físicos? De capital, de insumo, repuestos

¿Atendemos adecuadamente a la tecnología no incorporada o know how?

¿Estamos atendiendo a las necesidades de tecnologías apropiadas? Que demandan nuestros recursos naturales, que completan las cadenas productivas y que derraman conocimientos.

¿Estamos desarrollando conocimiento en estos sentidos y utilizando el stock disponible propio y ajeno?

Estas cuestiones, aún vigentes, fueron planteadas hace más de 40 años por un pionero en DTyT en Argentina, Jorge Sábato, de quién presento para finalizar su comentario con relación al trabajo de desarrollo tecnológico del primer elemento combustible de reactor nuclear de potencia fabricado en Argentina y ensayado en un reactor en Alemania:

“Agrega menos al curriculum según el modelo oficial, que una carta al editor de una revista de segundo orden, eso sí, extranjera”.

Comentario este que en la situación actual corresponde reconocer que está siendo paulatinamente superado, pero que conviene recordar como guía para seguir trabajando en el sentido propuesto por el CONFEDI.

## Bibliografía

Documento I de la Comisión Asesora sobre Evaluación del Personal Científico y Tecnológico del MINCYT: Hacia una redefinición de los criterios de evaluación del personal científico y tecnológico - 2012

Documento II de la Comisión Asesora sobre Evaluación del Personal Científico y Tecnológico: Precisiones acerca de la definición y los mecanismos de incorporación de los Proyectos de Desarrollo Tecnológico y Social (PDTs) al Banco Nacional de Proyectos del MCTIP - 2013

Rosalba Casas. Problemas en la Producción y la Transferencia de Conocimientos. Universidad Nacional de Quilmes. Maestría en Ciencia, Tecnología y Sociedad. Carpeta de trabajo.

Manual de Frascatti - OCDE - 1993

Manual de Oslo - OCDE - 1996

Manual de Bogotá - RICYT - OEA - 2001

Mario Bunge. Ciencia, Técnica y Desarrollo Edit. Sudamericana - 1997

Eduardo Scarano. Epistemología de la Tecnología- Metodología de las Ciencias Sociales Ediciones Macchi - 1999

Ana María Ingallinella y otros. Evaluación de las actividades de extensión y transferencia de Tecnología de las Universidades. Universidad Nacional de Rosario - 1999

Jorge A. Sábato. Ensayos en Campera Universidad Nacional de Quilmes. Editorial Colección “Ciencia, Tecnología y Sociedad” 2004. Recopilación de sus publicaciones entre 1968 y 1975 Actas de las reuniones Plenarias del CONFEDI de Noviembre de 2010, Mayo de 2011, Noviembre de 2011, Abril de 2012 y Noviembre de 2012.

La Formación del Ingeniero para el Desarrollo Sostenible. Aportes del CONFEDI al Congreso Mundial Ingeniería 2010

Plan Estratégico de Ingeniería 2012-2016 - Secretaría de Políticas Universitarias. Ministerio de Educación.

Plan Estratégico Industrial 2020 - Ministerio de Industria

Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación 2012-2015 - MCTIP

Plan Agroalimentario y Agroindustrial Participativo y Federal 2012-2016





# Plan Estratégico de Formación de Ingenieros 2012-2016.

## Reseña y evolución, en primera persona

Daniel Morano<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Coordinador Ejecutivo del PEFI 2012-2016. Secretaría de Políticas Universitarias. Ministerio de Educación

### Introducción

El modelo productivo puesto en marcha en el año 2003 se fundamenta en la creación de una matriz de crecimiento económico, basada en la producción, en el valor agregado, en el mercado interno y en un fuerte crecimiento de las exportaciones, en particular de manufacturas de origen agropecuario y de origen industrial.

Esto implicó que en los Ministerios del Estado Nacional, relacionados directamente con la temática, y cada uno en el ámbito que le compete, desarrollaran planes estratégicos tendientes a asegurar las bases de este modelo de desarrollo.

Los Planes Estratégicos Agroalimentario y Agroindustrial, Industrial 2020, Ordenamiento Territorial, Desarrollo Minero, Científico, Tecnológico y de Innovación son ejemplos de lo mencionado, los cuales a su vez necesitan para su concreción Servicios, Infraestructura en Transporte, Comunicaciones, Energía entre otros aspectos.

Desde el Ministerio de Educación de la Nación, y enmarcando las acciones de modo tal de asegurar inclusión, calidad y pertinencia en todos los niveles educativos, se desarrollaron proyectos activos en la formación en capacidades científicas y tecnológicas de modo de formar ciudadanos con los mayores niveles de cualificación profesional, de modo que se pueda cumplir con los objetivos de los planes estratégicos enunciados y desarrolle un modelo de país competitivo económicamente, incluso socialmente y sostenible ambientalmente.

En este contexto, la ingeniería es una disciplina fundamental para lograr consolidar el desarrollo productivo, relacionar conocimiento con innovación productiva, disminuir los niveles de dependencia tecnológica y asegurar la preservación ambiental.

Entre 2004 y 2011 el foco fundamental de las políticas para la disciplina estuvo puesto en los

proyectos de aseguramiento de la calidad de la formación, lo que ha permitido que Argentina haya acreditado el 100% de sus carreras de ingeniería, situación que ha merecido el reconocimiento de asociaciones regionales y mundiales de la ingeniería.

Esto permitió, además, incrementar la cantidad de estudiantes, su rendimiento académico y de graduados, pero la demanda actual y proyectada de ingenieros indica la necesidad de continuar incrementando la cantidad de profesionales, y la meta propuesta es tener la mayor tasa de graduados por año de Latinoamérica, que es de 1 nuevo ingeniero cada 4.000 habitantes por año, es decir, más de 10.000 nuevos graduados por año al fin de la década.

Además de ello, es necesario continuar con los cambios en los paradigmas de la formación, de modo que estén preparados para el desarrollo sostenible, lo cual supone que la actividad del ingeniero debe considerar las implicancias económicas, sociales y ambientales de cada una de sus aplicaciones, para asegurar que no se vean afectadas las necesidades de las generaciones futuras.

Por lo expuesto, no sólo es necesario consolidar la formación a través del conocimiento de contenidos, sino también inculcar, durante el proceso formativo, competencias, capacidades, actitudes y aptitudes que permitan generar un profesional de alta capacitación técnica que, también, tenga compromiso social, conciencia ambiental y capacidad de liderazgo.

Por este motivo, el Ministerio de Educación de la Nación impulsa, en conjunto con otros actores,

el desarrollo del Plan Estratégico de Formación de Ingenieros 2012-2016, como un instrumento imprescindible para el logro de las metas de desarrollo propuestas.

### Oferta Académica

El proyecto de unificación curricular de la Ingeniería Argentina acordó declarar de interés público a 21 terminales de la disciplina: Aeronáutica, Agrimensura, Alimentos, Ambiental, Biomédica o Bioingeniería, Civil, Computación, Eléctrica, Electromecánica, Electrónica, Hidráulica, Industrial, Informática o Sistemas, Materiales, Mecánica, Metalúrgica, Minas, Nuclear, Petróleo, Química y Telecomunicaciones. En el año 2012, la oferta de carreras de estas 21 terminales ascendió a 413 (323 en instituciones públicas y 90 en instituciones privadas).

Además, se dictan 24 carreras de ingeniería que no se encuadran en las terminales unificadas (21 en instituciones públicas y 3 en instituciones privadas). Entre éstas pueden mencionarse a Ingeniería Mecatrónica, Ingeniería Naval, Ingeniería Textil, Ingeniería Pesquera, Ingeniería en Biotecnología, Ingeniería en Física Médica, Ingeniería en Energía, etc. las cuales aún no han sido declaradas de interés público.

En resumen en el año 2012 se dictaron en el país 437 carreras de ingeniería.

### Acciones Realizadas

La acreditación nacional de carreras de ingeniería, realizada por CONEAU, está en régimen y en plena etapa de realización su segundo ciclo que abarcará el período 2012/13 a 2018/19. Se ha avanzado en la acreditación regional de ingeniería a través del Sistema ARCUSUR.

Con la puesta en marcha del PROMINF se completaron los apoyos para los planes de mejora surgidos en el primer ciclo de acreditación (PROME I y PROME II) y tendientes a apoyar las actividades necesarias para alcanzar los estándares.

En 2009 se puso en marcha el Programa Nacional de Becas Bicentenario para alumnos de carreras científicas y tecnológicas.

Se pusieron en marcha programas de cooperación internacional y acuerdos bilaterales y multilaterales de reconocimiento de títulos de carreras acreditadas.

### Resultados de Avance. Evolución de alumnos entre 2003 y 2011

Los planes de mejora implicaron un impacto en la mejora de indicadores académicos. Un análisis comparativo entre la cantidad de alumnos que cursaban la totalidad de las carreras de ingeniería en el sistema público entre los años 2003 y 2011, muestra la tabla.

## CARRERAS DE INGENIERÍA

Evolución de Alumnos de Ingeniería en Universidades Públicas			
Tipo de Alumnos	Año 2003	Año 2011	Evol. 11/03
Ingresantes	29.009	30.148	4%
Reinscriptos	95.446	118.776	24%
Total	124.455	148.924	20%
Avanzados (con + 26 materias)	17.421	32.487	86%
% Avanzados / Reinscriptos	18%	27%	
Graduados Universidades Públicas	4.120	5.475	33%
Graduados Universidades Privadas	953	1.060	11%
Total Graduados	5.073	6.535	29%

Sumando a los graduados en universidades privadas en el año 2011 se graduaron en el país un total de 6.535 nuevos ingenieros, lo cual indica que la tasa de nuevos ingenieros por habitantes se ubicó en un nuevo ingeniero cada 6.140 habitantes aproximadamente.

De acuerdo a informes de las facultades de ingeniería, el principal motivo de la caída de rendimiento y deserción de alumnos avanzados obedece a razones laborales. Entre el 70% y el 100% de los alumnos avanzados, según datos muestrales de distintas facultades, trabaja más de 20 horas por semana, en actividades relacionadas con la carrera y en su mayoría en relación de dependencia.

### **Plan Estratégico de Formación de Ingenieros 2012-2016**

Fue lanzado oficialmente por la Presidenta de la Nación, Dra. Cristina Fernández de Kirchner el 5 de noviembre de 2012 en Tecnópolis, como Política de Estado, con objetivos y acciones concretas por un lapso de cinco años.

El Plan consta de Tres Ejes Estratégicos, que si bien tienen su foco principal en la formación de ingenieros, prevé acciones que van más allá de la formación de ingenieros y la ingeniería.

Estos tres ejes estratégicos, en función del Modelo de Desarrollo de País planteado, se centran en,

incrementar la cantidad de graduados (fundamentalmente acciones al interior de las unidades académicas de ingeniería),  
aportar al desarrollo territorial sostenible con mano de obra calificada en calidad y cantidad (acciones conjuntas entre Estado Nacional, Universidades, Gobiernos Locales, Cámaras Empresariales y Colegios Profesionales) e  
internacionalizar la formación de futuros ingenieros (acciones de cooperación con Gobiernos y Universidades de Países Latinoamericanos, del Caribe y de la Unión Europea).

A continuación se detallan para cada Eje los objetivos y las nuevas acciones a desarrollar entre 2013 y 2016, que pretenden ser un nuevo salto cualitativo y cuantitativo de lo realizado entre 2004 y 2012.

## **A. Proyectos de Mejoramiento de Indicadores Académicos**

### **Objetivo**

Incrementar la cantidad de graduados en ingeniería en un 50% en 2016, y en un 100% en 2021, con relación al año 2009, en forma gradual en carreras que completen el segundo ciclo de acreditación.

### **A.1 Generar vocaciones tempranas y facilitar el tránsito entre sistemas educativos**

- Acuerdo con el Consejo Federal de Educación para consensuar competencias de acceso propuestas con competencias de egreso de la escuela secundaria.
- Determinar por título y región el listado de carreras en las cuales sea necesario incrementar el ingreso (Proyecto de desarrollo territorial sostenible).
- Elaborar producciones televisivas y en otros medios, para difundir entre los jóvenes y la población en general, el rol de la ingeniería en la vida diaria.

### **A.2 Incrementar la retención en el ciclo básico**

- Asegurar en las universidades una gestión académica que facilite el seguimiento personalizado de los alumnos y las principales causas de deserción, considerando el impacto de factores socioculturales y laborales.
- Finalizado el segundo ciclo de acreditación apoyar proyectos de desarrollo institucional por unidad académica de ingeniería tendientes a mejorar los indicadores académicos (mejora de los indicadores) y asegurar competencias y capacidades de graduados (calidad de formación según documento de competencias genéricas elaborado por CONFEDI). Válido para retención para los puntos A.3. y A.4.

### **A.3. Incrementar la retención en el ciclo de especialización**

- Favorecer y apoyar al interior de las universidades, la utilización, por parte de los docentes, de herramientas computacionales para la enseñanza y el aprendizaje.

#### A.4. Incrementar la graduación de alumnos avanzados

- Propiciar, conjuntamente con el Ministerio de Industria, el interés de los empresarios para incorporar profesionales en sus empresas y mejorar la cualificación de sus plantas.
- Propiciar innovaciones en las metodologías de evaluación y formación práctica, que permitan evaluar competencias que acrediten conocimientos de alumnos avanzados.
- Propiciar la realización de proyectos de fin de carrera que relacionen los requerimientos académicos con las necesidades de innovación del territorio.

### B. El aporte de la universidad al desarrollo territorial sostenible

#### Objetivos

- Asegurar los perfiles de formación y la cantidad de los recursos humanos necesarios para la consolidación de cadenas productivas de valor en el territorio.
- Orientar las actividades de investigación, desarrollo y transferencia del conocimiento en temáticas de alto impacto tecnológico, de inclusión social y de cuidado ambiental en el territorio.

#### B.1. Poner en marcha el Consejo Consultivo Nacional de Educación Superior en Ingeniería para el Desarrollo Sostenible

- Puesta en marcha del Consejo Consultivo Nacional de Educación Superior en Ingeniería para el Desarrollo Sostenible.
- Constitución de mesas sectoriales integradas por el Estado Nacional, Universidades, Empresas Colegios Profesionales y Trabajadores, para la definición de los perfiles necesarios de formación a nivel técnico, profesional y formación continua de postgrado, para asegurar los logros de los planes estratégicos.
- Con base en la definición de los perfiles, determinar ejes transversales de las carreras de pregrado (tecnicaturas), grado (ingeniería, agronomía, veterinaria, ciencias básicas) y postgrado (especializaciones

y maestrías profesionales) que permitan cubrir los perfiles definidos.

#### B.2. Poner en marcha observatorios de recursos humanos de alcance territorial

- Apoyar a las universidades para que determinen, a nivel territorial y en conjunto con gobiernos locales y organizaciones no gubernamentales, las cadenas de valor de mayor impacto en el territorio, con especial énfasis en el análisis prospectivo de la oferta y demanda de mano de obra calificada y profesionales, y en el monitoreo de la inserción de graduados universitarios.
- Apoyar a las universidades en la adaptación de las ofertas de pregrado, grado y postgrado existentes a los perfiles definidos y en la creación de ofertas académicas en áreas de vacancia (a término o continuas) a nivel regional, transversales a distintas cadenas de valor.

#### B.3. Incrementar las actividades de investigación, desarrollo, transferencia, vinculación e innovación en Ingeniería

- Coordinar y propiciar la implementación de proyectos de investigación, desarrollo e innovación de alto impacto territorial, juntamente con las Universidades.
- Apoyar la formación de doctores en ingeniería (Programa Doctorar) en el área de investigaciones y desarrollos tecnológicos de alta pertinencia nacional.
- Apoyar la puesta en marcha de emprendimientos productivos por parte de las universidades y sus graduados.
- Apoyar la mejora continua y certificación de calidad de laboratorios universitarios.

### C. Internacionalización de la Ingeniería Argentina

#### Objetivo

- Presencia internacional de la ingeniería argentina.

#### Acciones

- Acuerdos de reconocimiento de títulos de ingeniería con países latinoamericanos en el marco de los acuerdos de estado suscriptos.

- Sostenimiento de los proyectos de formación de redes académicas del MERCOSUR.
- Sostenimiento de los proyectos de intercambio académico entre países latinoamericanos.
- Sostenimiento de los proyectos de movilidad e intercambio académico con países de la Unión Europea.
- Asegurar la presencia internacional de la ingeniería argentina en foros educativos internacionales de la disciplina.

### **Evolución de la formación de ingenieros. Apreciaciones personales**

El Plan Estratégico de Formación de Ingenieros 2012-2016 hoy es una política de estado porque tiene una sólida base que se generó a partir de la Unificación curricular de la ingeniería en 1996 (Libro Azul), Propuesta de acreditación de las carreras de grado de ingeniería en 2000 (Libro Verde), Declaración de Interés Público de las carreras de ingeniería (Resolución 1232 y posteriores), Proyecto de Mejoramiento de la Enseñanza de la Ingeniería (PROME I, PROME II y PROMINF).

Y por cierto, es una necesidad imperiosa, para un país que está embarcado en un proyecto de desarrollo que se basa en el agregado de valor a los productos primarios y en la generación de una matriz productiva industrial en áreas estratégicas.

Distintas circunstancias, algunas fortuitas, hicieron que fuera partícipe de todos estos eventos, desde mi función como Decano de la Facultad en la Universidad Nacional de San Luis, la Presidencia de la Comisión de Enseñanza del CONFEDI cuando comenzó la acreditación en 2002, la Presidencia del CONFEDI en 2003 cuando nos convocaron desde la SPU para elaborar un proyecto para mejorar la formación de ingenieros en el país y atento a la presentación de esa propuesta, la invitación de la SPU de colaborar en la puesta en marcha del PROME I en 2005 donde el trabajo que debía durar un año en la SPU ya lleva nueve, en distintas funciones pero siempre tratando de aportar a la formación de ingenieros.

Es precisamente en la SPU, cuando finalizado el primer ciclo de acreditación en 2005 y con sólo el 7% de las carreras de ingeniería cumpliendo todos los estándares, nos plantemos el desafío que expresamos en los indicadores cuantitativos del proyecto: lograr que al fin de la década más del 80% de las carreras de ingeniería cumpliera

con todos los compromisos asumidos y alcanzara la totalidad de los estándares.

El objetivo se cumplió, y para el 100% de las carreras de ingeniería, al pasar por la segunda fase del primer ciclo de acreditación, donde CO-NEAU prorrogó la acreditación por los tres años faltantes.

A pesar de ser éste el objetivo casi excluyente del proyecto, se avanzó en otro aspecto, que fueron los proyectos interinstitucionales. La cantidad y alcance de proyectos de cooperación entre facultades de ingeniería creció exponencialmente y se consolidaron los consorcios regionales. Paralelamente los indicadores de ingreso, regularidad y graduación fueron mejorando, lenta pero sostenidamente.

Por cierto que en todo este proceso, se veía tanto en las facultades como en la SPU, la presión de una demanda laboral creciente, que al no ser cubierta por graduados, recaía sobre estudiantes avanzados o estudiantes intermedios para cubrir la falta de técnicos.

Con la puesta en marcha del Programa Nacional de Becas Bicentenario en 2009 se trató de dar una respuesta de política pública inclusiva que permitiera el acceso y la permanencia de sectores de bajos ingresos y evitar la inserción laboral temprana.

Con la puesta en marcha de los Planes Estratégicos Nacionales de Desarrollo, una de las primeras debilidades detectadas en todas las mesas sectoriales fue cantidad de recursos humanos calificados, especialmente ingenieros. Por ello, la Presidencia de la Nación, en el año 2011, planteó al Ministerio de Educación la necesidad de reforzar políticas para incrementar la cantidad de graduados en ingeniería.

Ante el pedido de analizar este tema, hubieron tres aspectos claves que consideré y a los que entendí se debía dar respuesta:

Cómo incrementar la cantidad, duplicando los graduados en la década, mejorando de forma continua la calidad de nuestros graduados y actualizando sus perfiles de formación.

Cómo lograr una vinculación virtuosa, tanto a nivel nacional como territorial, entre academia, gobiernos y sector productivo y de servicios.

Cómo formar ingenieros con visión global, con el objetivo de incrementar la presencia de la ingeniería desarrollada en Argentina en el mundo a través de sus productos y servicios.

Para ello ya no se podía pensar en un Proyecto como fue el de Mejoramiento, sino en un Plan Estratégico, con Objetivos y Metas a lograr en el quinquenio y con Planes de Acción anuales que permitieran el logro de los mismos.

De allí los tres ejes estratégicos planteados y explicados, que finalmente se comenzaron a traducir en acciones a partir del año 2012.

Y aquí nuevamente el trabajo de CONFEDI resultó la base imprescindible para avanzar en la puesta en marcha de acciones concretas. Cuatro documentos fueron claves: 1) Competencias de acceso a carreras de ingeniería, 2) Competencias genéricas de egreso, 3) Aportes del CONFEDI al Congreso Mundial de Ingeniería 2010 y 4) Documento de acuerdos y definiciones sobre actividades de investigación, desarrollo tecnológico e innovación productiva en facultades de ingeniería.

### **Hacia el cumplimiento de los objetivos y metas del PEFI 1216**

Con la puesta en marcha de las acciones, si bien se trata de seguir un camino ideal, es necesario ajustar las mismas a un contexto de políticas públicas, de agenda de las facultades de ingeniería y de acuerdos con otros actores, tanto a nivel nacional como internacional, para alcanzar los objetivos.

### **Mejora de los indicadores académicos**

Para duplicar la cantidad de graduados por año, se planteó la necesidad de comenzar avanzado en el proyecto de indicadores académicos, de modo que cada facultad tenga información personal y estadística del comportamiento de las distintas cohortes, para apoyar la toma de decisiones que permita mejorar la permanencia y graduación y, fundamentalmente, buscar soluciones a la medida de acuerdo a las problemáticas detectadas en distintos niveles de la carrera.

Para apoyar a las facultades al logro de competencias como formación en cultura emprendedora se apoyó el proyecto PRECITYE.

Para apoyar la graduación de alumnos avanzados se puso en marcha en 2013 la línea de Becas Bicentenario para aquellos alumnos que adeudaran menos de ocho materias.

El último proyecto de mejoramiento fue para Ingeniería Informática, en Sistemas y Computación.

A la par de esto, todo un conjunto de acciones básicas y genéricas que se pretende que las

facultades ejecuten, en gran parte durante 2013, en paralelo con la finalización del segundo ciclo de acreditación de carreras de ingeniería que, por los resultados parciales, son acreditaciones, en general, sin compromisos y cumplimentando todos los estándares.

Todo esto, debería dejar las condiciones fijadas, para comenzar en 2014, la tarea de generar planes estratégicos por unidad académica que en el marco del nacional, se propongan cumplir con los objetivos de incrementar la graduación (para lograr la cantidad de graduados a nivel nacional, cada facultad manteniendo la cantidad de ingresantes promedio de los últimos años, debería proponerse un índice de graduación del 30%) y asegurar la calidad de la formación (parámetro que se fijará como el aseguramiento de que los graduados tengan las competencias genéricas definidas por CONFEDI).

Los datos estadísticos indican que esa proyección tiene posibilidades de concretarse, e incluso de superarse.

### **Aporte de la Universidad al Desarrollo Territorial Sostenible**

No es un error, ni casualidad que este punto hable de Universidad y no de Facultad. En materia de recursos humanos, la ingeniería es condición necesaria pero no suficiente para el desarrollo territorial sostenible. Y ello lleva a otro desafío en la formación de los futuros ingenieros, que es la competencia de trabajar en equipos interdisciplinarios.

Por ello, a nivel nacional, el año 2013, está siendo utilizado para lograr que todos los actores del desarrollo, Ministerios de Estado Nacional, Cámaras Empresariales, Universidades, se conozcan e interactúen en la búsqueda de objetivos comunes, particularmente a través de Mesas Sectoriales. Con el Ministerio de Industria se está trabajando activamente en las cadenas de valor de Software y Servicios Informáticos, Maquinaria y Equipo, Maquinaria Agrícola, Medicamentos, Textil, Maderera y Química. Un caso emblemático es el rol que CONFEDI ha tenido en la integración de cadenas a través de los Sistemas Embebidos.

El proyecto AGROVALOR para la creación de empresas modelo de base agropecuaria con agregado de valor en origen, es otro proyecto donde la ingeniería interviene, en este caso coordinado y cofinanciado con el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca.

Tareas similares se desarrollan en los sectores mineros, energéticos y de transporte, especialmente ferroviario, donde CONFEDI, una vez más, respondió en forma inmediata, proponiendo los estándares para la creación de la carrera de Ingeniería Ferroviaria.

Finalmente el Proyecto Doctor@r se propone apoyar a las facultades de ingeniería en el cumplimiento del Documento de acuerdos y definiciones sobre actividades de investigación, desarrollo tecnológico e innovación productiva en facultades de ingeniería, potenciando capacidades para aportar soluciones al desarrollo de las principales cadenas de valor de cada territorio.

En los años que restan del PEFI, la propuesta es replicar estas Mesas a nivel territorial y para ello se prevé la puesta en marcha del Proyecto de Observatorios Territoriales que monitoreen de forma permanente oferta y demanda de recursos humanos a nivel de operarios, técnicos y profesionales que aseguren el crecimiento y consolidación de las cadenas de valor más importantes del territorio y, por otro lado, analicen la inserción de los graduados y el nivel de satisfacción de los propios graduados y sus empleadores con la formación recibida.

Esperamos que con esto, las facultades reorienten y actualicen su oferta académica, creen ofertas en áreas de vacancia y retroalimenten los procesos de enseñanza y aprendizaje para asegurar las competencias de los graduados, en función de las competencias genéricas de egreso definidas en el documento de CONFEDI.

Estos observatorios, operados técnica y metodológicamente por personal universitario, deben tener dirección compartida entre universidades, gobiernos locales y cámaras empresarias.

### **Internacionalización**

Otro eje que depende de acuerdos previos y de contrapartes adecuadas.

La base de este Eje es internacionalizar la ingeniería y, por ende, los ingenieros desde el proceso de formación, con la finalidad de incentivarlos en que los productos y servicios de su tarea, no sólo se puedan insertar al mercado local, sino internacional.

En Latinoamérica, y en particular en MERCOSUR, la ingeniería aparece además como un elemento integrador. Problemáticas y carencias, pero también oportunidades comunes, potencian

la necesidad de la interacción entre ingenieros. La integración a través de obras de infraestructura y servicios hace imprescindible la integración educativa y profesional.

Por ello hemos planteado, y en el marco de proyectos de cooperación e intercambio vigentes, la necesidad de incrementar la movilidad de estudiantes de ingeniería argentinos en distintos tipos de estancias en países de la región.

Aquí nuevamente es fundamental el rol de CONFEDI, a través de su presencia en ASIBEI con los acuerdos de movilidad logrados y a los cuales actualmente se les está buscando fuentes de financiamiento en los distintos países.

El reconocimiento automático de títulos es otra herramienta que no sólo soporta a la movilidad profesional, sino que al estar condicionada a que sea sólo para carreras acreditadas, obliga a los países firmantes a avanzar en aseguramiento de la calidad, con lo cual indirectamente estamos contribuyendo desde Argentina a la puesta en marcha de procesos de acreditación nacionales, con estándares nacionales y procesos de formación de ingenieros adecuados a las necesidades de cada país, en vez de adoptar para Latinoamérica estándares de calidad para la formación fijados por las agencias norteamericanas o extraregionales, válidos para sus respectivos países, pero no necesariamente pertinentes con la realidad propia de todos y cada uno de los países latinoamericanos, más allá de su alta calidad.

En Argentina esperamos que todas las facultades de ingeniería, de forma gradual, se sumen e incentiven a sus alumnos a conocer otras realidades.

Finalmente los acuerdos con países de la Unión Europea. Basados en los convenios de cooperación existentes, el objetivo fundamental planteado en el PEFI fue concentrar los recursos en los tres países más desarrollados tecnológicamente de Europa y con los cuales existieran acuerdos de cooperación y por ello la priorización de Alemania, Francia e Italia, esencialmente en áreas de vacancia a nivel nacional. Ello no implica cerrar otros acuerdos, y un ejemplo es el caso de Rumania, donde se está avanzando en un convenio de cooperación en formación ferroviaria.

### **Palabras finales**

Si al 2016 cumplimos con las metas cuantitativas y cualitativas de formación, en forma general y en particular por especialidad y región del país,

y con la firme convicción de cada ingeniero que lo producido es de primer nivel mundial, y por tanto puede ser utilizado en cualquier lugar del mundo, el Ministerio de Educación y el Sistema Nacional de Formación de Ingenieros, podremos tener la inmensa satisfacción de llegar al Segundo Bicentenario habiendo sentado bases de altísima solidez a partir de las cuales se generarán las capacidades tecnológicas para que Argentina sea definitivamente un PAÍS DESARROLLADO.

### Referencias

- <sup>1</sup> “Terminales”: concepto utilizado por el Consejo Federal de Decanos de Ingeniería (CONFEDI) para referirse a las distintas especialidades de las carreras de Ingeniería.

## Acuerdo de promoción y fortalecimiento de programas de intercambio y movilidad de docentes, investigadores y estudiantes de ingeniería de Iberoamérica, en el marco de ASIBEI

Roberto Giordano Lerena<sup>1</sup> y  
José Federico Fanjul<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Presidente Comisión de Relaciones Interinstitucionales e Internacionales de CONFEDI

Decano Facultad de Ingeniería Universidad FASTA

<sup>2</sup>Secretario Comisión de Relaciones Interinstitucionales e Internacionales de CONFEDI

Decano Facultad de Ingeniería UNSTA

La Asociación Iberoamericana de Instituciones de Enseñanza de la Ingeniería (ASIBEI) es una Organización No Gubernamental que reúne a las asociaciones de enseñanza de ingeniería y universidades con carreras de ingeniería de los países de la región y actúa como espacio de discusión académica de temas de interés para la ingeniería iberoamericana. ASIBEI nace en 1997, por motivación del Consejo Federal de Decanos de Ingeniería de la República Argentina, CONFEDI, y la Universidad Politécnica de Madrid. Fueron miembros fundadores de ASIBEI, la Asociación Brasileira de Enseñanza de la Ingeniería - ABENGE, de Brasil, Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería - ACOFI, de Colombia, Asociación de Facultades y Escuelas de Ingeniería - ANFEI, de México, Consejo de Decanos de Facultades de Ingeniería - CONDEFI, de Chile, Consejo Federal de Decanos de Ingeniería - CONFEDI, de Argentina, el Núcleo de Decanos de Ingeniería, de Venezuela, y la Universidad Politécnica de Madrid, de España.

La primera reunión se produjo en el marco del Encuentro Iberoamericano de Directivos de la Enseñanza de la Ingeniería, que se llevó a cabo en Madrid (España), en noviembre de 1997, en la sede del Instituto de Ciencias de la Educación de la Universidad Politécnica de Madrid.



El 6 de diciembre de 1999, en la ciudad de Mar del Plata (Argentina), se realiza la primera

asamblea general de la ASIBEI y se formaliza su primer Comité Ejecutivo.



En el año 2000 se acordó que la ASIBEI tendría su sede en Bogotá (Colombia) y que ACOFI asumiera la secretaría general. Desde el 2005, ASIBEI tiene su estatuto registrado en Colombia.

En el año 2011, en el marco de la reunión plenaria de Lisboa (Portugal), CONDEFI asume la presidencia de ASIBEI para el período 2011-2013. En el mismo acto, CONFEDI es elegido para ocupar la vicepresidencia para ese período, y la presidencia en el período 2013-2015.

El presidente actual de ASIBEI es el Ing. Ramón Blasco, decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Santiago de Chile y presidente de

CONDEFI. El presidente de CONFEDI, Ing. Miguel Angel Sosa ocupa la vicepresidencia de ASIBEI.

En la próxima reunión plenaria, en la ciudad de Viña del Mar, Chile, en noviembre del presente año, CONFEDI asumirá la presidencia de ASIBEI.

Esta presencia activa y sostenida de la Argentina en ASIBEI guarda coherencia con la tradición de participativa de CONFEDI en este y todos los ámbitos asociativos de enseñanza de la ingeniería en el mundo. Además, abona al eje de Internacionalización de la Ingeniería Argentina previsto en el Plan Estratégico de Formación de Ingenieros 2012-2016, que se propone entre sus objetivos específicos "Consolidar y ampliar proyectos de cooperación con países de Latinoamérica" y "Mantener presencia activa en Foros Educativos Internacionales".

En el año 2010, CONFEDI hace su aporte al Congreso Mundial Ingeniería por medio del documento "Formación del ingeniero para el desarrollo sostenible". Allí plantea la necesidad de "Formar ingenieros con perspectiva supranacional-regional" y sostiene que "para contribuir a la solución de muchos de los problemas regionales es menester formar ingenieros en la cantidad requerida, con estándares de calidad internacional y con estrategias curriculares que favorezcan la pertinencia local y regional de sus conocimientos, para contribuir con la urgente tarea de reconocer, identificar y caracterizar las prioridades que permitan diagnosticar, proponer, planear y aportar propuestas sostenibles en la región.

Si bien la región tiene raíces culturales y sociales semejantes, el desarrollo de la educación superior tuvo realidades muy diferentes que obstaculizan la integración.

Para revertir esta situación es necesario desarrollar una fuerte movilidad de docentes y alumnos, tanto de grado como de posgrado, conjuntamente con una continuidad en la acreditación de carreras según los propios criterios y estándares de cada país, propiciando la riqueza de la diversidad y pertinencia en la formación y, por ende, la creación de mecanismos que faciliten este intercambio."

Precisamente, en orden a la consolidación de los proyectos de cooperación con países de Latinoamérica, y previendo la creación de mecanismos que faciliten el intercambio, en el marco de la última reunión plenaria de ASIBEI, realizada en mayo en Venezuela, CONFEDI propone el ACUERDO DE PROMOCIÓN Y FORTALECIMIENTO

DE PROGRAMAS DE INTERCAMBIO Y MOVILIDAD DE DOCENTES, INVESTIGADORES Y ESTUDIANTES DE INGENIERÍA DE IBEROAMÉRICA.

El objeto del acuerdo es, precisamente, la Promoción y Fortalecimiento de los Programas de Intercambio y Movilidad de Docentes, Investigadores y Estudiantes de Ingeniería en la Región Iberoamericana, y fue suscripto por los siguientes miembros de ASIBEI: Asociación Brasileña de Enseñanza de la Ingeniería - ABENGE, de Brasil, Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería - ACOFI, de Colombia, Asociación de Facultades y Escuelas de Ingeniería - ANFEI, de México, Asociación Ecuatoriana de Instituciones de Enseñanza de la Ingeniería - ASECEI, de Ecuador, Consejo de Decanos de Facultades de Ingeniería - CONDEFI, de Chile, Consejo Federal de Decanos de Ingeniería - CONFEDI, de Argentina, Consejo Nacional de Facultades de Ingeniería del Perú - CONAFIP, de Perú, Instituto Politécnico de Setúbal, de Portugal, Instituto Superior de Ingeniería de Lisboa - ISEL, de Portugal, Núcleo de Decanos de Ingeniería, de Venezuela, Universidad Católica de Asunción, de Paraguay, Universidad Católica del Uruguay, Universidad de Castilla La Mancha, de España, Universidad de Costa Rica, Universidad de la República, de Uruguay, Universidad de Montevideo, de Uruguay, Universidad Nacional de Asunción, de Paraguay, Universidad ORT, de Uruguay y la Universidad Politécnica de Madrid, España.

El acuerdo tiene como antecedentes el Documento del Ingeniero Iberoamericano, en el cual se vincula la movilidad con un propósito superior, como es la creación de un espacio común iberoamericano de enseñanza de ingeniería, y la Declaración de Buenos Aires, suscripta en oportunidad de la trigésima primera reunión del Comité Ejecutivo de la ASIBEI en Argentina. Esta declaración propone desarrollar un proyecto encaminado a promover y fortalecer el intercambio y movilidad de profesores y estudiantes, como contribución para la creación de un Espacio Iberoamericano de Educación en Ingeniería a través del cual sean posibles la realización de actividades de investigación, desarrollo y transferencia de conocimientos y experiencias pertinentes con las necesidades de la Región; la articulación de esfuerzos e iniciativas con sectores sociales, estatales y económicos; la promoción de la calidad educativa en todos los niveles y modalidades de formación y la actualización curricular de los programas de formación de ingenieros en

aspectos tales como la responsabilidad social, el compromiso ambiental y el fomento de la cultura emprendedora, con el propósito de alcanzar, entre otros logros, programas de reconocimiento bilateral de títulos y acreditaciones y facilidades para el ejercicio profesional en la Región.

La fundamentación del acuerdo es clara y contundente. La movilidad de estudiantes se constituye como un elemento estratégico por su aporte al objetivo de formar en la región un espacio académico e intercultural común, siendo además un instrumento relevante para el avance y la profundización de las acciones que llevan adelante las Universidades en la cooperación solidaria, el intercambio de saberes y experiencias dentro de los países de la Región Iberoamericana. La movilidad potencia el fortalecimiento institucional, a través de la ampliación de los vínculos internacionales y la creación e institucionalización de redes y alianzas estratégicas en distintas áreas del conocimiento. Por otra parte contribuye a volcar la diversidad cultural, los conocimientos y los aprendizajes en las diferentes sociedades nacionales y en el ámbito local. Asimismo, la presencia en las aulas, de estudiantes de otros países, enriquece notablemente los procesos de enseñanza y aprendizaje, y posiciona a la Universidad en un contexto internacional, habilitando un sinnúmero de posibilidades que incluyen programas específicos de formación, investigaciones conjuntas, actividades de extensión y desarrollo, y diversas opciones académicas. El intercambio de experiencias y conocimientos de docentes e investigadores redundará en la potenciación de las capacidades institucionales y en la búsqueda de alternativas de solución de problemas de interés para los países de la Región en áreas de significativo impacto, tales como las relacionadas con temas de infraestructura, energía, ambiente, seguridad alimentaria, salud, educación e innovación, entre otros, con el propósito de alcanzar un importante desarrollo socioeconómico, científico, tecnológico y cultural, en cada uno de nuestros países.

En cuanto a la instrumentación del Acuerdo, ASIBEI prevé la articulación de Programas Nacionales, Convenios Binacionales/Multinacionales Específicos, Convenios Interinstitucionales Específicos y la publicación de un Registro de Convenios de Intercambio.

Para facilitar la implementación, la ASIBEI ha implementado un Registro de Convenios de Intercambio (RCI), único e informatizado, donde

se pueden inscribir tanto los acuerdos bilaterales suscriptos entre los países como aquellos suscriptos entre unidades académicas de ingeniería de la región. Este registro es público y está disponible para su consulta desde la página web de ASIBEI. El RCI es administrado por la Secretaría Ejecutiva de ASIBEI. Ya está habilitado el registro de las facultades de ingeniería de Argentina que quieren participar de estos acuerdos (quienes estén interesados pueden consultar a la secretaria de CONFEDI, [secretaria@confedi.org.ar](mailto:secretaria@confedi.org.ar)).

El acuerdo, sin dudas, viene a generar el marco oportuno y pertinente para la promoción y fortalecimiento de programas de intercambio y movilidad de docentes, investigadores y estudiantes de ingeniería de Iberoamérica. Se trata de un acuerdo sin precedentes, que permitirá concretar una cuestión de especial significado e importancia para las escuelas de ingeniería: atender los compromisos de la Universidad para con la sociedad, local y regional, formando ingenieros con una perspectiva supranacional-regional. Y como la práctica misma, “en el campo”, es la mejor manera de aprender y formarse integralmente en competencias, los alumnos y docentes de ingeniería de la región latinoamericana podrán, en el marco de este acuerdo, conformar su visión regional y comprensión del mundo por medio del contacto personal con otras culturas y sociedades, intercambiando experiencias y opiniones con compañeros y colegas de otros países, en un espacio de respeto a la diversidad.



## CONFEDI 2013: Un año muy dinámico

Jorge Pilar<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Presidente Comisión de Ciencia y Tecnología del CONFEDI. Decano Facultad de Ingeniería Universidad Nacional del Nordeste

Estamos presentando el segundo número de la RADI, al final de un año en el que el CONFEDI ha continuado desarrollando sus quehaceres habituales y se abocó a encarar otros más .

En la sección “Proyectos de Ingeniería” se hace una extensa presentación del PRECITYE, proyecto que este año finalizará con éxito, pues se alcanzaron todos los objetivos que se plantearon, un trabajo conjunto con asociaciones pares de Brasil, Chile y Uruguay.

A modo de reseña, se presentan algunas de las actividades llevadas a cabo por el CONFEDI, de la que participaron activamente, no sólo su Comité Ejecutivo, sino todos sus socios. Estas actividades tuvieron como marco lo que CONFEDI tiene internalizado que es su responsabilidad social: ser una herramienta para el desarrollo territorial sostenible, además de potenciar las actividades de las unidades académicas que lo integran, interactuando permanentemente con redes de decanos de otras especialidades, organismos nacionales e internacionales, colegios y consejos profesionales de Argentina.

Durante el presente año, el CONFEDI ha organizado y/o participado de una serie de encuentros de perfil académico y científico:

- Reuniones técnicas y talleres de Sistemas Embebidos (SASE).
- Seminario de Control Automático, Robótica y Automatización.
- Primer Taller de Ingeniería Ferroviaria.
- Taller “Química para la paz”.

También, ha tenido presencia institucional activa en ámbitos en los que se debatieron cuestiones referidas a gestión:

- 1ra Reunión del Consejo Consultivo para la Educación Superior en Ingeniería.
- Acto de lanzamiento de las Mesas de

Implementación de los Núcleos Socio Productivos Estratégicos del MINCYT.

- Mesa de implementación del Plan Estratégico Industrial.
- Mesa de implementación de la cadena de valor del Software y Servicios Informáticos del Ministerio de Industria.
- Mesa de implementación de Producción y Procesamiento de Recursos Forestales.
- Mesa de implementación de Logística y Transporte.
- Mesa conjunta de implementación de Sistemas Informáticos y Bienes de Capital.
- Convenios Ministerio de Industria – Ministerio de Educación, para prácticas supervisadas de estudiantes de ingeniería en Pymes, mediante crédito fiscal y Centros de capacitación en parques industriales.
- Reunión con ADIMRA, AACINI y otras similares.
- Reunión con representantes del CUCEN, la SPU, Cancillería y CONFEDI, para la educación y la formación responsable de profesionales relacionados a las ciencias y tecnologías químicas.
- Reunión de ASIBEI (Venezuela)

El listado precedente, que no agotan las actividades que desarrolló el CONFEDI, son una muestra clara de su vocación de presencia permanente en todos los foros en los que se debatan cuestiones que tengan que ver con contribuir al desarrollo sustentable de nuestro país, lo que es parte de la esencia fundacional del CONFEDI y de las Facultades de Ingeniería que participan activamente en él, desde su creación.

Por todo ello, por este presente y por su rica

y fructífera historia, el CONFEDI reafirma su compromiso de continuar su marcha hacia un horizonte que está muy claro: seguir aportando al crecimiento de la Ingeniería nacional, como herramienta eficaz para el progreso de Argentina y su gente, y muy especialmente durante este año 2013, en el que nuestro Consejo cumple sus primeros 25 años de vida.

# CAPÍTULOS Y ARTÍCULOS

## Consideraciones sobre el rol de la bioética en la formación de ingenieros

Jorge N. Cornejo<sup>1</sup>

### Resumen

En el presente trabajo analizamos el rol de la bioética en la formación integral de los estudiantes de ingeniería. Siendo la ingeniería una disciplina de alto impacto social, y vinculándose cada vez más con problemas que atañen directamente al cuerpo y la salud humanos, postulamos la necesidad de un diálogo fluido entre la ingeniería y la biología. Efectuamos un recuento de las publicaciones sobre educación en bioingeniería realizadas en nuestro país en los últimos años, y destacamos la casi total ausencia de trabajos sobre bioética aplicada a la ingeniería. Concluimos que el rol integrador de la Universidad la presenta como el ámbito privilegiado para el diálogo multidisciplinario entre ingenieros, biólogos e investigadores en bioética.

**Palabras clave:** ingeniería, sociedad, biología, bioética, formación integral.

### Abstract

In this paper we analyze the role of bioethics in the overall education of engineering students. As engineering is a discipline of high social impact, and increasingly linked with problems pertaining directly to the human body and health, we postulate the need for an ongoing dialogue between engineering and biology. We conduct a count of publications on education in bioengineering made in our country in recent years, and we highlighted the almost total absence of papers on bioethics applied to engineering. We conclude that your integrative role present the University as the privileged scope for multidisciplinary dialogue between engineers, biologists and researchers in bioethics.

**Keywords:** engineering, society, biology, bioethics, integral training.

### Ingeniería, ética y sociedad

Los desarrollos tecnocientíficos, especialmente los de las últimas décadas, dan la idea de que el mundo que nos rodea, e incluso nuestros propios cuerpos, son radicalmente transformables.

<sup>1</sup> Gabinete de Desarrollo de Metodologías de la Enseñanza. Facultad de Ingeniería. Universidad de Buenos Aires. **Email:** jcornej@fi.uba.ar

Los avances tecnológicos han incidido sobre las concepciones sociales acerca del cuerpo humano, acerca de lo natural y lo artificial, y han presentado al hecho biológico como algo maleable, modificable, como una materia prima que la acción humana puede mejorar. La ingeniería se presenta, entonces, como una alternativa para rehacer la vida, para modificarlo todo en nuestro provecho, conduciendo a un replanteamiento acerca de las concepciones clásicas sobre salud y enfermedad, y aún sobre los fines mismos de la medicina.

Ahora bien, ¿qué es la ingeniería? Soberón Kuri y Neri Vela [1] la caracterizan como el arte de tomar decisiones importantes, dado un conjunto de datos incompletos e inexactos, con el fin de obtener, para un cierto problema, aquella entre las posibles soluciones que funcione de manera más satisfactoria. Para Sobrevila [2] y Pitt [3], una solución tal debe incluir no sólo la máxima eficiencia y rentabilidad, sino también el empleo racional de las fuentes de energía, el bien común y la preservación de la biósfera, procurando que la ingeniería así concebida se desarrolle dentro de normas éticas que comporten una actitud de responsabilidad social. La cuestión ética forma siempre una parte inseparable de cualquier proceso de toma de decisiones, hecho que se acentúa cuando tales decisiones pueden afectar al ser humano y sus condiciones de vida.

Por ello, es intrínseco a la tecnología hallarse inmersa en un espacio socio-cultural, atravesado por la ética [4]. Y viceversa, tanto la manera de hacer las cosas (la techné), como la manera de explicarnos por qué hacemos las cosas como las hacemos (la epistemé) son creadoras y

constructoras de cultura [5], de donde las transformaciones tecnocientíficas también implican transformaciones culturales y simbólicas. La tecnología es una de las maneras en las que el ser humano puede trascender, y la tecnociencia contemporánea se ha caracterizado por modificar o desbordar las representaciones culturales en las que se hallaba inmersa y que la regulaban.

Si bien la tecnología es un hecho de naturaleza intrínsecamente social, desde el punto de vista educativo, es decir, desde la formación de aquellos que en un futuro relativamente cercano serán los profesionales de la ingeniería, no siempre se enfatiza tal carácter, que necesariamente estará acompañado de un sentido y un compromiso éticos. Recuperar, desde el inicio mismo de los estudios, esta impronta ético-social requiere, en primer lugar, una adecuada conceptualización de la naturaleza de la tecnología, que supere tanto las concepciones ingenuas de neutralidad y racionalidad instrumental como aquellas que la transforman exclusivamente en una entidad dependiente de la ideología económica imperante en cada época [6]. Se trata de presentar a la tecnología como una entidad compleja, inmersa en una red dinámica en la que interactúan intereses científicos, opciones políticas, necesidades sociales, deseos y aspiraciones del ser humano, etc. Este carácter multidisciplinario y complejo implica la necesidad de una correspondiente formación por parte de los futuros ingenieros, puesto que el logro de un desarrollo tecnológico sostenible reconoce como condición necesaria el conocimiento de los principios en que se fundamenta y se sostiene dicho desarrollo [7].

Covarrubias [7] y Soberón Kuri y Neri Vela [1] agregan que la consideración de los aspectos ético-sociales implica que la formación de los ingenieros debería concebirse en términos de una capacitación profesional abarcadora, para que puedan diseñar, construir y operar las obras y los sistemas tecnológicos con una visión integradora y multidisciplinaria (el concepto de “universitario múltiple”, [8]). El Consejo Federal de Decanos de Ingeniería ([9] y [10]), coincidiendo con la American Society for Engineering Education [11], recomienda que los futuros ingenieros logren proyectar y diseñar sistemas que tengan en cuenta los factores económicos, ambientales, de seguridad, de estética y de impacto social. Sintetizando las ideas referidas, Santilli y Speltini [12], afirman que la formación de ingenieros presenta una dicotomía entre el dominio de la racionalidad técnica y la consideración de cuestiones éticas y sociales que siempre

están presentes, y que se vuelven fundamentales al desarrollar ingeniería asociada a temáticas médicas.

### La importancia de la bioingeniería

En particular, Santilli et al [13], plantean que, en el contexto de una educación tecnológica que promueva valores tales como la ética y la responsabilidad social, la bioingeniería es una disciplina esencial, por su directa relación con la calidad de vida de los seres humanos. De acuerdo con [14] el desarrollo y los avances de la tecnociencia requieren nuevos “ingenieros biológicos” que desarrollen a través del conocimiento interdisciplinario destrezas en las ciencias biológicas, químicas y computacionales. El mismo trabajo resalta el vacío comunicacional existente entre la ingeniería y la biología, dos áreas consideradas claves para el desarrollo de una industria sostenible.

Como un ejemplo concreto, mencionemos el proyecto Brain Research Through Advancing Innovative Neurotechnologies (“Investigaciones sobre el cerebro por medio de neurotecnologías avanzadas innovadoras”, conocido como el proyecto “BRAIN”), lanzado en 2013 por el Gobierno de los Estados Unidos de Norte América, destinado a realizar un “mapeo” exhaustivo de los circuitos cerebrales mientras están en acción. Este proyecto requerirá vastos estudios, avances y desarrollos no sólo en neurología, sino también, y fundamentalmente, en matemática e informática, junto al desarrollo de gran número de nuevas tecnologías, el que deberá ser conducido por ingenieros con alguna formación biológica. El mismo proyecto, poco tiempo después de haber sido comunicado públicamente, ha generado debates entre aquellos que, con formación ingenieril, sostienen que lo prioritario es el desarrollo de tecnologías, y quienes, fundamentalmente con formación en biología y neurología, afirman que primero es necesario generar nuevos conceptos en tales disciplinas, y luego desarrollar las tecnologías necesarias para contrastarlos.

La ciencia biomédica depende cada vez más de la informática y de los procesos de digitalización, tanto en lo relativo al diagnóstico por imágenes, refinado continuamente, como al estudio del ritmo cardíaco, las ondas cerebrales, etc.; en un proceso que ha sido caracterizado como la “matematización del cuerpo humano”.

Para [14] el entendimiento profundo y detallado de los sistemas biológicos (biology systems) requiere no sólo efectuar una “lista” de las partes

que los componen, sino fundamentalmente integrarlas y así acceder a una visión de conjunto(1). Agregan que tal visión sistémica requiere el desarrollo de nuevas herramientas tecnológicas, acentuando de esta forma la importancia de los ingenieros en la biología contemporánea. Herramientas que se están tornando cada vez más cuantitativas, llevando las investigaciones biológicas hacia escenarios provenientes de disciplinas científicas diferentes. Siempre según [14], la dificultad que, en América Latina, han encontrado las investigaciones biológicas para acceder al nivel industrial, proviene de que el desarrollo de la biología se ha efectuado como un área independiente y separada de las demás ciencias y de la tecnología. Por ello, proponen modificar el paradigma actual e iniciar un proceso integrador entre las facultades que se ocupan de la vida y aquellas que hacen lo propio con la ingeniería.

### La Bioética

Lo precedente pone de manifiesto la necesidad de un diálogo entre la ingeniería y la biología y, asimismo, los problemas que tal diálogo puede evidenciar, y su ausencia provocar. El diálogo ingeniería-biología nos conduce necesariamente hacia la bioética.

En efecto, algunas ramas de la bioingeniería, típicamente la nanotecnología, plantean importantes cuestiones de naturaleza bioética y, por lo tanto, sería deseable que la formación del ingeniero incluyese nociones de esta última disciplina. Hottois [15] establece la bioética como una ética paradigmática de la tecnociencia, siendo sus principales misiones responder a las expectativas sociales y servir como elemento transformador de los estudiantes y de la sociedad. La bioingeniería es una rama de la actividad tecnológica de carácter esencialmente multidisciplinario [16], alimentada, entre otras, por las ingenierías eléctrica y electrónica [17], de donde la cuestión bioética finalmente se “derrama” en todas las especialidades de la ingeniería.

La importancia de la bioética en la formación del ingeniero no puede ser minimizada. Esta disciplina tiene en cuenta no sólo los derechos del paciente o el bienestar de los seres humanos y de la vida en general, sino también la evaluación de las tecnologías y el control de calidad de los equipos utilizados en medicina. Sánchez [18], analizando las estadísticas de accidentes fatales derivados del mal funcionamiento de equipos

médicos, concluye que:

- a) es necesario un mayor número de ingenieros capacitados en problemáticas de tipo médico y
- b) tales ingenieros deben recibir una amplia capacitación en cuestiones de bioética, relaciones humanas y vinculación con el paciente.

Según Carrera [19], la aplicación consecuente del principio bioético de justicia puede suscitar problemas éticos que están en relación directa con los adelantos tecnológicos utilizados en procedimientos diagnósticos o terapéuticos.

Boccardo [20] ha concluido que, en América Latina, la educación en bioética se encuentra concentrada en la formación de profesionales relacionados con el área de la salud. Por esta razón es que las principales instituciones de bioética se encuentran en las Facultades de Medicina. Existe un vacío en la enseñanza de la bioética para estudiantes de otras carreras, de donde concluye que es importante la formulación de proyectos de formación bioética para alumnos de las Facultades de Ingeniería. Barrero et al [21] y Neuman y Kim [22] sostienen la misma idea afirmando que muchos de los problemas derivados de la aplicación de las nuevas tecnologías exceden la ética específicamente médica. Para Carrera [19] la bioética se basa no sólo en cuestiones morales relativas al ámbito de la medicina, sino que, siendo básicamente interdisciplinaria, reúne conocimientos antropológicos, saberes técnicos de las distintas ramas de la ingeniería, y éticos para elaborar sus decisiones. Santilli et al [13] afirman que es la tecnología la que pone de manifiesto tal carácter interdisciplinario, de donde se deduce la necesidad de una intensa comunicación entre profesionales de la ingeniería y de las ciencias biomédicas. Digilio [23] dice que la bioética, como disciplina, no sólo implica un cambio fundamental en las concepciones hegemónicas de salud, enfermedad, relación médico-paciente, derechos del paciente, etc., sino que la perspectiva bioética habilita una vía para introducir variables en la evaluación de los procedimientos científico-técnicos que vayan más allá de considerar sólo su eficacia y eficiencia. Según Obando [24], debe quedar claro que la bioética no está reducida al horizonte de la medicina, o de cualquier otra ciencia o praxis en particular. Develaki [25] y Piedra [26] manifiestan

que se debe proponer el estudio de la bioética en su carácter de puente entre las ciencias, la tecnología y las humanidades.

Para Allegro [27] y Obando [24], es imperativo que la formación universitaria incluya en su contexto curricular la formación en valores, a los efectos de generar una cultura de respeto por la vida que influirá en todos los escenarios de actuación del ser humano. Para estos autores, dado que los modelos pedagógicos no son neutrales, sino que parten de una determinada visión del mundo, y promueven la construcción de actitudes específicas ante la realidad, se vuelve necesario el análisis de los currículos, tanto reales como ocultos, así como de las posturas, opiniones e ideas que docentes y estudiantes sostienen acerca de aquellos aspectos que permiten formar no sólo profesionales exitosos, sino también ciudadanos comprometidos con el bienestar del ambiente y de la sociedad. Según Del Cueto [28], tal reflexión debe centrarse en la relación existente entre el progreso tecnocientífico, los valores y derechos humanos y los objetivos de la sociedad; de donde la bioética se impone como una disciplina nuclear tanto para la educación en sí misma como para la investigación educativa.

Vidal [29] dice que la educación en bioética puede adquirir tres modalidades: institucional, normativa y espontánea, siendo esta última la que predomina en América Latina. Tal modalidad es característica de grupos que se autoconstituyen en un hospital o en una unidad académica y comienzan a trabajar para posteriormente interactuar con estructuras mayores. Agrega que es necesario innovar las mallas curriculares, incorporando la enseñanza de la bioética en forma institucional.

Desde distintas posturas se han elaborado propuestas para la enseñanza de la bioética en la universidad. De Siqueira [30] propone el método problematizador-deliberativo, planteando preguntas en las que se toma en cuenta el contexto cultural que enmarca cada problema bioético. Este método no intenta adoctrinar, sino discutir y debatir problemas, buscando una educación basada en el cambio de actitud. Intenta crear procesos educativos que tengan como meta fomentar el espíritu crítico y transformador del educando, propiciar su autonomía y ampliar su sentido de responsabilidad en el quehacer tecnocientífico.

Otros autores han trabajado en la enseñanza de la bioética para ingenieros a través de la presentación de casos históricos [31], que permiten,

además de la discusión de problemas específicos, acceder a una adecuada conceptualización de la naturaleza de la ciencia y de la tecnología ([13] y [32]).

### La presencia de la bioética en la investigación en educación en ingeniería

Asmatulu et al [33], en un análisis acerca del rol de la biotecnología y la bioética en la formación de los ingenieros, afirman que el número de revistas y proceedings de congresos publicados sobre bioética se incrementa año tras año.

Por el contrario, si nos referimos específicamente a la Argentina, debemos reconocer que la presencia de la bioética en las publicaciones sobre investigación educativa en ingeniería es muy baja. Al respecto, hemos efectuado una revisión en las principales instancias sobre enseñanza de la ingeniería que pueden encontrarse en la Argentina. Las mismas comprenden el Congreso Mundial de Ingeniería 2010, los Congresos Argentinos sobre Enseñanza de la Ingeniería (CAEDI), 2006 y 2008 (2); la Revista Argentina de Enseñanza de la Ingeniería, y la Revista Argentina de la Ingeniería, esta última en su primer número (3).

- En el Congreso Argentino de Educación en Ingeniería (CAEDI) 2006: sobre un total de 151 ponencias, ningún trabajo sobre el tema.
- En el CAEDI 2008: sobre 188 trabajos, hay 5 sobre bioingeniería, que refieren a cuestiones técnicas de la disciplina o a problemáticas educativas de la misma, pero ninguno menciona explícitamente la bioética.
- En el Congreso Mundial de Ingeniería 2010: sobre 352 trabajos, hay sólo dos vinculados con bioingeniería, de los cuales uno refiere a la bioética.
- En la Revista Argentina de Enseñanza de la Ingeniería, desde septiembre de 2000 hasta julio de 2010 no hay ningún trabajo sobre el tema. El primero es de marzo de 2012, referido a la enseñanza de la matemática en bioingeniería, al que siguió otro en marzo de 2013, acerca de la enseñanza de la mecánica en la referida disciplina.
- En la Revista Argentina de Ingeniería, que acaba de publicar el primer número, hay un apartado fijo para bioingeniería, y contiene

(en este primer número), 1 artículo técnico sobre el tema, que no menciona la bioética.

### Reflexiones finales

Según [14], la Universidad debe fomentar la concepción innovadora de una educación abierta e interdisciplinaria, en la cual el proceso pedagógico tenga como eje central los sujetos que se comunican y dialogan en torno a sus síntesis sobre el saber acumulado. En el mismo trabajo, como ejemplo de esta inevitable interdisciplinaria, se señala que la biotecnología contemporánea está planteando retos a la ingeniería, consistentes en el desarrollo de artefactos tecnológicos de envergadura que sirvan a la investigación biotecnológica, y que tales artefactos habrán de plantear dilemas bioéticos que será necesario resolver.

Para Hottois [34], la medicina ha experimentado una profunda mutación, especialmente a partir de la segunda mitad del siglo XX, volviéndose cada vez más experimental, activa e intervencionista. En palabras del autor referido: “la biomedicina se convirtió en el siglo XX en una de las tecnociencias más ‘armadas’ tecnológicamente y cada vez más asociadas a otras ‘tecnociencias’”. Este desarrollo de la “tecnobiomedicina” ha tornado cada vez más difícil para el médico enfrentarse solo a los problemas bioéticos que plantea, pues los mismos están estrechamente imbricados con cuestiones tecnológicas más afines a la formación de un ingeniero.

De acuerdo con Adinolfi [35], la enseñanza de la bioética puede representar una gran contribución para los profesionales formados en ámbitos distintos a los de la profesión médica, particularmente los ingenieros, mientras que para [33] el entrenamiento de estudiantes y graduados de ciencias exactas e ingeniería es uno de los recursos que posee la bioética contemporánea para plantear, discutir y finalmente resolver los problemas que le son propios. La introducción de la visión tecnológica puede abrir mayores horizontes de comprensión acerca de las cuestiones que interesan a la bioética. Se trata, por lo tanto, de una relación bi-direccional de enriquecimiento mutuo.

En [33] se agrega que, si bien la biotecnología ha crecido muy rápidamente en las dos últimas décadas, la educación no ha progresado con igual velocidad. Citando textualmente: “...technical training is not sufficient for individual working in the field; parallel training, which will be useful

for societal and ethical implications of the technology, is required” (“la formación técnica no es suficiente para las personas que trabajan en este campo; se requiere una formación paralela, referida a las implicaciones éticas y sociales de la tecnología”).

Para [36] las Facultades de Ingeniería deberían re-examinar sus programas de acuerdo con los criterios internacionales de acreditación, agregando que tal proceso requiere la incorporación del estudio de la ética en línea con la comprensión del impacto social y ambiental de las decisiones tomadas por los ingenieros. El mismo trabajo indica que el US Accreditation Board for Engineering and Technology (ABET) señala que los programas de ingeniería deben demostrar que sus estudiantes adquieren una comprensión profunda de sus responsabilidades éticas. Específicamente, para el caso de los estudios de Ingeniería Biomédica, el ABET requiere explícitamente que los graduados demuestren, entre otras calificaciones, habilidad para comprender los dilemas éticos asociados a la interacción entre sistemas materiales vivientes y no-vivientes. Desde nuestro punto de vista, las consecuencias éticas de tal interacción son relevantes no sólo para la ingeniería biomédica, puesto que el grado de interdisciplinaria alcanzado en el presente implica que todas las ramas de la ingeniería, de una forma u otra, se encuentran concernidas con tal interacción. Una postura similar se expresa en [37], donde, para explicar el retraso experimentado en América Latina en materia de desarrollo de tecnología cardiovascular, se menciona, entre otros factores, la poca flexibilidad de los programas académicos y la dificultad de incorporar nuevos sistemas de estudios, que contemplen los abordajes interdisciplinarios, dentro de un contexto tradicional.

En [14] se destaca “la función integradora de la Universidad”, concebida como el escenario natural de encuentro entre diferentes formas de conocimiento, en el que pueden alcanzar su comunión los saberes científicos, tecnológicos y humanísticos integrados.

Ahora bien, es habitual señalar la actual necesidad de diálogo entre la medicina y la ingeniería, junto a la conformación de un vocabulario unificado y un conjunto de conceptos comunes. Por ejemplo, refiriéndose a la tecnología cardiovascular, en [37] se destaca la necesidad de que los médicos cardiólogos comprendan el lenguaje matemático empleado en la descripción de sistemas biológicos, así como las nociones básicas de

física y de ingeniería; mientras que sugieren que los ingenieros deberían ser introducidos en las ideas biológicas básicas, así como en conceptos de morfología y fisiología humanas. Todo esto está claro y esta formación médica-ingenieril es altamente deseable; sin embargo, surge con claridad que, en la formación propuesta para el ingeniero, está faltando la bioética.

Entre los problemas de actualidad que asocian la ingeniería con la bioética pueden mencionarse:

- a) los efectos orgánicos de los nanomateriales [33], considerados como fundamentales para generar una nueva definición del concepto de cuerpo humano, sometido a lo que se califica como la re-ingeniería del cuerpo,
- b) las implicaciones bioéticas de los nuevos dispositivos tecnológicos utilizados en medicina, incluyendo sensores, informática médica, técnicas invasivas de diagnóstico por imágenes, etc. [36],
- c) especialmente, la problemática ética asociada con las nuevas tecnologías cardiovasculares, que han experimentado en las últimas décadas un gran desarrollo. Según [36] esta es el área en la que la medicina y la ingeniería han encontrado una vinculación más estrecha.
- d) en línea con el tema precedente, el conflicto entre costo y rendimiento de los nuevos equipos tecnológicos empleados médicamente [36],
- e) utilización de prótesis y biomateriales [36],
- f) la modificación en la visión del cuerpo, y en el concepto mismo de privacidad, generada por la cibermedicina o computación clínica, que permite que gran parte del personal de una institución tenga acceso a los estudios diagnósticos practicados a un paciente [38].
- g) la problemática planteada por la concepción cibernética, según la cual la mente, el cuerpo y los dispositivos automáticos pueden reducirse a un denominador común de control y comunicación [39].

En [37] se indica que es difícil seleccionar cuáles podrían ser los tópicos específicos a ser incluidos en un curso de bioética para ingenieros, por lo que sugieren desarrollar un curso integral de ética, incluido en la currícula de ingeniería. Los

mismos autores afirman que, quien reacciona en forma dogmática ante los dilemas bioéticos, tarde o temprano terminará dependiendo de las decisiones éticas de otros. Para evitarlo, proponen incluir en el referido curso de ética principios de meta-ética, consistentes en el análisis mismo de la ética como disciplina.

Tal como mencionamos previamente, son varios los autores que han propuesto una enseñanza de la bioética para ingenieros centrada en el estudio de casos. Entre los casos que podrían tomarse cabe mencionar: el problema suscitado hacia 1986 con la válvula cardíaca Bjork-Shiley; las sobredosis de radiación recibidas entre 1985 y 1987 por pacientes de radioterapia en Canadá, consecuencia de fallas en el software del acelerador lineal Therac-25; los casos de fibroplasia retrolental (ceguera infantil) acaecidos como resultado de una sobreconcentración de oxígeno en las incubadoras, etc.

En [36] se propone presentar cada caso como un desafío de ingeniería; los estudiantes analizan el caso y la bibliografía disponible y sugieren alguna solución disponible; en la puesta en común se resaltan las implicaciones éticas de cada solución propuesta.

Nos parece pertinente cerrar este trabajo con una cita de [36], en la que BM significa “ingeniería biomédica” y BME “ingeniero biomédico”:

“BM engineering consolidates the concept of modern engineering which must take into account the social, economical and political context of professional practice. Engineers currently engage in a wider range of activities, and BME, far from the exemption, stand as a clear and almost unique example of strong multidisciplinary integration”.

“La ingeniería biomédica consolida el concepto de la ingeniería moderna, la que debe tener en cuenta el contexto social, económico y político de la práctica profesional. Los ingenieros actualmente participan en una amplia gama de actividades, y los ingenieros biomédicos, lejos de ser la excepción, se destacan como un ejemplo claro y casi único de fuerte integración multidisciplinaria”.

## Notas

- <sup>1</sup> Como un hecho notable digamos que esta concepción se encuentra presente en el texto “Fisiología Humana” del Dr. Bernardo Houssay, una síntesis del cual fue utilizada en las conferencias de fisiología para ingenieros

dictadas en la Facultad de Medicina de la Universidad de Buenos Aires en 1969. Citando textualmente: "La fisiología examina primero, analíticamente, los fenómenos propios de cada función u órgano; después estudia las correlaciones entre estos fenómenos y luego tiene en cuenta los factores que regulan los equilibrios funcionales, para terminar, finalmente, por considerar la integración de cada función dentro de las del organismo entero considerado como unidad" [40].

- <sup>2</sup> El Congreso Mundial de Ingeniería 2010 incluyó al CAEDI 2010.
- <sup>3</sup> Nos hemos concentrado sólo en aquellos trabajos que implican aplicaciones de la bioingeniería a la salud humana en general o a problemáticas relacionadas con la medicina, dejando de lado otro tipo de aplicaciones, por ejemplo las referidas a Ingeniería Ambiental o los desarrollos tecnológicos vinculados con la agricultura.

## Bibliografía

- [1] SOBERÓN KURI, Ramón y NERI VELA, Rodolfo (1980). El ingeniero en electricidad y electrónica: ¿qué hace?, Alhambra Mexicana, México.
- [2] SOBREVILA, Marcelo. (2000). La formación del ingeniero profesional para el tiempo actual: tesis de las ingenierías de base. Academia Nacional de Educación, Buenos Aires.
- [3] PITT, Joseph (2000). Thinking About Technology, Foundations of the Philosophy of Technology. Seven Bridge Press, New York.
- [4] OLIVÉ, León. (2007). La ciencia y la tecnología en la sociedad del conocimiento. Fondo de Cultura Económica, México.
- [5] VILLAVECES CARDOSO, José Luis (2005). Tecnología y Sociedad: un Contrapunto Armónico, Revista de Estudios Sociales, N° 22: 49-57.
- [6] ZUBERO, Imanol (1996). Participación y democracia ante las nuevas tecnologías. Retos políticos de la sociedad de la información, Telos, N° 25: 26-35.
- [7] COVARRUBIAS, José (1998), Tres documentos sobre la formación de ingenieros, Ingenierías, 1 (1): 5-9.
- [8] MÉNDEZ, Evaristo (2008). Nuevo modelo de organización de la educación superior para América Latina y el Caribe. Revista Orbis, 10 (4): 5-28.
- [9] CONFEDI (2010). Formación del ingeniero para el desarrollo sostenible. Aportes de CONFEDI al Congreso Mundial de Ingeniería 2010. Publicado online en: [www.fi.unsj.edu.ar/confed](http://www.fi.unsj.edu.ar/confed). Acceso: 26 de noviembre de 2010.
- [10] CONFEDI (2001). Informe de sesión plenaria N° XXIX, Resistencia, Chaco. Publicado online en: [http://www.unalmed.edu.co/fisica/paginas/autoevaluación/documentos/ingeniería\\_argentina/definición\\_ingeniería.doc](http://www.unalmed.edu.co/fisica/paginas/autoevaluación/documentos/ingeniería_argentina/definición_ingeniería.doc). Acceso: 3 de mayo de 2008.
- [11] GRINTER, L. (1994). Summary of the Report on Evaluation of Engineering Education, 1955. Journal of Engineering Education, January: 74-94.
- [12] SANTILLI, Haydée y SPELTINI, Cristina. (2008). Profesionales comprometidos con su entorno. Cuestiones epistemológicas y sociales en Ingeniería. En: VI CAEDI: Formando al ingeniero del siglo XXI, Editorial de la Universidad Nacional de Salta, Salta.
- [13] SANTILLI, Haydée; MARTÍN, Ana María; BARRERO, Carmen; ROBLE, María Beatriz y CORNEJO, Jorge Norberto (2010). Cómo introducir cuestiones bioéticas en la formación de los ingenieros, ponencia presentada en las VIII Jornadas de Bioética, Facultad de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales, Universidad Nacional de Río Cuarto, publicado online en: <http://www.exa.unrc.edu.ar/>, p. 106-115. Acceso: 8 de agosto de 2011.
- [14] MONTOYA, Dolly (2007). Nuevas necesidades en ingeniería para el desarrollo de la biotecnología, Revista Colombiana de Biotecnología, IX (2): 64-71.
- [15] HOTTOIS, Gilbert. (2006). Panorama crítico de las éticas del mundo viviente. Revista colombiana de bioética, 1, s/n, publicado online en <http://www.redalyc.org/rie>. Acceso: 11 de agosto de 2011.
- [16] DREMSTRUP, Kim y ELBERG, Pia (2008). Five Year Biomedical Engineering Curriculum – Experiences and Results from the First Eight Years. NBC 2008 Proceedings, 20: 409-412.
- [17] PINEDA, Margarita y GONZÁLEZ, Karolina (2010). Reflexiones sobre Bioética e Ingeniería Biomédica. Revista Latinoamericana de Bioética, 10 (2): 10-19.
- [18] SÁNCHEZ, Gustavo (2009). Accidentes fatales en radioterapia. Ponencia presentada en las 4° Jornadas de Protección Radiológica del Paciente, Buenos Aires, 2009.

- [19] CARRERA, Osvaldo (2011). La Bioética y las Biotecnologías en Medicina. Publicado online en: <http://www.unesco.org.uy/shs/fileadmin/templates/shs/archivos/TrabajosLibres-Bioetica/22.%20La%20bioetica%20y%20las%20biotecnologias.pdf>. Acceso: 3 de agosto de 2011.
- [20] BOCCARDO, Pedro (2009). Formación en bioética para estudiantes universitarios de Ingenierías y Ciencias de la Vida. *Revista Electrónica de Educación, Didáctica y Formación de Profesores*, 2(1): 38-59.
- [21] BARRERO, Carmen, SANTILLI, Haydée y MARTÍN, Ana María (2011). Antropología de la biomedicina, la ciencia y la tecnología. Intersección entre ciencia, tecnología y biomedicina. Ponencia presentada en el Congreso de Antropología Social, Buenos Aires, 2011.
- [22] NEUMAN, M. y KIM, Y. (2006). The Undergraduate Biomedical Engineering Curriculum: Devices and Instruments. *Annals of Biomedical Engineering*, 34 (2): 226-231.
- [23] DIGILIO, Patricia (2008). Comités hospitalarios de bioética y políticas públicas. Capítulo 8 de *Ética y gestión de la investigación biomédica*, S. Rivera (comp.), Paidós, Buenos Aires.
- [24] OBANDO, Dixa (2010). La Bioética en el sector de la educación superior. *Revista Electrónica Facultad de Ingeniería*, 4(2): 248-260.
- [25] DEVELAKI, María (2008). Social and ethical dimension of the natural sciences, complex problems of the age, interdisciplinarity and the contribution of education. *Science and Education*, 17: 873-888.
- [26] PIEDRA, Daniel (2007). Bioética Norte y Sur. Publicado online en: <http://www.uvs.sid.cu/humanidades/pionearticlemultipage.2006-07-21.6790061043>. Acceso: 4 de agosto de 2011.
- [27] ALLEGRO, Luis (2001). Ética y educación. *Sociedad de ética en medicina*, 3 (4), 1-10.
- [28] DEL CUETO, A. (2003). Del profesor de física en la formación Bioética de los estudiantes en las ciencias de la vida. *Boletín Academia*, 3 (1): 66-68.
- [29] VIDAL, S. (2007). Aspectos éticos de la investigación en seres humanos. Publicado online en: [www.redbioetica-edu.com.ar](http://www.redbioetica-edu.com.ar). Acceso: 4 de agosto de 2011.
- [30] DE SIQUEIRA, José. (2006). Modelos de educación en Bioética. Publicado online en: [www.redbioetica-edu.com.ar](http://www.redbioetica-edu.com.ar). Acceso: 10 de agosto de 2010.
- [31] ADÚRIZ-BRAVO, Agustín e IZQUIERDO, Mercé (2009). A Research-Informed Instructional Unit to Teach the Nature of Science to Pre-Service Science Teachers. *Science and Education*, 17: 1177-1192.
- [32] CORNEJO, Jorge; SANTILLI, Haydée; ROBLE, María Beatriz; MARTÍN, Ana María; BARRERO, Carmen y BARBIRIC, Doris (2010). Las cuestiones éticas y sociales en la formación del Ingeniero – tres estudios de caso en Bioingeniería. Ponencia presentada en el Congreso Mundial de Ingeniería, Buenos Aires, 2010.
- [33] ASMATULU, R.; KHAN, W.S.; ASMATULU, E. y CEYLAN, M. (2010). Biotechnology and Bioethics in Engineering Education. *Proceedings de la 2010 Midwest Section Conference of the American Society for Engineering Education*, Lawrence, 2010.
- [34] HOTTOIS, Gilbert (2001). ¿Biomedicina o biotecnología aplicada al hombre? En: *Bioética y conflicto armado*, Bios y Ethos N° 19, Universidad El Bosque, Bogotá, Colombia.
- [35] ADINOLFI, Valeria (2013). Bioethics Teaching: Beyond Health. Publicado online en: [http://www.academia.edu/480879/Bioethics\\_Ethics\\_and\\_Engineering\\_BIOETHICS\\_TEACHING\\_BEYOND\\_HEALTH](http://www.academia.edu/480879/Bioethics_Ethics_and_Engineering_BIOETHICS_TEACHING_BEYOND_HEALTH).
- [36] MONZON, Jorge y MONZON-WYNGAARD, Álvaro (2009). Ethics and Biomedical Engineering education: the continual defiance. Ponencia presentada en la 31st Annual Conference of the IEEE EMBS, Minnesota, 2009
- [37] BUSTAMANTE, John (2003). Una aproximación a la tecnología cardiovascular a través de la interdisciplinariedad: una necesidad latinoamericana. *Acta Científica Venezolana*, 54: 12-17.
- [38] TRIANA, Jaime (2008). Cuerpo humano y nuevas tecnologías. *Revista Colombiana de Bioética*, 3 (2): 103-113.
- [39] TRIANA, Jaime (2008). Bioética, cuerpo humano, biotecnología y medicina del deseo. *Revista Colombiana de Bioética*, 3 (2): 33- 51.
- [40] HOUSSAY, Bernardo (1945). *Fisiología humana*. El Ateneo, Buenos Aires.

# OBSERVATORIO PRODUCTIVO: Red virtuosa entre Universidad, Empresa y Estado, para el desarrollo productivo

## Resumen

Se considera a las instituciones educativas de nivel superior como una pieza clave en el entorno de la globalización y de la sociedad del conocimiento.

Esto exige a las naciones y en especial a las distintas regiones a contar con una adecuada formación de profesionales e investigación científica y humanística, de modo de poder orientar procesos de modernización, innovación y proyección cultural, que actúen de pilares en la construcción de proyectos de desarrollo con la capacidad de afrontar los retos del presente y futuro inmediato.

El fortalecimiento del vínculo entre instituciones educativas, empresas y gobierno resulta de suma importancia en el logro de dicho objetivo.

**Palabras Clave:** Vínculo, Conocimiento, Instituciones.

## Abstract

Higher educational institutions are considered as a key element in the globalization environment and in the knowledge society.

This requires to the nations, and especially the different regions to have an adequate professional training and scientific and humanistic research, so as to guide the processes of modernization, innovation and cultural influence to act as pillars in the construction of development projects with the ability to face the present and near future challenges.

Strengthening the link between educational institutions, business and government is extremely important in achieving that objective.

**Keywords:** Connection, knowledge, institutions.

## 2. Introducción

Se trata de un proyecto integrador que es liderado por la Facultad Regional Avellaneda, donde además participan las Facultades Regionales: Concepción del Uruguay, Delta, Mendoza, Rosario, Resistencia, San Rafael, Villa María y el Rectorado de la UTN.

El desarrollo del proyecto integrador se sustenta, por medio del relevamiento de datos a través de encuestas en determinados sectores industriales del país, pretendiendo servir de insumo para un futuro Observatorio de Desarrollo Productivo.

Los productos del proyecto pueden resultar una importante fuente de análisis para mantener actua-

Giménez, Lucas Gabriel<sup>1</sup>; García, Adriana Beatriz<sup>2</sup>; Garaventa; Luis Alberto<sup>3</sup>; Rapp, Carlos Eugenio<sup>4</sup>; Vela, Julián Edgardo<sup>5</sup>; Palumbo, Demian Daniel<sup>6</sup>; Giménez, Matías Francisco<sup>7</sup>

<sup>1</sup> Magister en Ingeniería en Calidad/Secretario de Ciencia, Tecnología y Posgrado/Director del Proyecto/ Universidad Tecnología Nacional Facultad Regional Avellaneda/ Ramón Franco 5050 (1874). Villa Dominico - 4353-0220/ lgimenez@fra.utn.edu.ar. <sup>2</sup> Magister en Docencia Universitaria/ Codirectora del Proyecto. <sup>3</sup> Licenciado en Educación/ Codirector del Proyecto/ Universidad Tecnología Nacional Facultad Regional Avellaneda. <sup>4</sup> Ingeniero Metalúrgico/ Coordinador Regional/ Universidad Tecnología Nacional Facultad Regional Avellaneda. <sup>5</sup> Ingeniero Industrial /Investigador de Apoyo/ Universidad Tecnología Nacional Facultad Regional Avellaneda. <sup>6</sup> Estudiante de Ingeniería Industrial/ Investigador Estudiante/ Universidad Tecnología Nacional Facultad Regional Avellaneda. <sup>7</sup> Estudiante de Ingeniería Eléctrica/ Investigador Estudiante / Universidad Tecnología Nacional Facultad Regional Avellaneda.

lizada la currícula académica y de investigación, traccionando desde allí nuevas propuestas superadoras, enlazando la actividad de formación de profesionales e investigadores con las realidades de una verdadera conciencia nacional productiva.

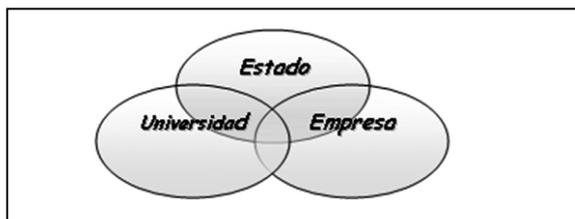
## 3. Planteo del Problema

El Modelo de la Triple Hélice elaborado por Henry Etzkowitz y Loet Leydesdorff puede considerarse como una herramienta muy útil para el estudio de los sistemas socioeconómicos regionales. (Fig. 1)

Con el desarrollo del modelo, se empieza a replantear la importancia de las interacciones dinámicas entre la universidad, la empresa y el gobierno. Este modelo es un paradigma estratégico adoptado por algunos países con el propósito de convertir sus economías, en economías basadas en el conocimiento.

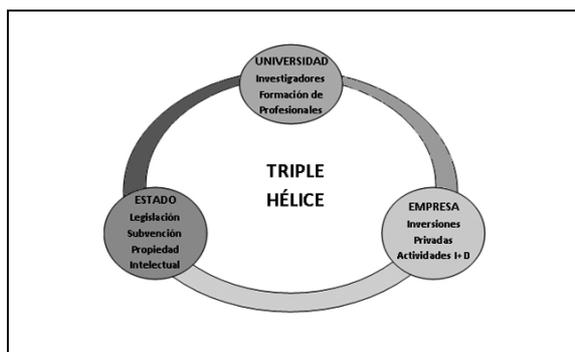
El conocimiento generado por estos tres sectores es lo que se considera la base del éxito y del crecimiento económico de los países.

desarrollo regional. vinculación universidad, empresa y estado



**Figura 1.** Modelo de la triple hélice entre Universidad, Empresa y Estado: Generación de una infraestructura de conocimiento en función de la interrelación de las esferas institucionales.

Se propone una gradual disminución de las diferencias entre disciplinas y entre distintos tipos de conocimientos, así como entre las diferentes instancias relacionadas con la vinculación entre la universidad, la empresa y el gobierno, para fomentar las interacciones entre estos tres sectores y poder acceder a la innovación y al desarrollo económico del país. (Fig. 2)



**Figura 2.** Círculo virtuoso en el cual el Estado actúa de manera de incentivar la creación de conocimiento, la universidad a través de programas de investigación y desarrollo sea creadora de una base de conocimientos que resulte de utilidad a empresas para innovar y brindar beneficios a la sociedad.

La integración de los tres actores idealmente incrementará el traspaso de conocimientos, aumentando así la ventaja competitiva del desarrollo económico.

Todo esto fundamenta el objeto de estudio de esta investigación.

En muchos países del mundo, la planificación estratégica se nutre de los datos aportados por centros de investigación que se transforman en alertas al desarrollo.

Por eso se propone el estudio de los escenarios futuros en los que se desempeñarán graduados, demandas de la técnica impulsadas por la globalización y formulación de las políticas de Estado.

Este estudio analizará la evolución y dinámica de los cambios empresariales y tecnológicos previsible, formulando pautas de gestión a largo plazo para posicionar a las empresas, brindando conductas y comportamientos estables, desde lo jurídico a lo operativo, para formar una verdadera red virtuosa Universidad-Empresa-Estado que lleve al bienestar general.

Este paso sería el último hito del proyecto en cuestión, que debe ser acotado en sus alcances para que sea posible realizar aportes concretos en el plazo previsto para su desarrollo y dejar enseñanzas valiosas para ser aplicadas en futuros proyectos.

#### 4. Marco Metodológico

Enfocándose en el análisis de las características y capacidad competitiva de la trama productiva Argentina, cada facultad regional interviniente en el proyecto estudiará los aspectos mencionados sobre una cadena de valor determinada en el ámbito local en que se emplaza y funcionará como nodo para nutrir de valores al proyecto integrador.

Cada facultad a su vez tendrá proyectos paralelos al integrador que se nutrirán de la información obtenida en las encuestas. Pero estas encuestas podrían resultar insuficientes para sus proyectos particulares, por lo cual cada facultad podrá profundizar en los temas de su interés.

##### 4.1. Proyectos de cada Regional:

Facultad Regional Rosario: Analizará la Industria del Software y Servicios de consulta Informáticos en el área de Rosario. El estudio se apoyará con la información brindada por los Clusters Tecnológicos, Parques industriales y asociaciones vinculadas a la Industria del Software.

Facultad Regional Resistencia: Analizará la industria del Software y Servicios Informáticos. Una industria incipiente en esta región por lo que esta investigación puede generar un aporte de información y conocimientos para el desarrollo del sector en la provincia.

Facultad Regional Delta: Estudiará el sector pyme, comercial y la gran industria en la zona de Zárate - Campana.

Facultad Regional Concepción del Uruguay: Se enfocará en estudiar la producción avícola en la Provincia de Entre Ríos.

Facultad Regional San Rafael: Estudiará el sector metalmeccánico, considerando no sólo grandes empresas de la región, sino también a las que abastecen de partes a empresas de más envergadura.

Facultad Regional Mendoza: Se analizarán empresas que conforman la cadena de valor de generación de energía eólica.

Facultad Regional Villa María: Estudiará la cadena de valor de la maquinaria agrícola en la Provincia de Córdoba.

Dada la complejidad de la cuestión, resulta preciso poder cuantificar los datos obtenidos, para ello nos valemos de una lista de indicadores que nos permiten abordar el tema.

El relevamiento se conforma de una serie de índices básicos los cuales guiarán el análisis.

#### 4.2. Índices:

- Nivel de actividad en la industria, comercio y servicio.
- Medición de nivel salarial sectorial por actividad productiva.

#### 4.3 Subíndices:

- Nivel de actividad industrial (ventas, compras, puestos de trabajo y producción) por sector de actividad.
- Niveles de despachos de bienes transables y no transables.
- Generación de aportes por producción a nivel provincial y nacional.
- Participación en los ingresos per cápita e ingresos públicos.
- Crecimiento salarial sobre el nivel de consumo e inflación.
- Ponderación del impacto sobre los niveles medios de ingresos en Zárate y Campana (testigo).
- Creación anualizada de puestos de trabajo.

Las actividades desarrolladas están orientadas al logro de los siguientes objetivos:

Se busca generar una base de datos, que permita evaluar sistemáticamente los parámetros obtenidos en cada una de las ramas de actividad previamente seleccionadas.

Para ello, la coordinación del proyecto se abocará a la gestión, integrando los insumos producidos por las Regionales participantes, realizando el tratamiento de la información y generando los productos previstos.

Secundariamente se identificarán las principales fuentes de información para las ramas de actividad

y se propondrá una metodología para la obtención de datos estadísticos, muestrales y sistemáticos de las actividades industriales y económicas vinculadas al sector de desarrollo productivo.

## 5. Observatorio Productivo

La función del OBSERVATORIO PRODUCTIVO es la de observación, selección y medición de todas las variables asociadas al proceso productivo, de orden industrial, empresarial, económico y social.

El Observatorio contribuirá a tener una realidad estática y dinámica del sector, permitiendo de esta manera estudiar sus realidades, fortalezas, debilidades, problemas, coordinaciones, políticas empresarias, posibilidades y vinculación con la realidad.

A partir de ello y como los datos serán de apropiación pública, podrán ser utilizados para analizar y diseñar políticas públicas y medir su impacto en el corto y mediano plazo, en donde pondremos a la UTN como especial consultora.

Se asigna especial relevancia al entrecruzamiento de los datos con la demanda tecnológica y la oferta educativa, de modo de poder sacar conclusiones respecto de las nuevas demandas de actualización profesional, dato de sumo interés para la UTN.

El Observatorio a crearse realizará análisis comparativos entre los sectores involucrados relacionados con:

- Políticas activas de desarrollo.
- Tendencias de desarrollo tecnológico.
- Tendencias de organización empresarial.
- Tendencias de requerimiento ocupacional.
- Tendencias de formación curricular.

Teniendo un mejor conocimiento de cada sector, el Observatorio poseerá visión de cambios que a futuro puedan surgir en el campo laboral, brindando a las universidades diversas herramientas para fundamentar la creación de nuevas carreras educativas y mantener actualizados los planes de estudio.

De este modo se mejorará la velocidad de respuesta de las universidades, permitiéndole a los futuros egresados estar mejor preparados para afrontar los nuevos escenarios.

## 6. Conclusiones

Los resultados logrados a través de este proyecto serán luego utilizados como datos

comparables que permitan predecir tendencias y contribuir como información de base para la toma de decisiones y formulaciones de políticas referidas a los aspectos académicos, tecnológicos y de desarrollo productivo.

Por otro lado la formación y capacitación derivada del proyecto creará los recursos humanos necesarios para poder mantenerlo funcionando y a su vez permitirá la mejora continua del mismo.

Se pretende realizar una prueba de funcionamiento de los índices aquí generados para lograr luego su aplicación a otros que sean de interés a las Facultades Regionales o del Rectorado de la UTN. Incluso es posible que dicha actividad, la del Observatorio, sea demandada por externos a la UTN y se estudien sectores a demanda.

El hecho de que la UTN genere un Observatorio de este tipo que estudie y magnifique en números el desarrollo productivo, permitirá convertirla en una consultora de importancia para todos aquellos actores que demanden conocimiento fundado para la toma de decisiones.

## 7. Referencias

1. Etzkowitz, H. y Leydesdorff, L. (2000) The dynamic of innovation: from National Systems of Innovation and "Mode 2 " to a Triple Helix of university-industry-goverment relations, *Research Policy* 29, N°2, p. 109,124
2. Bianchi, P. (1997): Construir el Mercado. Lecciones de la Unión Europea: el desarrollo de las instituciones y de las políticas de competitividad. Universidad Nacional de Quilmes.
3. Borello, J. (2000): "Notas sobre la industria en el norte y oeste de la Región Metropolitana de Buenos Aires: Situación, dinámica y acciones locales", en Borello, J. (coord.) *Bulones y canguros. Los ejes productivos del desarrollo local*, Instituto del Conurbano-Universidad Nacional de General Sarmiento, Universidad Nacional de General Sarmiento, Programa de Desarrollo Local- Serie Cartillas N° 4.
4. Boscherini, F. y Poma, L. (2000): "Más allá de los sistemas industriales: El nuevo concepto del territorio en el marco de la economía global", en Boscherini, F. y Poma, L. (comp.): *Territorio, conocimiento y competitividad de la empresa: El rol de las instituciones en el espacio global*, UNGS- ANTARES, Buenos Aires-Madrid, Miño y Dávila Editores.
5. Camagni, R. (1991): "Local "Milieu", Uncertainly and Innovation Networks: Towards

a New Dynamic Theory of Economic Space", en Camagni, R. (ed.). *Innovation Networks; Spatial Perspectives*, Belhaven Press, Londres

6. Carmona, R. (2001): "Política industrial y desarrollo económico local en el nuevo escenario competitivo. Un análisis de caso a nivel regional y metropolitano", Red PyMEs MERCOSUR, 6ta. REUNION ANUAL, Centro de Publicaciones, Secretaría de Extensión, Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina.

7. Estructura productiva y empleo- Un enfoque transversal - MTySS - 2007

8. Gibbons, M et all (1994) *La nueva producción del conocimiento*, Barcelona, Pomares-Corredor

9. *Innovación y empleo en tramas productivas de Argentina - Compilación de Marcelo Delfini y otros. Investigación de Gabriel Yoguel y otros. - Univ. Nac- de Gral Sarmiento- Ed- Prometeo Libros- 2007*

10. Kantis, H.; Carmona, R. y Ascuá, R. (2000): "El Estudio de las Redes Empresariales en el Diagnóstico del Desarrollo Local: Elementos Metodológicos y su Aplicación al Caso Rafaela", *Las Pequeñas y Medianas Empresas: Entorno, Estrategias y Potencial Transformador*, Red PyMEs MERCOSUR-IEF.

11. Krugman, P. (1996): *Geography and Trade*, London, England.

12. Lundvall, B. A. (1992) "The learning economy: challenges to economic theory and policy". Paper at the EAEPE Conference, Copenhagen.

13. Porter, M. (1999) "Los clusters y la competitividad" en Elgue, M.C. (Eds.) *Globalización, desarrollo local y redes*

## Nota

El trabajo se enmarca en el Proyecto Integrador: "Modelización de un observatorio de desarrollo productivo" de la Universidad Tecnología Nacional Facultad Regional Avellaneda. (Disp.259/12)

# Título del Proyecto de Investigación: Desarrollo de las tecnologías de Manufactura Digital Directa, Prototipado Rápido e Impresoras 3D

Héctor Omar Mina<sup>1</sup> y Bonino Guillermo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ingeniero Mecánico. Docente a cargo del grupo de Investigación Diseño, Gestión y Desarrollo de Nuevos Productos - UTN Facultad Regional San Francisco. Institución: UTN Facultad Regional San Francisco Teléfono: (3564) 524066. E mail: hector.omar.mina@gmail.com

<sup>2</sup>Estudiante de Ingeniería. Institución: UTN Facultad Regional San Francisco. Teléfono: (3564) 698572. E mail: boninoguille@gmail.com

## Resumen

La tecnología de prototipado rápido consiste en la obtención y fabricación de prototipos, en un periodo corto de tiempo, a partir de diseños 3D generados en soportes CAD, es decir, se basa en la generación de un modelo virtual en 3 dimensiones del elemento que queremos obtener, seguido de la materialización del mismo a través de algunas de las técnicas incluidas en el prototipado rápido.

Una vez obtenido el prototipo, será posible realizar pruebas funcionales, verificaciones formales y estéticas que permitirán definir si el producto está, o no, listo para ser liberado a producción.

**Palabras Clave:** PR > Prototipado Rápido, CAD > Diseño Asistido por Computadora, RepRap,

## Abstract

Rapid prototyping technology is the production and manufacturing of prototypes in a short period of time, from designs generated 3D CAD supports, ie based on the generation of a 3D virtual model of the element we wish obtained, followed by the realization of it through some of the techniques included in rapid prototyping.

Once the prototype, it will be possible to test functional and aesthetic formal tests to determine whether the product is, or not ready to be released to production.

**Keywords:** RP > Rapid Prototyping, CAD > Computer Aided Design, RepRap,

## Introducción

El proceso de Prototipado Rápido está definido como el conjunto de tecnologías que permiten la obtención y reproducción de prototipos, machos, moldes para fundición, electrodos de erosión, etc. en menos de 24hs, diseñados y modelados a partir de software de diseño y modelado virtual denominados CAD (Diseño Asistido por Computadora).

El objetivo principal de esta tecnología es obtener de manera rápida, y más o menos exacta, una réplica tridimensional de los objetos diseñados a partir de tecnologías CAD como pueden ser, por ejemplo, SolidWorks, Autocad 3D, CATIA, etc. Estos modelos físicos generados pueden ser únicamente estéticos, o bien, utilizados para el estudio de formas y el análisis de distintas propiedades que serán determinantes al decidir si la

pieza esta lista para fabricarse o si es necesario rediseñarla.

El tipo de ensayos que podemos realizar sobre el prototipo dependerá de la tecnología de prototipado utilizada y las prestaciones del producto final, pero abarcan desde pruebas de índole estéticas, verificación de tamaños o formas, hasta la comprobación de características físicas o estructurales, análisis de esfuerzos, reacciones y funcionamiento de la pieza.

A partir de lo dicho, es evidente la importancia que tiene poder establecer fuertes vinculaciones entre las industrias generadoras de manufactura y las instituciones dedicadas a la investigación y desarrollo de las tecnologías de prototipado rápido, como facultades y grupos de investigación, ya que estas relaciones permiten desarrollar cada vez más las tecnologías de prototipado rápido, explotando y aprovechando las ventajas y prestaciones que presentan.

## Prototipado rápido (PR)

Las tecnologías de prototipado rápido cumplen un rol cada vez más importante planteando una verdadera revolución en los métodos de desarrollo y producción. La característica principal de estos sistemas, como ser la no utilización de moldes o matrices, el reducido tiempo de fabricación comparado con métodos tradicionales o la posibilidad de generar piezas únicas, los hacen adecuados para su utilización en procesos de desarrollo de ingeniería y diseño.

desarrollo regional. vinculación universidad, empresa y estado

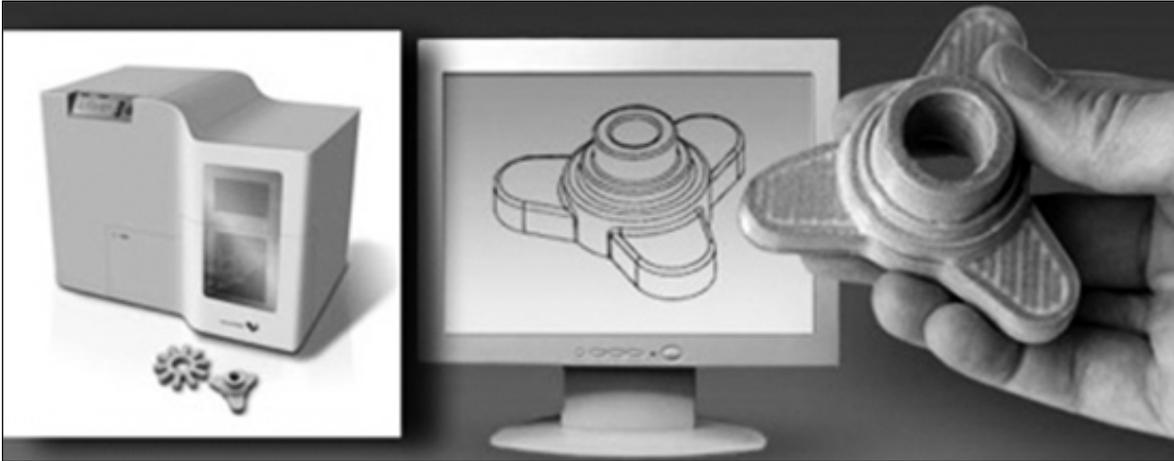


Figura 1. Elementos del proceso de prototipado.

### Fases generales de los procesos de prototipado

La mayor o menor similitud que pudiera existir entre el modelo definitivo y el obtenido mediante las técnicas de prototipado rápido dependerán básicamente de la tecnología utilizada para su generación y de limitaciones dimensionales, de complejidad y de postprocesos aplicados.

A continuación trataremos de manera general los pasos a seguir para realizar los prototipos

- 1) El diseñador define su idea y genera un modelado en 2D que luego deberá exportar a un software de modelado 3D, o bien, lo crea directamente en éste último.
- 2) El modelo 3D permitirá comprobar zonas de

curvatura crítica y realizar correcciones desde esta misma fase del proyecto. Además, este modelo permite crear una representación fotorealista del producto, con sus dimensiones, volumen, texturas, etc. (rendering).

- 3) Una vez que se aprueba el diseño exterior se procederá a comprobar el montaje y funcionamiento de las piezas que componen el producto.
- 4) Ya aprobado el diseño y de ser verificado el correcto funcionamiento, los datos 3D se utilizan para la fabricación del prototipo o molde rápido.
- 5) Una vez obtenido el prototipo, podría ser necesario introducir modificaciones para mejorar la fabricación de estas piezas y

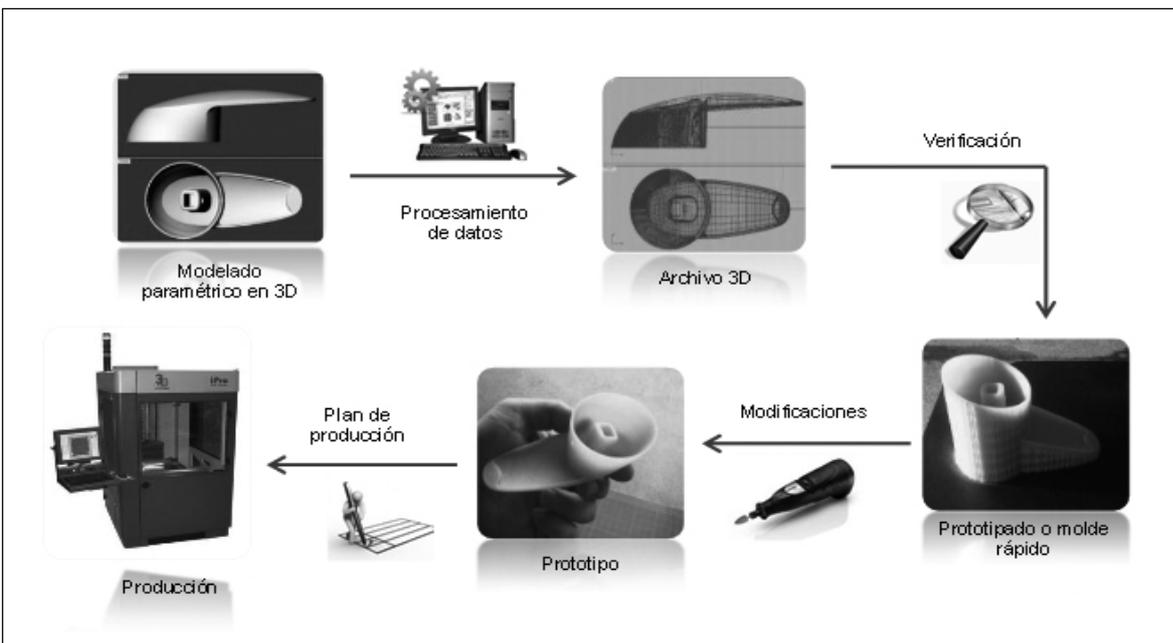


Figura 2. Etapas del proceso de prototipado.

obtener el prototipo final. Por ejemplo, en algunos casos, se procede a lijar o limar asperezas superficiales producidas por el sistema de prototipado elegido para darle al elemento una terminación correcta.

- 6) Terminado el prototipo y verificadas las propiedades o características de interés se procede a la generación del programa de producción, en caso de cumplir con las expectativas, o se rediseña, en el caso de no cumplir los requisitos.

### Estado Actual de las Tecnologías de Prototipado

Bajo el nombre de prototipado rápido se agrupan a una serie de tecnologías distintas, que se basan en las etapas antes citadas. Más allá de las diferencias entre las distintas técnicas, todas ellas parten del corte en secciones o capas horizontales paralelas de piezas representadas en CAD. Estas secciones caracterizan a todas las tecnologías de prototipado rápido, que construyen las formas sólidas a partir de la superposición de las capas horizontales.

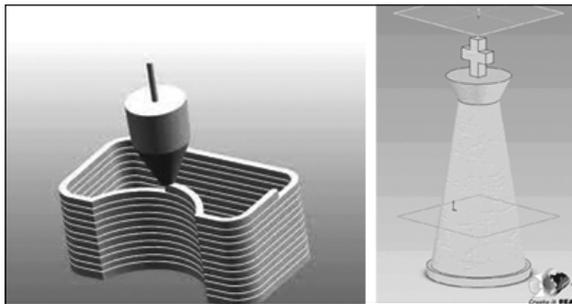


Figura 2. Secciones de trabajo.

Las tecnologías más difundidas son en la actualidad:

- SLA (Estereolitografía). También denominada STL. Esta técnica se basa en la posibilidad de solidificar una resina en estado líquido mediante la proyección de un haz láser de una frecuencia y potencia muy concretas.
- SGC. Fotopolimerización por luz UV. Al igual que en la estereolitografía, esta tecnología se basa en la solidificación de un fotopolímero o resina fotosensible. En la fotopolimerización, sin embargo, se irradia con una lámpara de UV de gran potencia todos los puntos de la sección simultáneamente.
- FDM. Deposición de hilo fundido. Consiste

en alimentar una boquilla extrusora con un filamento de plástico, el cual se calienta hasta un estado líquido-pastoso. A medida que la boquilla se desplaza por la base de la máquina deposita una fina capa de plástico extruido, imprimiendo el objeto por capas.

- SLS. Sinterización selectiva láser. Similar la SLA en cuanto al modo de generación, aunque en este caso se utilizan polvos de diferentes materiales. Un láser sinteriza las áreas seleccionadas causando que las partículas se fusionen y solidifiquen.
- LOM. Fabricación por corte y laminado. Esta tecnología pega y recorta láminas plásticas o de papel. La parte inferior del papel tiene una capa adhesiva que se pega con el folio anterior siendo recortada a la geometría debida en cada uno de los folios.
- DSPC. Proyección aglutinante. Esta tecnología trabaja mediante la deposición de material en polvo en capas y la ligazón selectiva del mismo mediante la impresión de “chorro de tinta” de un material aglutinante.

En general se reserva la fabricación de precisión a la estereolitografía y cuando se valoran más las prestaciones mecánicas del modelo (prototipos funcionales) se prefiere el sinterizado, que ofrece más variedad de materiales: resinas fotosensibles, materiales termofusibles, metales, cerámica, papel plastificado.

Este tipo de tecnologías se encuentran en constante desarrollo y evolución. En el mercado existen múltiples equipos y marcas que responden a alguna de las tecnologías mencionadas, pero también podemos encontrar proyectos de carácter internacional que promueven e incentivan al desarrollo de este tipo de tecnologías, buscando la mejora y aportes colectivos que distinto usuarios puedan proveer.

Como ejemplo, uno de los proyectos más divulgados es el RepRap, basado en la tecnología FDM. El proyecto tiene como propósito crear máquinas de prototipado rápido libres, que sean capaces de replicarse a sí mismas. Fue iniciado en febrero del 2004 por Andrian Bowyer en Inglaterra, pero actualmente hay personas colaborando en otras partes del mundo.

RepRap está disponible bajo la licencia GNU-GPL. Esta licencia permite que podamos copiar, estudiar, distribuir y mejorar sus diseños y código

fuente. Entonces, si el proyecto tiene éxito, estaríamos hablando de que en cada casa o centro comunitario existiría un RepRap. Sólo sería necesario descargar de Internet el diseño del objeto que deseamos y la máquina lo construirá.

A nivel económico/social, el prototipado rápido, plantea grandes cambios: menos fábricas, menos necesidad de transporte de bienes, menos necesidad de dinero, más autonomía, más desarrollos tecnológicos locales, etc.

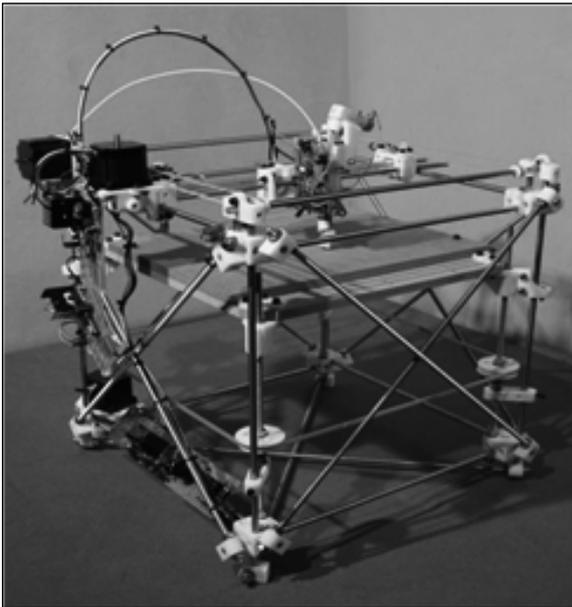


Figura 4. Proyecto RepRap.

## Aplicaciones

Los modelos de Prototipado Rápido pueden ser utilizados en:

- **Ingeniería.** La ingeniería precisa continuas pruebas de calidad y ensamblaje, las cuales son simplificadas mediante la utilización de modelos a los cuales se les puedan realizar todas las pruebas necesarias.
- **Arquitectura.** Las técnicas de creación de maquetas manufacturadas son muy restrictivas. Para determinados proyectos, es posible imprimir varias copias de la maqueta o modelo para compartir con diferentes clientes o con distintos segmentos del mercado de usuarios finales.
- **Topografía.** En propuestas de construcciones complejas de superficies terrestres, tanto naturales como artificiales, el Prototipado Rápido proporciona una herramienta apte para realizar maquetas que logren explicar el alcance y concepto del proyecto.
- **Packaging.** Las empresas que diseñan y producen envases de cristal y plástico para industrias relacionadas con el cuidado corporal, la salud y el cuidado del hogar están usando prototipos 3D para acelerar y mejorar su proceso de diseño. Asimismo, el packaging de las industrias químicas, de la automoción o de los fabricantes de bebidas también obtiene grandes beneficios del Prototipado Rápido.
- **Electrodomésticos.** El diseño de electrodomésticos para el hogar requiere no sólo maquetas precisas en 3D para comunicar conceptos de diseño a clientes internos y externos, sino también una serie de tests funcionales de piezas para evaluar atributos de actuación importantes en el inicio del ciclo de diseño.
- **Educación.** El prototipado rápido permite desarrollar objetos hechos a medida para satisfacer las necesidades, pudiéndose construir cualquier objeto, como por ejemplo, utensilios pedagógicos para niños con visión reducida o ceguera.
- **Modelado molecular.** La forma y la geometría lo son todo en química molecular. Se pueden producir de forma rápida y económica docenas de iteraciones moleculares que pueden manipularse físicamente para entender sus interacciones. Gracias a la velocidad y efectividad del sistema, se pueden disponer de manera rutinaria de modelos reales para los trabajos de investigación.
- **Automoción.** El Prototipado Rápido permite a los equipos de diseño cambiar de forma efectiva el diseño conceptual en las fases tempranas del proceso de diseño y comprobar el ensamblado de piezas, pudiendo establecer reuniones de grupos de discusión para analizar los resultados obtenidos.
- **Diseño de interiores, muebles, calzado...** Una comunicación clara entre diseñadores y fabricantes durante el proceso de diseño es crucial, ya que es imprescindible que haya consenso en un diseño antes de invertir en él recursos valiosos
- **Modelado para medicina.** La capacidad de usar modelos para planificación quirúrgica reduce tiempo de quirófano, abarata

los costes y permite ensayos de procedimiento. Además, los modelos mejoran la capacidad del médico de comunicarse con sus pacientes, lo que aumenta la confianza de estos en el éxito de la operación.

- Significa una fuente de soluciones frente a problemas de diseño y desarrollo.
- Son tecnologías que constantemente evolucionan y mejoran, obteniendo productos de mejor calidad con cada innovación.

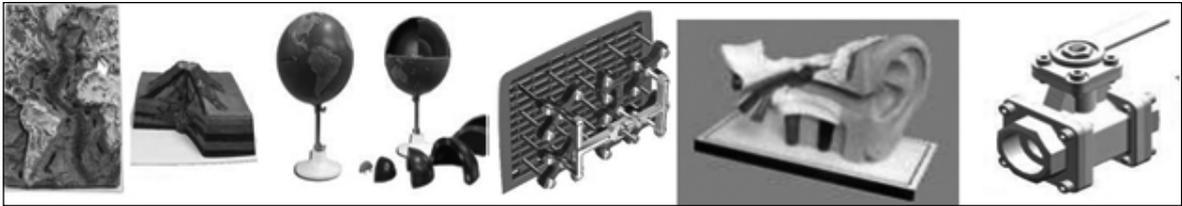


Figura 5. Ejemplos de Aplicaciones del Prototipado Rápido.

### Aspectos Innovadores y Ventajas del Prototipado Rápido

Las ventajas que ofrece la utilización sistemática de esta tecnología dentro del proceso global del lanzamiento de un nuevo producto, y/o en el de modificación y/o mejora de productos ya existentes, abarca a casi todos los departamentos que, directa o indirectamente están involucrados en él.

Se destacarán las siguientes ventajas del prototipado rápido:

- Disponer de una herramienta de comunicación física que no ofrece ningún tipo de duda, evitando interpretaciones distintas y/o erróneas.
- Permite realizar determinadas pruebas funcionales, de montajes e interferencias.
- Facilita extraordinariamente la relación entre clientes y proveedores.
- Facilita, y en muchos casos estimula, el aporte de mejoras en el diseño, funcionalidad o en el mismo proceso productivo.
- Es una alternativa a los procesos de prototipado por arranque de viruta, los cuales son más complejos de llevar a cabo y más costosos.
- Se pueden llevar a cabo estudios de mercado haciendo las primeras pruebas con los prototipos y a partir de ello saber cuál será la acogida del producto por parte de los clientes antes de realizar una fuerte inversión.
- Ayudar a establecer analogías entre a forma de creación del modelo y el proceso de fabricación real para introducir mejoras en éste.

- Permiten a los equipos de diseño cambiar su concepto de producto con facilidad durante la primera fase del desarrollo. Los modelos pueden ser visualizados y criticados por una variedad de equipos funcionales en el seno de una misma organización.
- Comunicación a larga distancia: Las piezas pueden ser enviadas a los participantes claves del proyecto, lo que provee con información más clara que una captura de pantalla o una impresión en papel.

### Proyecto de investigación: “Desarrollo de las tecnologías de Manufactura Digital Directa, Prototipado Rápido e Impresoras 3D”

#### Orientación del proyecto

En las industrias y empresas manufactureras PYMES, una de las principales etapas en el proceso de producción es la del diseño del elemento de interés. En otras palabras, todo proyecto o elemento a crear nace de la inventiva de una persona o un grupo de ellas y, como toda actividad humana, está sujeta a posibles errores o fallas que ponen en riesgo la integridad del proyecto.

Para evitar los errores, se han desarrollado sistemas de modelado y representación gráfica (Sistemas CAD) que nos permiten desarrollar piezas y ensamblajes de una manera muy detallada y fiel, pero en ocasiones esto no basta para determinar si la pieza está lista o no para ser liberada a la producción. Para llegar a este paso generalmente se necesita de una etapa intermedia, el prototipado.

El prototipado permite a los diseñadores y fabricantes verificar y ensayar características que no podemos (o difícilmente logramos) percibir en un modelado virtual, nos permite tener una pre-concepción del estado final del producto, una

primera apreciación y respuesta frente al objeto que diseñamos, a partir de las cuales podremos definir si el diseño del elemento en desarrollo es correcto y ya se puede fabricar, o si tiene aspectos que rediseñar o mejorar.

Cuando el prototipo está suficientemente perfeccionado y cumple con los parámetros y metas para las que fue pensado, el objeto puede empezar a producirse y se puede comenzar a detallar un plan de producción conforme a las necesidades y requerimientos de calidad y cantidad de producto. Es un elemento de tal importancia que permite aumentar la cadena de valores de los productos y procesos a realizar.

En definitiva, el estudio y desarrollo de los sistemas de Prototipado Rápido cobran mucha importancia debido a que, junto con sistemas CAD, permite mejorar y optimizar el diseño, verificar la respuesta del mismo frente a variados factores, evitar errores de fabricación, manejar información correcta y concreta, disminuir posibles costos de mantenimientos e inconvenientes en el proceso, optimizar la cadena de fabricación. En pocas palabras, ahorrar tiempo y dinero en la fabricación de productos.

### Estado Actual del Mercado

Para el mercado, grandes empresas y PYMES, el desarrollo de procesos de Prototipado Rápido e Impresiones 3D significa una gran ventaja y prestación destinada a la resolución de problemas que detienen y afectan la producción, o sea, una herramienta que les permite mejorar la productividad de sus procesos.

Si bien las técnicas generales de prototipado (por arranque de viruta, modelado, conformado, etc.) acompañan a la producción desde hace tiempo, las técnicas de Prototipado Rápido con las todas las ventajas y prestaciones que traen aparejadas, irrumpieron en los procesos y mercados, y están empezando a tomar la importancia que sus características le otorgan.

En el país, existen pocas empresas que brinden soluciones de prototipado rápido a las industrias manufactureras, y las pocas que lo hacen, solo brindan servicio con una máquina específica. Es por ello que instituciones como las universidades e instituciones de investigación tecnológica, puede ser un buen ámbito para desarrollar e investigar estas tecnologías para luego incentivar y promover su inserción en el mercado y formando a personas capacitadas en el manejo y desarrollo de estos temas.

### Vinculación Universidad - Industria

El proyecto llevado a cabo desde el grupo de investigación Diseño, Gestión y Desarrollo de Nuevos Productos, perteneciente a la UTN Facultad Regional San Francisco, en convenio con la Universidad Politécnica de Valencia (Grupo Diseño de nuevos Productos), busca generar la vinculación entre las Industrias y la Facultad Regional, a fines de lograr una mayor conexión y vinculación entre las partes, basadas en el trabajo y cooperación entre ellas.

Por otro lado, el proyecto de vinculación Universidad – Industria se ve beneficiado por la situación industrial de San Francisco y la región, la cual cuenta con una gran cantidad de industrias pertenecientes a distintos rubros como alimentación, metalmecánica, eléctrica, plásticos, etc., las cuales pueden fomentar e incentivar la investigación de estas tecnologías gracias a las ventajas y efectividad que estos sistemas les pueden brindar. .

### Ejes y delimitaciones del proyecto

Los ejes que se persiguen en el proyecto son los desarrollados a continuación:

- Investigación sobre las distintas tecnologías de Prototipado Rápido y sistemas de impresión 3D (existentes o en proceso de diseño).
- Estudios y desarrollo de proyectos basados en la tecnología FDM (máquina de prototipado con la que cuenta la FR San Francisco).
- Desarrollar soluciones y mejoras para problemas de diseño que se puedan plantear.
- Difundir en el ámbito académico e industrial conocimiento sobre las tecnologías de prototipado e impresión 3D, sus ventajas en el ciclo productivo y las incumbencias.
- Otorgar una herramienta para y desde la Universidad, que permita una mayor integración y vinculación de la misma con empresas e industrias de la región, obteniendo beneficios mutuos.

### Referencias

- [1] José Antonio Alonso Rodríguez, "Sistemas de Prototipado Rápido" [En Línea]. Disponible en <<http://webs.uvigo.es/disenoindustrial/docs/protorapid.pdf>>

[2] Jorge Ceballos, “El Futuro de las manufacturas”. INTI/Programa de diseño. Publicado en boletín informativo N° 137. Fecha 01/07/2009. Disponible en < <http://www.inti.gov.ar>>

[3] “Proyecto RepRap”, [En línea]. Disponible en <[http://es.wikipedia.org/wiki/Proyecto\\_RepRap](http://es.wikipedia.org/wiki/Proyecto_RepRap)>

[4] “Para qué sirve el Prototipado Rápido” [En línea], Disponible en <<http://www.protorapido.es/para.pdf>>

[5] “Prototipado Rápido”, [En Línea]. Disponible en < <http://www.centrotecnologicojc.org.ar>>

[6] “FDM, una Tecnología de Prototipado Rápido” [En Línea], Disponible en <<http://paulinatapiad.blogspot.com.ar/>>

[7] “Prototipado Rápido”, [En Línea]. Disponible en < <http://www.acroprototipos.com.ar>>

[8] “Nuevas tendencias en Tecnología”, [En Línea]. Disponible en <<http://nuevastecnologicas.blogspot.com.ar>>



# Modelos explícitos en generación fotovoltaica

C. R. Sanchez Reinoso<sup>1,4</sup>, S.H. Gallina<sup>2</sup>,  
M.G. Molina<sup>1</sup>, J.A. Solsona<sup>1</sup>

## Resumen

La optimización de los sistemas fotovoltaicos para la generación de energía eléctrica implica la necesidad de disponer datos reales de las diferentes variables involucradas, como así también la determinación de sus correlaciones.

En el ámbito de la energía solar fotovoltaica resulta de interés poder predecir la energía eléctrica generada por los módulos en función de la radiación solar y de los parámetros climáticos. En este trabajo, se propone un método de correlación basado en técnicas de inteligencia artificial, que permite obtener la energía generada para distintas condiciones climáticas durante un año. Además, se propone un modelo que relaciona la corriente de cortocircuito de una celda solar con la radiación global, pero a diferencia de lo usual, se considera el verdadero comportamiento no lineal de la relación entre las variables.

Los resultados del método propuesto empleando datos reales muestran su validez y utilidad en la predicción de energía generada por módulos fotovoltaicos y en avances tendientes a encontrar métodos de medición de radiación solar alternativos con bajo error.

**Palabras clave:** Módulos fotovoltaicos, celda solar, caracterización, predicción de generación, programación genética

## Abstract

In the optimisation of photovoltaic systems for electricity generation real data of the different variables involved are needed as well as determination of their relationships. In the field of photovoltaic solar energy there is interest to predict the energy generation in terms of solar radiation and climatic parameters.

In this paper, we propose a method based on artificial intelligence techniques for obtaining the generated energy under climatic conditions during a year. In addition, we propose a model that relates short-circuit current with radiation, but unlike usual, is considered the true nonlinear behavior of the relationship between variables.

The results of the proposed method using real data show its validity and usefulness in predicting the generated energy by photovoltaic modules and the search for alternative methods of measuring global radiation at low cost and reasonable error.

**Keywords:** Photovoltaic modules, solar cells, characterization, generation prediction, genetic programming.

## 1. Introducción

Al definir un proyecto de instalación para la generación de energía solar fotovoltaica es fun-

<sup>1</sup>Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

<sup>2</sup>Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas (FTyCA), Universidad Nacional de Catamarca, Maximio Victoria 55, 4700, Catamarca.  
E mail: csanchezreinoso@santafe-conicet.gov.ar

damental conocer, además de la disponibilidad del recurso solar, información de parámetros climáticos, para saber cuál es la energía disponible que podría ser aprovechada por la instalación a lo largo del año o en una época dada. Además, para conseguir dicho propósito es necesario una correcta medición de las variables involucradas, y comprender cuales son las más importantes.

Debido a la necesidad de cuantificar la energía solar disponible en una determinada ubicación, se utilizan frecuentemente modelos matemáticos, algunos de ellos complejos [1][2][3]. Actualmente se están utilizando modelos de redes neuronales, los que son capaces de encontrar correlaciones entre datos diversos y que han mostrado ser útiles en la determinación de parámetros de módulos fotovoltaicos [4][5][6], en la estimación de la radiación incidente [7][8][9][10][11] y simulación de sistemas de generación de energía eléctrica [12][13].

Una de las características de los modelos neuronales es que son del tipo caja negra y por lo tanto, no permiten obtener una función explícita de las variables físicas involucradas.

En este trabajo presentamos los primeros resultados de correlaciones entre la radiación global y la corriente de cortocircuito de una celda solar monocristalina teniendo en cuenta parámetros climáticos, discutiendo su posible uso como solarímetro. En una segunda parte se trabaja en obtener la dependencia de la energía eléctrica generada por los módulos de la radiación solar y sus componentes así como de las variables climáticas. En ambos casos la idea es obtener funciones explícitas que permiten un modelamiento alternativo de los fenómenos bajo estudio.

## 2. Mediciones

Sobre un rack ubicado en el predio del Campo de la Universidad Nacional del Litoral, en el paraje El Pozo de la ciudad de Santa Fe, cuya latitud es 31° 42' S, se montaron 4 módulos SOLARTEC de 42 Wp con los siguientes ángulos de inclinación respecto al plano horizontal: 0, 24, 36 y 58 grados. Los paneles se instalaron a nivel del suelo sobre cobertura vegetal, orientados en dirección Norte, sin recibir en ningún momento sombra de árboles o edificios.

Un sistema de adquisición de datos diseñado en nuestro laboratorio del Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química (INTEC) se empleó para medir cada 5 minutos la corriente de corto circuito  $I_{cc}$ , el voltaje de circuito abierto  $V_{oc}$ , la temperatura de los módulos, y tres curvas I-V de cada uno de ellos a las 10, 14 y 16 horas. Estas mediciones se realizaron sin interrupciones durante todo un año, desde junio de 2010 hasta abril de 2011 inclusive. Simultáneamente, con dos solarímetros Kipp & Zonen CM 6 se midió, en el plano horizontal, la radiación solar global, y la difusa, en este último caso se usó un aro provisto por Kipp & Zonen, montado de forma que proyecte sombra sobre el detector, cuya posición se corrige semanalmente de acuerdo al corrimiento del ángulo del sol respecto al horizonte. Se efectuaron las correcciones de la radiación difusa medida, conforme a lo indicado en el manual del solarímetro para el aro de sombra CM 11/121.

La energía generada en Wh por los módulos se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$E = FF \cdot I_{cc} \cdot V_{oc} \cdot t \quad (1)$$

Donde FF es el Factor de Llenado de los módulos calculado diariamente a partir de las curvas I-V medidas;  $I_{cc}$  es la corriente de cortocircuito;  $V_{oc}$  es la tensión a circuito abierto y  $t$  es el intervalo de tiempo entre mediciones, que en este caso es de 5 minutos.

Se obtuvieron datos de temperatura ambiente y humedad relativa provenientes de la estación meteorológica instalada en el predio por el Centro de Investigaciones Meteorológicas perteneciente a la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la UNL.

## 3. Modelo evolutivo

### a) Programación genética

Una de las principales variantes de las técnicas evolutivas es la Programación genética (PG). Fue propuesta por Cramer y Koza de manera independiente. Ellos sugirieron una estructura de árbol para representar un programa en un genoma [14].

Los individuos en la PG son programas de computadora estructurados jerárquicamente. Dichos individuos se forman mediante conjuntos de términos y funciones, los cuales actúan como primitivas que sirven de base para la construcción de programas. El conjunto de términos se compone de las variables o constantes que sirven como argumentos de las funciones. Los términos son considerados como hojas en la estructura de árbol. El conjunto de funciones está compuesto por los operadores aritméticos, los operadores binarios o funciones de dominio específico, y en el árbol se les conoce como nodos de tipo función [15][16][17].

### b) Modelo en función de datos climáticos

Disponiendo de un conjunto de parámetros del clima y con mediciones de energía generada de los módulos, se buscaron relaciones que permitieran estimar la energía generada por una instalación fotovoltaica en la ciudad de Santa Fe, empleando datos meteorológicos. Como los datos generalmente no se relacionan en forma lineal y presentan típicamente cierta dispersión, una alternativa aplicable son las redes neuronales. Sin embargo, dicha técnica solo permite obtener un modelo de caja negra. Otro estudio que se realiza es sobre el comportamiento de la corriente de cortocircuito en función de la radiación global y las variables climáticas. En las dos partes de este trabajo se pretende obtener un modelo explícito de las variables medidas por lo que se opta por emplear métodos de computación evolutiva.

Se emplea el siguiente algoritmo:

- Inicializar la población.
- Evaluar los programas en la población existente y asignar un valor de aptitud a cada individuo.
- Hasta que la nueva población no sea com-

pletada:

Seleccionar uno o varios individuos en la población aplicando un proceso de selección.

Ejecutar los operadores genéticos en el o los individuos seleccionados de la población.

Insertar a los nuevos individuos en la nueva población.

- Reemplazar la población existente con la nueva población, hasta cumplir el criterio de terminación.

El método de selección usado está basado en el de selección mediante ranking. Por otro lado, para realizar la mutación, se selecciona un nodo al azar y el subárbol es cambiado por uno nuevo generado aleatoriamente.

El operador de cruce se realiza mediante los siguientes pasos:

- Seleccionar dos individuos como padres.
- Seleccionar aleatoriamente un subárbol o segmento de instrucciones.
- Intercambiar los subárboles o segmentos de código entre los dos padres.

## 4. Resultados

### 4.1. Variables relacionadas con la radiación global

En una primera etapa de los experimentos se plantearon dos objetivos. Uno es encontrar la relación existente entre la corriente de cortocircuito y la radiación global. Esto implica estudiar cuales son las variables relevantes del problema en primer lugar, para luego encontrar una función explícita que determine el valor de la radiación global.

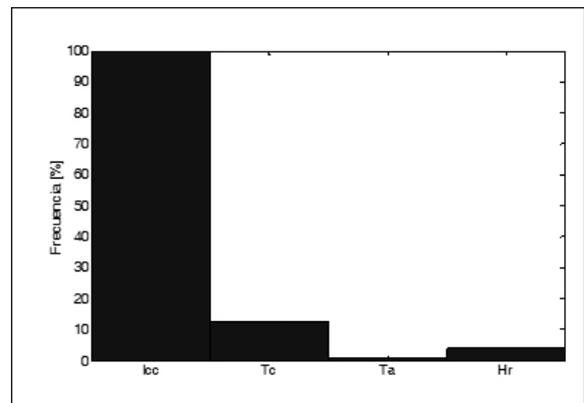
Se realizaron experimentos para entrenar el programa genético con datos de corriente de cortocircuito de la celda solar, temperatura máxima de la celda, temperatura ambiente, humedad relativa, y radiación global.

#### a) Experimentos con 4 meses de datos

La radiación global se planteó como variable predicha y las demás como variables predictoras. El conjunto de datos fue particionado en entrenamiento y prueba. La realización de entrenamientos con los datos permitió obtener un conjunto de soluciones.

Puede verse en la Fig. 1 un análisis estadísti-

co para determinar las variables explicativas más relevantes para el problema planteado. Lo que se muestra es la frecuencia con que las variables explicativas se encuentran en las soluciones encontradas cuya cota máxima de error medio absoluto es de 0.07. Claramente las soluciones que más contribuyen a la disminución del error son la corriente de cortocircuito y la temperatura máxima de la celda, pero en menor medida. En cuanto a la temperatura ambiente y la humedad relativa, en pocas ocasiones mejoran la solución, por lo que no son necesarias si se disponen de las otras variables.



**Figura 1.** Frecuencia de aparición de las variables medidas durante cuatro meses en las mejores soluciones.

La solución seleccionada luego de realizar una serie de experimentos se obtuvo con los siguientes parámetros: Tamaño de población=120, probabilidad de cruce=0.6, probabilidad de mutación=0.031.

Como criterio de error se empleó el error medio absoluto y como criterio de complejidad la cantidad de nodos de la representación en árbol de la solución. Basado en un criterio de doble ordenamiento, se obtuvo una solución que cumplía el requisito de menor error en primer lugar y de menor complejidad en segundo lugar.

La ecuación solución es

$$R_g = 490.11(I_{cc}^2 + 0.59)^{0.18} \quad (2)$$

donde Icc es la corriente de cortocircuito en Amperes; Rg es la radiación global en W/m<sup>2</sup> y se muestran los coeficientes con dos cifras decimales. Se encontraron varias

soluciones que presentaban bajo error, pero se tomó aquella que estaba formada por menos términos.

El coeficiente de correlación entre la variable medida y la calculada por la expresión encontrada es de 0.99, lo cual indica un muy buen ajuste a los datos.

Es importante destacar que también se consideró al inicializar el programa genético, otras variables tales como temperatura ambiente, temperatura de celda y humedad relativa. Durante el proceso evolutivo se encontraron soluciones que prescindían de dichas variables para obtener un buen ajuste de los datos. En el caso de Tc, ésta se encontraba incluida en términos que no aportaban significativamente a la disminución del error, por lo que fueron descartados de la solución. Por lo tanto, se puede afirmar que dichas variables no necesitan ser medidas para obtener una relación de lcc con respecto a la radiación global, para este período de tiempo. También se desprende de este comportamiento que para un buen comportamiento de la función, la solución encontrada es una función no lineal de la corriente de cortocircuito.

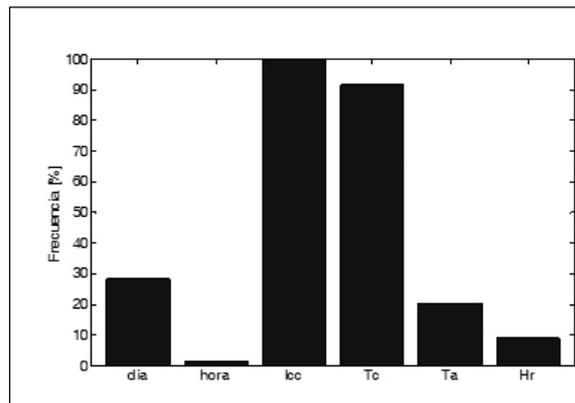
#### b) Experimentos con 1 año de datos

Se realizó el entrenamiento del modelo con datos correspondientes a un año de datos, medidos entre junio de 2010 y abril de 2011. Es claro, que no hay manera que datos de una estación capturen la información del todo el año. Por lo tanto, si bien en la sección precedente se obtuvo una ecuación para cuatro meses del año, en la presente se pretende obtener una expresión que capture el comportamiento a lo largo de un año completo, cubriendo de este modo todas las variaciones anuales que pueda presentar la composición espectral de la radiación solar, considerando que el objetivo es calibrar una celda para ser usada como solarímetro.

Se procedió a realizar un análisis similar al empleado en la subsección anterior. En este caso la participación de las diferentes variables tiene cambios importantes respecto al caso de un grupo de datos de cuatro meses. Esto indica que la solución

debe obtenerse con al menos doce meses de datos.

De acuerdo a la Fig. 2 todas las soluciones consideradas en este análisis incluyen a lcc y un 90% a Tc. Las ecuaciones obtenidas que incluyen a Ta tienen una menor participación de Tc o carecen de ella. La humedad relativa participa en una baja proporción de ecuaciones. En general las expresiones solución que contienen el día son mucho más complejas que las que carecen de ella.



**Figura 2.** Frecuencia de aparición de las variables medidas durante doce meses en las mejores soluciones.

Los resultados muestran que las variables más importantes son lcc y Tc, siendo Tc de valioso aporte en la solución. Es destacable notar que la importancia de Tc es mucho mayor al aumentar la cantidad de datos que uno pretenda modelar. Dado que lo se pretende es una función que represente la relación de las variables para todo el año, debe medirse la temperatura de celda.

Las ecuaciones que incluyen a las demás variables pueden reducir levemente el error, lo que no siempre ocurre. Esto es debido a que el modelado emplea diferentes bloques funcionales no lineales y es beneficioso para la evolución tratar con la menor cantidad de variables posibles. Esto además implica que el modelo evolutivo propuesto realiza naturalmente una selección de variables en el proceso de búsqueda.

La solución seleccionada fue la que presentaba términos formados por las funciones más simples encontradas por el algoritmo. Los parámetros: Tamaño de población=100, probabilidad de cruza=0.4,

probabilidad de mutación=0.0013, permitieron obtener la solución

$$R_g = 1.59I_{cc}T_c + 390I_{cc} - 12.3I_{cc}^3 - 4.17 \quad (3)$$

donde  $I_{cc}$  es la corriente de cortocircuito en A;  $T_c$  es la temperatura de celda en °C;  $R_g$  es la radiación global en W/m<sup>2</sup>. Los coeficientes mostrados están redondeados a dos cifras decimales.

Como criterio de error se empleó el error medio absoluto y como criterio de complejidad la cantidad de nodos de la representación en árbol de la solución. A continuación se tomaron para su comparación la expresión que sea función de todas las variables medidas y presente el menor error obtenido, y otra ecuación que solo considere las variables más relevantes del problema. La solución empleando corriente de cortocircuito y temperatura de celda presenta un R<sup>2</sup> de 0.99 mientras que la expresión que incluye todas las variables medidas tiene un R<sup>2</sup> 0.99. Estos últimos resultados junto a los anteriores muestran que es posible encontrar una expresión de la radiación en función de solo dos variables con fiabilidad para todo un año. Además, la importancia de esto radica en que puede emplearse un dispositivo formado por una celda solar con una termocupla incorporada que constituya un solarímetro de bajo costo que entregue directamente la radiación global, sin realizar ningún cálculo posterior y sin emplear constantes de calibración estacionales y/o que ignoren las no linealidades propias del fenómeno en estudio.

Por lo tanto, la expresión encontrada resulta sumamente útil para la determinación de la radiación global en función de la corriente de cortocircuito y la temperatura de la celda.

#### 4.2. Energía generada en función de variables climáticas

Considerando la obtención de correlaciones de la energía generada por módulos fotovoltaicos con variables climáticas, se intentó encontrar relaciones explícitas basadas en datos reales. La base de datos la formaban la energía generada por día por los módulos, la radiación global en plano

horizontal y sus componentes directa y difusa, la temperatura de módulo, de medio ambiente y la humedad relativa. Mediante computación evolutiva se realizaron experimentos con diferentes parametrizaciones, con datos particionados en entrenamiento y prueba.

##### a) Experimentos con 4 meses de datos

Se tuvo en cuenta en la selección del mejor modelo el compromiso error de prueba-complejidad. Los parámetros empleados en la búsqueda de dicha solución fueron un tamaño de población=300, probabilidad de cruce=0.5, probabilidad de mutación=0.3.

La ecuación obtenida es

$$E_g = T_{mp} + \frac{8.34e6}{12.7R_g + \frac{1.42e7}{R_g} + d^2} - T_{mp}R_{dif}^{0.185} \quad (4)$$

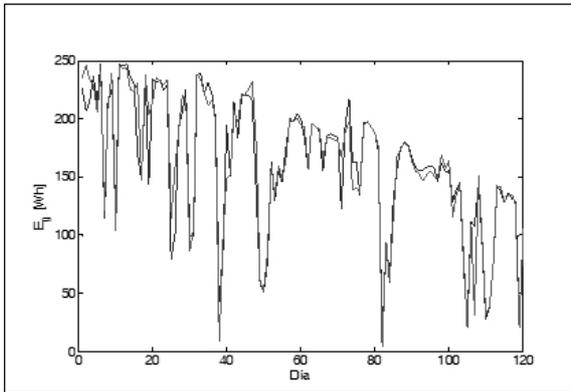
donde  $d$  es el día del año numerado desde enero,  $T_{mp}$  es la temperatura máxima del panel en °C;  $R_{dif}$  es la radiación difusa en W/m<sup>2</sup>;  $R_g$  es la radiación global en W/m<sup>2</sup>;  $E_g$  es la energía generada en Wh. La solución final fue seleccionada por tener menor cantidad de términos que otras de error muy similar. Cabe destacar que dentro de las mejores soluciones encontradas por el algoritmo, en su mayoría incluyen las variables explicativas de la ecuación (2).

Si se intenta relacionar la variable predicha medida con la calculada por el modelo, se consigue un coeficiente R<sup>2</sup> de 0.96, indicando un buen desempeño de la función encontrada. La energía generada para datos de entrenamiento y validación, como así también la solución seleccionada se muestran la Fig. 3

##### b) Experimentos con 1 año de datos

Se realizó el entrenamiento del modelo con datos correspondientes a un año de medición, medidos entre junio de 2010 y abril de 2011.

Si bien ya se obtuvo una ecuación para cuatro meses del año, en esta subsección se pretende obtener una expresión que capture el comportamiento a lo largo de un año completo y analizar dichos resultados. Cuando se emplearon las variables climáticas medidas como variables indepen-



**Figura 3.** Energía generada en función de variables climáticas para los distintos días del año. La cantidad de días corresponde a datos tomados desde enero hasta abril.

dientes de la función energía generada, se encontraron soluciones cuyo mejor desempeño tiene un R2 de 0.75. Estos resultados no son tan alentadores como los obtenidos para un conjunto de datos correspondientes a los primeros cuatro meses del 2011.

Se plantea entonces como variante incluir el ángulo de instalación de los módulos fotovoltaicos. Esto permitió encontrar soluciones mucho más promisorias que sean válidas para todo el año. Con la mejor solución encontrada, si se intenta relacionar la variable predicha medida con la calculada por el modelo, se consigue un coeficiente R2 de 0.9 y coeficiente de correlación de 0.95, indicando un buen desempeño de la función encontrada.

Los parámetros empleados en la búsqueda de dicha solución fueron un tamaño de población=250, probabilidad de cruce=0.4, probabilidad de mutación=0.2 y la ecuación obtenida es

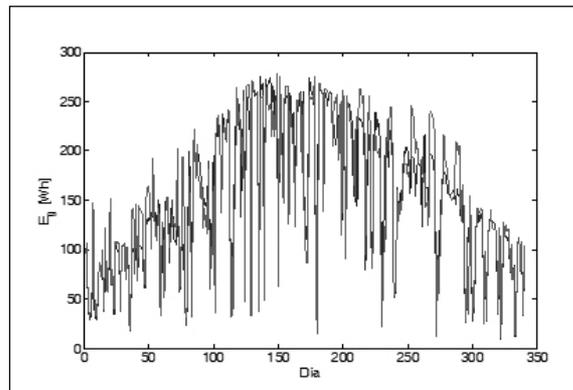
$$E_g = 0.476R_g^{0.012} - 1.84 * \alpha * \text{sen}(\alpha - 0.0033R_g) - T_a(0.00104R_g\alpha)^{0.441} - R_g^{0.002} \text{sen}(\alpha) \quad (5)$$

donde  $R_g$  es la radiación global en  $W/m^2$ ,  $R_{dif}$  es la radiación difusa en  $W/m^2$ ,  $\alpha$  es el ángulo de montaje de los módulos,  $T_a$  es la temperatura ambiente en  $^{\circ}C$ ;  $E_g$  es la energía generada en Wh, y los coeficientes de las potencias fueron redondeados a tres cifras decimales.

Es de notar que las variables presentes en la solución encontrada son casi todas las

medidas, observándose que no participan en esta solución la temperatura máxima de los módulos, siendo activa la temperatura máxima del medio ambiente, y que la Radiación difusa es mas directa en la representación de la transparencia de la atmosfera que la humedad relativa, que también no participa de la solución.

Un gráfico de la energía generada en función de variables climáticas y el ángulo de montaje (Fig. 4) permite observar un adecuado comportamiento del modelo. En dicho gráfico se distinguen los resultados para los datos de entrenamiento, de validación, y de la solución final. El modelo obtenido permite realizar una buena predicción de la energía total generada por un módulo fotovoltaico en el transcurso de un año.



**Figura 4.** Energía generada en función de variables climáticas para los distintos días del año. La cantidad de días corresponde a datos tomados desde junio de 2010 hasta mayo 2011.

## 5. Conclusiones

Los resultados encontrados utilizando programación genética para encontrar correlaciones entre parámetros de módulos fotovoltaicos y la radiación solar conjuntamente con datos climáticos se muestran muy promisorios. La correlación de la corriente de corto circuito de una celda solar y su temperatura con la radiación global es excelente y reproduce con mínimo error los valores de la radiación global en todo un año. De igual modo es posible encontrar la energía que generaría un módulo fotovoltaico en un año de funcionamiento, esta solución muestra dos aspectos que probablemente requieran de una mayor investigación y es el hecho que la energía no tenga una dependencia clara de la temperatura del módulo y que sea una función explícita

de la radiación difusa. La metodología propuesta realiza una selección automática del modelo mediante un doble criterio dado por el error y la complejidad. En trabajos futuros se incorporará una última etapa de selección manual de la solución basada en criterios físicos.

## Referencias

- [1] W. F. Philips (1984), "Harmonic analysis of climatic data," *Solar Energy*, vol. 32, pp. 319-328.
- [2] A. C. Herrero (1993), "Harmonic analysis of monthly solar radiation data in Spain," *Ambient Energy*, vol. 14, pp. 35-40.
- [3] A. Dorvlo y B. Ampratwum (1999), "Modeling of weather data for Oman," *Renewable Energy*, vol. 17, pp. 421-428.
- [4] L. S. De Bernardez, R. H. Buitrago y N. O. Garcia (2008), "Aplicación de redes neurales para el cálculo de la energía generada por paneles fotovoltaicos a partir de datos climáticos," in *Proc. 2008 XIV Congreso Ibérico y IX Congreso Iberoamericano de Energía Solar*, pp. 973-978.
- [5] E. Karatepe, M. Boztepe y M. Colak, "Estimation of equivalent circuit parameters of PV module using neural network," in *IJCI Proc. 2003 International XII Turkish Symposium on Artificial Intelligence and Neural Networks*, pp. 76-78.
- [6] G. Tamizh, L. Ji, Y. Tang, L. Petacci y C. Osterwald (2003), "Photovoltaic module thermal/wind performance," in *Proc. NCPV and Solar Program Review Meeting, NREL 520-33586*.
- [7] K. H. Elminir, J. Alamjam, U. R. Ali y V. Benda, "Estimation of Solar Radiations Incident on a Photovoltaic Solar Module using Neural networks," in *Proc. 2001 XXVI ASR Instruments and Control*.
- [8] F. S. Tymvios et al. (2005), "Comparative study of Angström's and artificial neural networks methodologies in estimating global solar radiation," *Solar Energy*, vol. 78, pp. 752-762.
- [9] G. López, F. J. Batles y J. Tovar (2005), "Selection of input parameters to model direct solar irradiance by using artificial neural networks," *Energy*, vol. 30, pp. 1675-1684.
- [10] A. I. Serrano, P. S. Lucio, A. M. Silva y S. M. Leite (2006), "Meteorological Time Series Reconstruction via Artificial Neural Network," *Geophysical Research*, vol. 8, pp. 879.
- [11] A. Mellit, M. Benganem, A. Hadj y A. Guessoum (2005), "A simplified model for generating sequences of global solar radiation data for isolated sites: Using artificial neural network and a library of Markov transition matrices approach," *Solar Energy*, vol. 79, pp. 469-482.
- [12] C. R. Sanchez Reinoso, D. H. Milone y R. H. Buitrago (2011), "Efficiency study of different photovoltaic plant efficiency connection schemes under dynamic shading," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 35, pp. 5838-5843.
- [13] C. R. Sanchez Reinoso, D. H. Milone y R. H. Buitrago, "Desarrollo de un modelo para estudio de centrales fotovoltaicas bajo diferentes configuraciones," in *Proc. 2009 Eighth Latin-American Congress on Electricity Generation and Transmission*, pp. 1-8.
- [14] Koza J. R (1992), *Genetic Programming. On the Programming of Computers by Means of Natural Selection*. Cambridge, USA: MIT Press, 1992, p. 819
- [15] W. Banzhaf, P. Nordin, R. Keller, F. Francone, *Genetic programming an introduction. In On the Automatic Evolution of Computer Programs and Its Applications*. San Francisco, USA: Morgan Kaufmann Publishers, 1998, p. 479
- [16] J. R. Koza, *Genetic Programming II. Automatic Discovery of Reusable Programs*. Cambridge, USA: MIT Press, 1998, p. 768
- [17] J. R. Koza, *Genetic Programming III. Darwinian Invention and Problem Solving*. San Francisco, USA: Morgan Kaufmann Publishers, 1999, p. 1154



## Abordaje multiobjetivo para el trazado de la defensa norte de la ciudad de Resistencia - Chaco

Jorge V. Pilar

Facultad de Ingeniería de la UNNE.  
Correo Electrónico: jpilar@ing.unne.edu.ar

### Resumen

El trazado de obras con características lineales en un espacio geográfico tendría, en principio, un número muy grande de soluciones. La selección de trazados más convenientes es hoy abordada por la Investigación de Operativa por medio de la Programación Dinámica y de las técnicas para resolver el problema conocido como caminos de mínimo costo (least-cost-path). A su vez, el planeamiento de espacios geográficos es realizado con el auxilio de técnicas de SIG (sistemas de información geográfica).

El estudio algorítmico de los caminos de mínimo costo no es novedad, pues hasta los programas comerciales para SIG más utilizados ya incorporaron comandos que, con ciertas limitaciones, resuelven ese problema.

Sin embargo, sea cual fuere el abordaje, siempre es necesario conocer a priori la función objetivo (FO), y esto no es tarea fácil, pues deben ser conjugados objetivos de satisfacción de necesidades sociales, políticas, ambientales y económicas, entre otras, lo que genera un verdadero problema de optimización multiobjetivo y multicriterio.

En este trabajo se propone un modelo de decisión para ayudar a la formulación de la FO, adoptando el paradigma multiobjetivo/multicriterio.

El modelo se mostró eficaz y de fácil utilización y su aplicabilidad se probó en la definición del trazado óptimo de parte de la defensa norte de la ciudad de Resistencia (Chaco).

**Palabras clave:** sistemas de apoyo a la decisión; optimización multiobjetivo/multicriterio; caminos de mínimo costo.

### Abstract

Works' layout with lineal characteristics in a geographical space has a large number of solutions. The more convenient layout selection is actually approached for the Operational Research through the traditional Dynamic Programming and the techniques to solve the well-known problem as least-cost-path. At the same time, the planning of geographical spaces is carried out with the GIS (Geographical Information Systems) aid.

The algorithmic study of the minimum cost paths is not new and even the most used GIS commercial programs have incorporated commands which, with certain limitations solve the problem.

However, it is always necessary to previously know the Objective-Function (OF), and this is not easy task, because objectives of social, political, environmental and economic needs must be conjugated, which generates a real problem of multi-objective and multi-criterion optimization.

This work had as main focus the OF formulation, adopting the multiobjective/ multicriterion paradigm.

An efficient support decision aid and of easy use was the result, and the verification of its applicability was verified in the definition of the optimum layout of the north defense of Resistencia city (Chaco).

### Introducción

En este trabajo se buscó diseñar un abordaje multiobjetivo para el planeamiento de obras de ingeniería, en especial con características lineales, tratando de formular con rigor científico un modelo de apoyo a la decisión de fáciles entendimiento y aplicabilidad. La intención fue hacer un aporte al problema denunciado por Simonovic [1] en un artículo ya clásico en el planeamiento de recursos hídricos: la existencia de una brecha entre la teoría y la práctica.

La elección del trazado de obras de ingeniería con características lineales debería hacerse utilizando técnicas modernas o modelos matemáticos de optimización, pues utilizar los escasos recursos (especialmente los financieros) con eficiencia debería ser el principio que guíe el planeamiento estratégico de ese tipo de obras, buscando que los trazados sigan los lineamientos de los llamados caminos de mínimo costo o, según la jerga de la bibliografía específica, "least-cost-path".

Al tomar decisiones referentes a trazados de rutas, canales y conductos en general, se busca que ellas generen el menor impacto negativo posible. Pero, ¿cómo conseguir eso?

El problema de los caminos de mínimo costo comenzó a ser estudiado recientemente, hace poco más de un cuarto de siglo, pero de forma aislada y separada por especialistas de la Investigación Operativa y de los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Según los primeros, el problema consiste en hallar el camino "más barato" entre dos puntos del espacio de decisión, dada una red de puntos y arcos que los vinculan, más los costos asociados a cada arco. Esos problemas pueden ser resueltos aplicando alguna técnica de Programación Dinámica (PD).

Por otra parte, existen problemas de la ingeniería práctica, en los cuales los puntos corresponden a un espacio geográfico y los arcos representan costos que podrían ser expresados por medio de una función de costo incremental entre dichos puntos. Esos problemas pueden ser abordados con técnicas de SIG, conocidas en la jerga del geoprocésamiento como problemas de caminos de mínimo costo, o "least-cost-path".

El costo debe ser entendido como una fricción, que podría medirse en términos de distancia, riesgo, impacto ambiental, tiempo de viaje, etc. Por lo tanto, queda configurado un típico problema de optimización: una función (de costos) a ser optimizada (minimizada), más un conjunto de restricciones a ser consideradas en el proceso de decisión.

En un plano perfecto, el camino más corto entre dos puntos será, obviamente, una línea recta. Sin embargo, si sobre ese plano son superpuestas otras capas representando fricciones (por ejemplo, tipos de usos del suelo, presencia de cuerpos de agua, etc.), los caminos más cortos comenzarán a apartarse de la línea recta para transformarse en poligonales (Collischonn & Pilar [2]).

Tomar decisiones es una actividad tan cotidiana (y antigua) que pocas veces se reflexiona sobre ella. Cuando es necesario decidir sobre situaciones futuras desconocidas e inciertas, muchas veces los decisores realizan esta tarea de forma intuitiva, esperando que la suerte los ayude. Esa actitud, aunque familiar, no es otra cosa que poner el carro delante de los caballos.

La optimización multiobjetivo tiene sus orígenes en los trabajos de Edgeworth y Pareto, de finales del siglo XIX (NEOS Guide [3]). Otros antecedentes que se le reconocen son, entre otros, la Teoría de la Utilidad, de Daniel Bernoulli, la Teoría del Bienestar Social, creada a finales del siglo XVIII a partir de los trabajos del Marqués de Condorcet; la Teoría de la Medición Psicosensitiva; la Investigación Operacional, especialmente la Programación Matemática, que presentaron desde siempre el problema de necesitar definir a priori una función objetivo a ser optimizada (Jacquet-Lagrèze [4]).

Los conceptos y definiciones asociados a la optimización multiobjetivo, acertados o equivocados, intentan hacer, de alguna manera, más objetivo el subjetivo proceso de decisión, rompiendo con el mito de la decisión óptima en el más puro y abstracto sentido matemático. Algunos autores consideran a estos métodos como una tercera alternativa a la eterna dicotomía entre pragmatismo y purismo (Barredo Cano, [5]).

De forma diferente a la optimización tradicional, con un único objetivo, donde se maximiza o minimiza una función objetivo única, en la multiobjetivo hay que optimizar un vector y eso, en teoría, es imposible: en realidad, no existe una única solución óptima, sino un conjunto de soluciones que satisfacen en diferente grado y forma los objetivos escogidos (Andreu [6]).

### La programación de compromiso

Este método, desarrollado por Zeleny en 1973, considera varios objetivos y se basa en que existirá una alternativa ideal, comúnmente, inalcanzable, que conjugaría los mejores resultados según los objetivos escogidos. Si ella fuese alcanzable sería la solución óptima. Sin embargo, como normalmente no lo es, la solución de "mejor compromiso" (la más eficiente) será aquella que se localice a menor distancia del punto ideal, lo que es conocido como axioma de Zeleny (Romero [7]).

Entonces, para cada objetivo es necesario calcular la distancia a punto ideal:

$$d_j = [f_j^* - f_j(\bar{x})] \quad (1)$$

donde la diferencia encerrada entre corchetes indica el grado de proximidad entre el objetivo  $j$ -ésimo ( $f_j(x)$ ), para un vector " $x$ " de las variables de decisión, y su valor ideal ( $f_j^*$ ), siendo  $f_j^* = \text{Max } f_j(\bar{x})$ .

Dependiendo de las variabilidades que pudieran existir entre las diferentes funciones objetivo, las diferencias calculadas aplicando la ecuación (1) deberían ser "normalizadas", por ejemplo dividiéndola por la diferencia entre el valor ideal y el antiideal.

Si se denomina " $w_j$ " a la importancia que el decisor atribuye al objetivo  $j$ -ésimo, la solución de mejor compromiso surgirá del siguiente problema de optimización (Romero [7]):

$$\text{Min } \bar{x}_\pi = \left[ \sum_{j=1}^n w_j^\pi \cdot \left( \frac{[f_j^* - f_j(\bar{x})]}{[f_j^* - f_j]} \right)^\pi \right]^{1/\pi} \quad (2)$$

El parámetro " $\pi$ " establece la métrica que define la familia de funciones de distancia, o sea, para cada valor de " $\pi$ " se tendrá una distancia. La distancia tradicional euclidiana es un caso particular de la ecuación (2), en la cual  $\pi=2$ .

La aplicación de este método no es inmediata en un problema como el abordado en este trabajo. Por lo tanto, fue necesario hacer algunos cambios que serán descriptos seguidamente, los que incluyen, entre otros, procedimientos típicos del Método de

Análisis Jerárquico (MAJ).

### La metodología propuesta

Primeramente, es necesario escoger los aspectos que se consideren relevantes para la solución del problema y que, en forma esquemática, podrían ser llamados, simplemente, aspecto A, aspecto B y aspecto C (el número de aspectos relevantes no es una limitación del método).

Una forma muy interesante de caracterizar un espacio geográfico es a través de un esquema "raster" (Eastman [8]; Swain & Davis [9]). Según este esquema, se discretiza al espacio en celdas elementales (píxeles), que sintetizan las características espaciales (y/o temporales) de esa unidad geográfica.

Con este esquema raster es posible realizar tantos mapas del área en estudio como aspectos estén siendo considerados, en los que cada píxel indicará la caracterización de esa porción de terreno según cada uno de esos aspectos.

Posteriormente, cada unidad geográfica podrá ser representada en un espacio de decisión, en el cual las coordenadas representen cada uno de los aspectos analizados.

Como los aspectos analizados pueden ser muy diferentes es necesario adoptar algún esquema para poder compararlos en una misma métrica. Se sugiere la aplicación de los "umbrales de indiferencia", según la metodología presentada por el mismo autor en un trabajo anterior (Pilar [10]). Se propone asignar una puntuación 1 a la mejor situación y 10 a la peor (en un esquema semejante a la puntuación utilizada para la calificación escolar, entendible y de uso común para la mayoría de las personas).

De esta manera, el espacio de decisión quedará restringido a un cuadrado, cubo o hipercubo de 9 unidades de arista (10 menos 1). En el caso de los 3

aspectos considerados, estaríamos ante la presencia de un cubo.

En realidad, ese espacio sólo será un cubo en el caso en que cada aspecto tuviese la misma importancia relativa en la decisión. Sin embargo, cada aspecto podría tener una importancia diferenciada y que podríamos caracterizar como  $w_A$ ,  $w_B$  y  $w_C$ , (siendo  $w_A+w_B+w_C=1$ ).

Por lo tanto, el cubo se transformará en un poliedro, pues las coordenadas de cada eje deberían ser afectadas por los coeficientes mencionados en el párrafo anterior (Figura 1).

La Programación de Compromiso es normalmente utilizada para hacer un ordenamiento jerárquico de varias soluciones posibles, según varios aspectos o criterios. Se basa en establecer una situación deseable (target), caracterizada por determinados valores de los aspectos considerados relevantes, y escoger la alternativa que tenga la menor distancia con relación a esta situación ideal.

La variante de este método que se propone en este trabajo consiste en elaborar un mapa de fricción en el cual cada punto del espacio geográfico quede caracterizado por su distancia al punto ideal o anti-ideal del espacio de decisión.

Este método sería fácil de entender por los tomadores de decisiones reales, sobre todo porque el concepto de distancia, siempre que sea del tipo euclidiana, es utilizado en el día a día de la mayoría de las personas.

Para calcular, para una célula "i" cualquiera del espacio geográfico, con coordenadas "Xi-A", "Xi-B" y "Xi-C" en el espacio de decisión, su distancia "euclidiana" al punto (1,1,1) o ideal, debe aplicarse la conocida fórmula:

$$d_i = \left( [w_A \cdot (X_{i-A} - 1)]^2 + [w_B \cdot (X_{i-B} - 1)]^2 + [w_C \cdot (X_{i-C} - 1)]^2 \right)^{0.5} \quad (3)$$

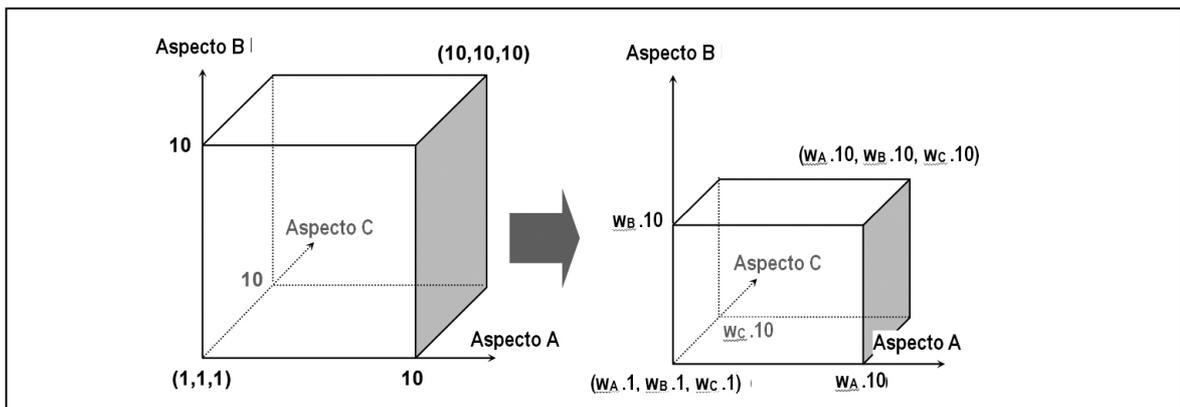


Figura 1. Deformación del espacio de decisión.

en la cual, “wA”, “wB” y “wC” representan las importancias relativas (pesos) de los aspectos A, B y C, respectivamente.

Entonces, teniendo un nuevo mapa de fricción, en el que cada unidad del espacio queda caracterizada por su distancia al punto ideal del espacio de decisión, el cálculo del trazado óptimo de una obra de ingeniería con características lineales podría hacerse de forma simple, aplicando el esquema presentado por Collischonn y Pilar [2] o utilizando los comandos propios de algún programa comercial de SIG, por ejemplo el IDRISI®.

### El trazado óptimo de la defensa norte de la ciudad de Resistencia

La aplicabilidad de la metodología propuesta fue puesta a prueba en la verificación de parte de la traza de la defensa norte de la ciudad de Resistencia.

Esta ciudad se localiza a pocos kilómetros aguas abajo de la confluencia de los ríos Paraguay y Paraná y sufre con cierta periodicidad inundaciones provocadas por sus crecientes. Para paliar los efectos nocivos de estas inundaciones las autoridades de la Provincia del Chaco contrataron el proyecto y ejecución de un terraplén de defensa, localizado al norte del ejido urbano de la ciudad.

En interacción con los tomadores de decisiones reales se estableció que un trazado óptimo debería contemplar aspectos económicos, ambientales y políticos.

Con respecto al primero de ellos, su importancia fue bastante simple de considerar, pues las defensas debían alcanzar una determinada cota de coronamiento (definida por criterios hidrológicos). Como el ancho de este coronamiento estaba fijado de antemano, lo mismo que los taludes del terraplén, la sección transversal del terraplén en un determinado píxel reflejaría la fricción económica buscada.

El esquema de umbrales de indiferencia utilizado para este aspecto, al igual que el mapa de fricción resultante, son mostrados en la Figura 2.

Para caracterizar la fricción ambiental, se hizo una clasificación del tipo de cobertura del terreno y a cada tipo se le asignó un determinado peso. El límite inferior de “peso 1” fue para el uso menos comprometido, ambientalmente hablando, mientras que el límite superior de “peso 10” fue para las áreas que deberían, de ser posible, preservadas. Por no ser aplicables, no se utilizó un esquema de umbrales de indiferencia con variación continua como en el caso del aspecto anterior. El mapa de fricción ambiental resultante es mostrado en la Figura 3.

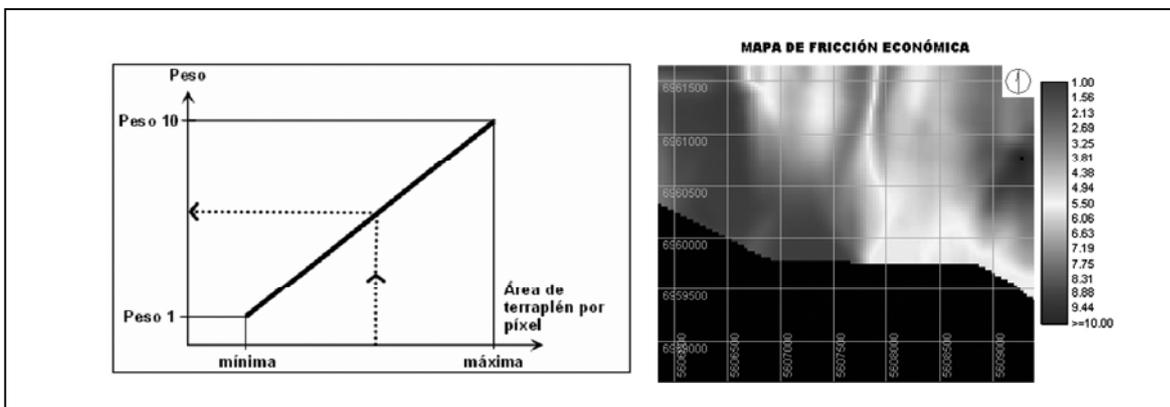


Figura 2. Umbrales de indiferencia y mapa de fricción económica.

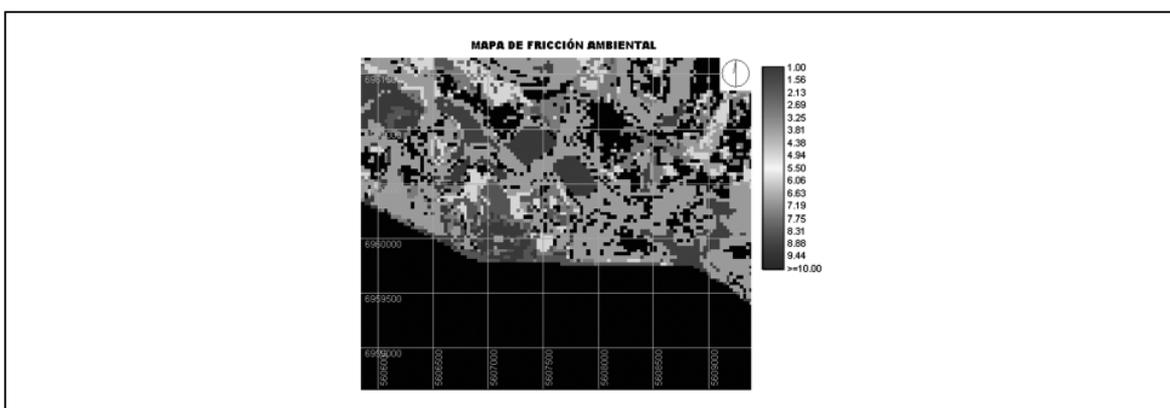


Figura 3. Mapa de fricción ambiental.

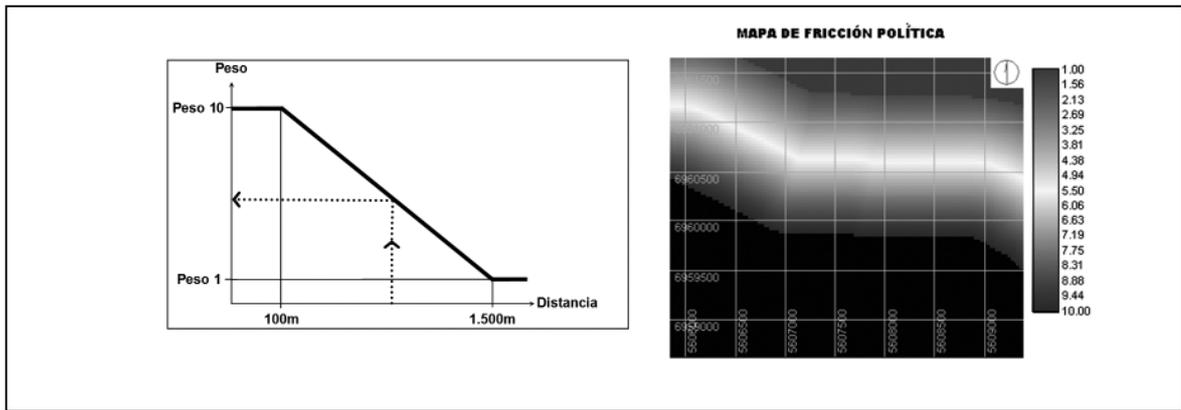


Figura 4. Umbrales de indiferencia y mapa de fricción política.

Con respecto al último aspecto considerado (el político), los tomadores de decisiones reales coincidieron en que sería interesante, políticamente hablando, que las defensas se localicen lo más al norte de la ciudad que sea posible, para ganar terrenos defendidos. Entonces, fue elaborado un mapa (en formato raster) que representa, para cada píxel, la distancia al límite norte de la ciudad, que en definitiva fue el mapa utilizado para reflejar la fricción de tipo política. Por lo tanto, esta fricción es caracterizada por una variable continua, lo que viabilizó la utilización del esquema de umbrales de indiferencia.

Se adoptó como umbral de “peso 10” la distancia de 100m al límite norte de la ciudad, mientras que para el umbral de “peso 1” se estableció la distancia 1.500m de dicho límite, pues más allá de esta distancia comienza otro ejido municipal y podrían aparecer conflictos entre jurisdicciones. La variación entre estos umbrales fue adoptada como lineal.

En la Figura 4 son presentados el esquema de umbrales de indiferencia adoptado para este aspecto y el mapa de fricción resultante.

Para definir la importancia relativa de los tres aspectos, fue utilizado el Método de Análisis Jerárquico (Saaty [11]). La matriz de las comparaciones paritarias, rellena por los propios tomadores de decisiones, es mostrada en la Figura 5.

	Económico	Ambiental	Político
Económico	1	$a_{E-A}$	$a_{E-P}$
Ambiental	$1/a_{E-A}$	1	$a_{A-P}$
Político	$1/a_{E-P}$	$1/a_{A-P}$	1
AUTOVECTOR	$w_E$	$w_A$	$w_P$

Figura 5. Comparaciones paritarias entre los aspectos escogidos.

Para obtener la importancia relativa de los aspectos económico, “ $w_E$ ”, ambiental, “ $w_A$ ” y político, “ $w_P$ ”, fue montado el siguiente problema de Programación Lineal:

$$FO : \text{Max} (w_E + w_A + w_P) \quad (4)$$

sujeto a las siguientes restricciones:

$$\begin{cases} w_E - a_{E-A} \cdot w_A = 0 \\ w_E - a_{E-P} \cdot w_P = 0 \\ w_A - a_{A-P} \cdot w_P = 0 \\ w_E + w_A + w_P = 1 \end{cases} \quad (5)$$

El resultado obtenido fue:

$$\begin{cases} w_E = 0,718 \\ w_A = 0,179 \\ w_P = 0,103 \end{cases}$$

que debe ser interpretado de la siguiente forma: la cuestión económica influye 71,8% en el parecer de los decisores, la ambiental 17,9% y la política 10,3%.

Entonces, teniendo como base los tres aspectos considerados, el espacio de decisión quedó definido por un cubo de 9 unidades de arista. En este espacio, cada píxel del espacio geográfico quedó caracterizado por 3 valores de fricción que variaron desde un mínimo de 1, hasta un máximo de 10. En el espacio de decisión, el vértice (1,1,1) es el punto más deseable o ideal, mientras que el (10,10,10) es el opuesto o antiideal.

Seguidamente, fueron calculadas distancias euclidianas de las coordenadas de cada píxel al punto ideal, pero, previamente, fue necesario deformar el espacio de decisión, multiplicando las coordenadas

del eje económico por “wE”, las del eje ambiental por “wA” y las del eje político por “wP”.

Finalmente, aplicando una combinación de comandos del programa IDRISI, se calculó el trazado que en conjunto totaliza la mejor combinación de píxeles caracterizados por su distancia al punto ideal y que es mostrado en la Figura 6.

## Conclusiones

El objetivo del presente trabajo fue elaborar un modelo de apoyo a la decisión para ayudar a la definición del trazado de obras de ingeniería con características unidimensionales, como diques, canales, rutas, etc. La aplicabilidad de este modelo fue verificada en la definición del trazado de una porción de la defensa norte de la ciudad de Resistencia, Chaco.

El trabajo partió de la extensión de la Programación Dinámica a un espacio geográfico –campo tradicional de utilización de los SIG-, con discretización espacial de tipo raster y que puede ser encuadrada en el denominado problema de caminos de mínimo costo (least-cost-path).

Fueron adoptados tres aspectos como relevantes a la solución del problema, no siendo este número una limitación de la metodología propuesta. La conjugación de estos tres aspectos fue hecha aplicando una variante de la Programación de Compromiso elaborada al efecto, pero para aplicarla fue necesario utilizar el Método del Análisis Jerárquico, que se resolvió a través de la Programación Lineal.

Los programas de SIG de más amplia difusión poseen comandos para resolver con ciertas limitaciones problemas de trazado óptimo. Sin embargo, su utilización en un contexto multiobjetivo es comúnmente realizada por medio de una función objetivo de tipo “suma ponderada” de los indicadores de los aspectos considerados relevantes, donde los

ponderadores son establecidos por negociaciones entre los tomadores de decisiones reales. El empleo de un abordaje basado en la Programación de Compromiso y el Método de Análisis Jerárquico intenta introducir un poco de objetividad en esta tarea con connotaciones tan subjetivas.

El modelo desarrollado se mostró eficaz y eficiente, teniendo en cuenta que no hacen falta programas computacionales muy caros para su utilización. Además, los tomadores de decisiones reales se mostraron muy cómodos al utilizar el esquema propuesto, basado en el cálculo de distancias euclidianas.

## Referencias bibliográficas

- [1] SIMONOVIC, S.P. 1992. Reservoir systems analysis: closing gap between theory and practice. *Journal of Water Resources Planning and Management*, New York, v.118, n.3, p.262-280.
- [2] COLLISCHONN, W.; PILAR, J.V. 2000. A direction dependent least-cost-path algorithm for roads and canals. *International Journal of Geographical Information Science*, London, v.14, n.4, p.397-406.
- [3] NEOS Guide. 1996. [Argone: Optimization Technology Center]. Disponible em: <<http://www-c.mcs.anl.gov/home/otc/Guide>>.
- [4] JACQUET-LAGRÈZE, E. [1994?]. Conceitos básicos para suporte de decisão multi-critério. In: BANNA E COSTA, C. Métodos de decisão multicritérios e aplicações. Florianópolis: UFSC. p.6-14.
- [5] BARREDO CANO, J.I. 1996. Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio. Madrid: RA-MA. 264p.
- [6] ANDREU ÁLVAREZ, J. 1993. Análisis multiobjetivo. In: Conceptos y métodos para la planificación hidrológica. Barcelona: Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería. p.239-248.

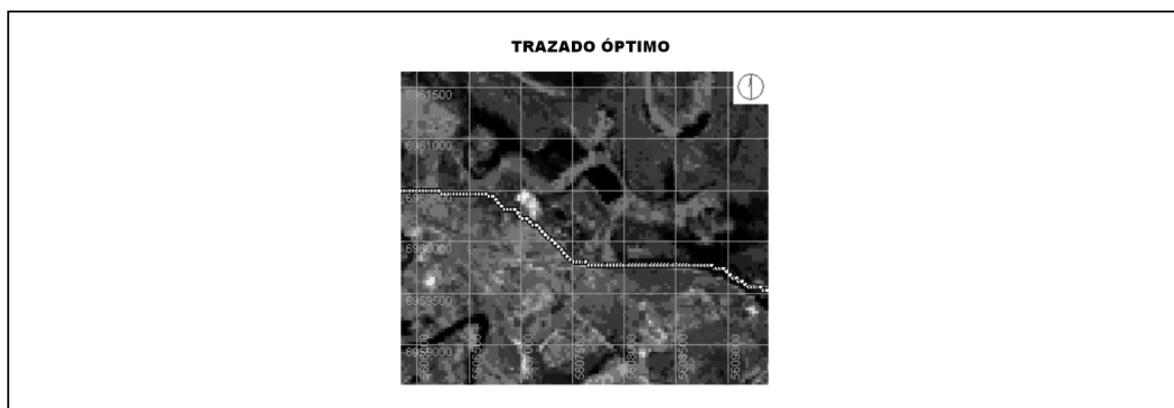


Figura 6. Trazado óptimo de la defensa norte de Resistencia.

- [7] ROMERO, C. 1996. Análisis de las decisiones multicriterio. Madrid: Algorán 115p.
- [8] EASTMAN, J. R. 1995. Idrisi for Windows: users guide. Worcester: Clark University.
- [9] SWAIN, P.H.; DAVIS, S.M. 1978. Remote sensing: the quantitative approach. New York: McGraw-Hill. 397p.
- [10] PILAR, J.V. 2001. Modelo de optimización multiobjetivo como sistema de apoyo a la decisión en el proceso de otorgamiento de becas en las facultades de la UNNE. In: ENCUENTRO NACIONAL DE DOCENTES DE INVESTIGACIÓN OPERATIVA, 14., [e] ESCUELA DE PERFECCIONAMIENTO EN INVESTIGACIÓN OPERATIVA, 12., Huerta Grande, Córdoba. Anales.
- [11] SAATY, T. 1991. Método de análisis jerárquica. São Paulo: Makron. 367p.



## Comportamiento de máquinas eléctricas con la tecnología de polos impresos

### Resumen

Se presenta una máquina eléctrica con un diseño innovador denominado Tecnología de Polos Impresos (Written-Pole®) que emplea un material magnético especial en el rotor que puede ser re-magnetizado en cada giro con alto valor de campo, además cuenta con una bobina adicional colocada en el estator conectada a la frecuencia de red que se enciende a una velocidad proyectada imprimiendo un patrón magnético de polos en el rotor, cuyo número es función de la velocidad y de la frecuencia. Se analizarán las características de calidad de energía eléctrica que tienen las máquinas monofásicas y trifásicas.

**Palabras clave:** Polos Impresos, Máquinas eléctricas, Calidad Eléctrica.

### Abstract

It presents a new type design of electric machines Technology Written-Pole® consists of a rotor that has a layer of special magnetic material that can be changed magnetically to any desired pole pattern while the machine is operating, also has an additional coil placed in the stator connected to the mains frequency is switched to a projected speed printing a magnetic pattern on the rotor poles, which number is a function of speed and frequency. We will analyze the characteristics of electric power quality with single and three phase machines.

### Introducción

La crisis energética a nivel mundial y el agotamiento previsible de combustibles fósiles, con el impacto negativo de éstos sobre el medio ambiente hace que el estudio de la eficiencia energética y el uso de energías renovables sea una alternativa real para encaminar a la sociedad hacia un desarrollo energético sostenible, lo que implica prestar atención a la eficiencia energética de equipos consumidores de energía, motores eléctricos en particular; tomar acciones que lleven a reducir el consumo de energía y a aumentar los beneficios finales con un menor impacto sobre el medio ambiente, e implementar medidas que permitan reducir el consumo de energía eléctrica.

Las máquinas eléctricas se encuentran en el ámbito industrial como parte fundamental de los procesos productivos y en los hogares como parte de los electrodomésticos, realizando en todas las aplicaciones trabajo mecánico, por lo tanto enfocarse a

Maximiliano Exequiel Véliz; Susana Prado Iratchet y Pablo Antonio Massa

Facultad de Ingeniería de la UNNE.

Email: jpilar @ing.unne.edu.ar

mejorar su performance tiene impacto directo sobre el ahorro energético.

Según B.C. Mecrow y A.G. Jack la mitad de la energía generada se consume en las pérdidas de las máquinas eléctricas, teniendo en cuenta esto, tiene sentido estudiar la mejora de la eficiencia de las máquinas eléctricas.

Las tecnologías se han enfocado en tres áreas para aumentar la eficiencia de las máquinas eléctricas: a) bajando los costos y mejorando los dispositivos de control, b) mejorando la eficiencia del conjunto drive- máquina, c) empleando nuevos materiales y diseños innovadores en máquinas eléctricas.

Actualmente son cada vez más las empresas que exigen altos niveles de calidad de suministro eléctrica como los centros de datos, la fabricación de microcontroladores, los hospitales, bancos, etc donde una interrupción en el suministro de energía es crítica para sus procesos. Incluso los retrasos momentáneos debido a microcortes ocasionan pérdidas en la productividad. Es importante que el suministro de energía no sufra cortes ni haya deformaciones de la calidad de la onda.

La máquina de Polos Impresos presenta un diseño innovador que quiebra el paradigma de construcción de máquinas, con un desempeño notable: baja corriente de arranque, alta eficiencia, confiable, sincrónico, arranca cargas de gran inercia, se restablece luego de breves interrupciones de potencia, re-arranca en breve tiempo, bajas armónicas en la entrada, factor de potencia alto durante el arranque, alto par de arranque por Ampere, diseño simple sin bobinas rotantes, cupla constante con arranques suaves, opera en todo el rango de tensiones y tolera desequilibrio de tensión de fase.

En la Universidad Nacional de General Sarmiento se inició un proyecto de nuevas tecnologías empleadas para mejorar la eficiencia de la conversión electromecánica en conjunto con la Universidad Nacional de La Plata, para estudiar la máquina Written-Pole® (Polos Impresos) por sus características de diseño, para analizar su comportamiento, profundizar en su modelado dinámico y generar conocimiento para asesorar en los nuevos diseños.

## Nomenclatura

$f_s$  [Hz]= Frecuencia del estator

$P$  = Número de polos.

$p$ = Par de polos.

$n_r$  [r.p.m.] = Velocidad mecánica del rotor.

$T_e$  [N\*m]= Cupla electromagnética resultante de la acción entre  $\Phi_{sr}$  y  $F$ .

$F$  [Av]= Valor eficaz de la componente fundamental de la onda de FMM del inductor.

$\Phi_{sr}$  [Wb]= Valor eficaz del flujo neto por polo que atraviesa el entrehierro.

$\delta$  [rad]= Ángulo eléctrico entre el flujo y la FMM de la armadura.

$\omega_r$  [rad/s]= Velocidad angular de rotación mecánica del eje de la máquina.

$\omega_s$  [rad/s]= Velocidad sincrónica eléctrica de rotación del campo magnético en el entrehierro.

$\omega_t$  [rad/s]= Velocidad de transición eléctrica a partir de la cual se excita la bobina encargada de la impresión de los polos en la tecnología de polos impresos.

## Tecnología de polos impresos

En la década de 1990, el Instituto de Investigación de la Energía Eléctrica (EPRI: Electric Power Research Institute) de los Estados Unidos le solicita a la empresa Precise Power Corporation [1] (PPC) que desarrolle una máquina monofásica de baja corriente de arranque. La empresa PPC desarrolla la Tecnología de Polos Impresos (Written-Pole®) [2] que fue nominada en 1994 por R&D 100 Award from R&D Magazine como uno de los 100 productos tecnológicamente más importantes de ese año.

La máquina de polos impresos, que se comporta en el arranque como máquina asincrónica con gran torque y en condiciones nominales pasa a comportarse como una máquina sincrónica, presenta algunas propiedades que la convierten en una alternativa

interesante para aquellos emprendimientos rurales que necesiten una potencia mayor a los 10 HP y como motor-generador para reemplazar UPS en procesos industriales críticos. Entre sus características se destacan la baja corriente de arranque (1.7 a 3 veces la nominal) lo que reduce significativamente los huecos de tensión en la línea de distribución, la buena eficiencia en operación (del 91% al 95%), el factor de potencia unitario, menores pérdidas eléctricas, la alta inercia de arranque, la capacidad de re arranque instantáneo luego de una interrupción de potencia momentánea (del orden de los 15 seg), la capacidad de continuar soportando una carga por algún tiempo cuando se produce una interrupción de potencia.

La impresión del polo cuando la máquina está funcionando como generador producir una onda senoidal de bajo contenido armónico y frecuencia constante aún con velocidad variable a la salida. El rotor opera como un dispositivo de almacenamiento de energía en el volante. Trabajando como grupo motor-generador mejora la calidad de la energía, dado que cualquier armónico generado en la carga no se retroalimenta a la red de distribución, y a su vez problemas de la red como transitorios, caídas de tensión (de 15 segundos o más), descargas atmosféricas, sobretensiones, etc., no llegan a afectar a los dispositivos electrónicos sensibles. La energía del rotor es usada, eliminando así la necesidad de baterías. El generador puede funcionar con alta tasa de distorsión armónica de la tensión de red.

Este diseño abre las puertas para la construcción de máquinas con nuevos enfoques, con ventajas relevantes como máquina monofásica (Written-Pole) para potencias mayores a los 10 hp y como trifásica (Roesel) en la generación distribuida, impactando directamente en el ahorro energético y en la calidad de energía. [2]

## Descripción de la máquina

### Rotor

El rotor es tipo jaula de ardilla donde las barras son de acero laminado de alta resistencia que reduce la corriente de arranque a 1/6 de las máquinas convencionales. Está recubierta por una capa continua de material magnético (Figura 1) de alta anisotropía en la dirección orientada del campo necesitando para magnetizar o re-magnetizar el campo magnético (B) valores muy pequeños de intensidad del campo magnético (H) (por ende de la corriente) [3].

Como en el diseño de los motores de Polos Impresos (Written-Pole®) el rotor puede estar dispuesto

externamente girando alrededor de un estator interior (Figura 2), opuesto a los motores convencionales, esta estructura invertida crea un efecto de inercia en el volante que le permite soportar perturbaciones de la calidad de la energía por interrupciones momentáneas de la tensión de hasta 15 segundos [2].

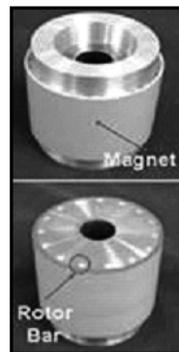


Figura 1. Rotor interno máquina de Polos Impresos.

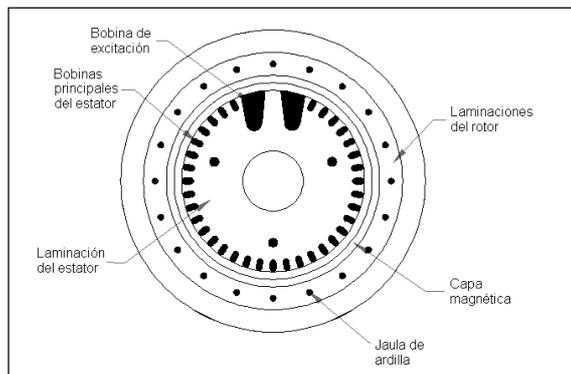


Figura 2. Diagrama del motor de polos impresos con rotor externo.

### Estator

El estator de este motor es muy similar a un motor de inducción típico formado por chapas laminadas. Estas chapas son de acero de bajas pérdidas eléctricas. Los bobinados son similares tanto en diseño como en función a los utilizados en un motor de inducción o síncrono convencional. La característica distintiva del motor de Polos Impresos (Written-Pole®) es el uso de una bobina de excitación concentrada ubicada entre las bobinas principales del estator (figura 3). La bobina de excitación se diseña para producir un campo magnético potente lo suficientemente grande como para magnetizar totalmente la parte magnética del rotor a la frecuencia de red [4]. Se enciende electrónicamente imprimiendo o destellando polos temporales sobre la capa de imanes semipermeables dispuestos en el rotor a medida que el rotor gira, como la velocidad de la máquina va variando, el número de polos no es

constante pudiendo ser impar e incluso fraccionario.

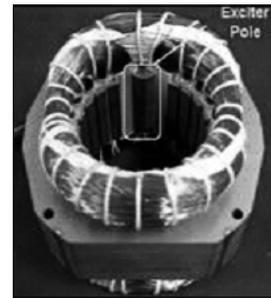


Figura 3. Estator con la bobina adicional (polo excitador).

### Funcionamiento

En la teoría clásica el requisito para obtener salidas equilibradas en las máquinas es que “el número de pares de polos magnéticos debe ser igual para el rotor y el estator”, la desviación de este principio produce una máquina inestable. La máquina con la Tecnología de Polos Impresos (Written-Pole®), parece contradecir este principio, el número de polos que se imprimen en el rotor se correlacionan con su velocidad mecánica pudiendo en una vuelta ser impar e incluso fraccionario siempre que se cumpla la Ec. (1), como se muestra en la Tabla 1. Esta máquina es estable porque los polos temporales que se imprimen en el rotor le permiten al motor desarrollar una cupla síncrona, Ec. (2).

$$f_s = \frac{P \cdot n_r}{120} [\text{Hz}], \quad (1)$$

Donde  $f_s$ = frecuencia del estator [Hz],  $P$ = número de polos,  $n_r$ = velocidad mecánica del rotor [r.p.m].

$$T_e = K \cdot \Phi_{sr} \cdot F \cdot \text{sen} \delta [\text{N} \cdot \text{m}], \quad (2)$$

Donde  $T_e$ = cupla electromagnética [ $\text{N} \cdot \text{m}$ ],  $F$ = valor eficaz de la componente fundamental de la onda de FMM del inductor [Av],  $\Phi_{sr}$ = valor eficaz del flujo neto por polo que atraviesa el entrehierro [Wb],  $\delta$ = ángulo eléctrico entre el flujo y la FMM de la armadura [rad],  $K = (2^{1/2}) \cdot (\pi/2) p^2$ .

Cuando el motor de Polos Impresos (Written-Pole®) alcanza aproximadamente el 80% de su velocidad síncrona, se conecta la bobina de excitación adicional en el estator imprimiendo o centelleando polos en la capa de imanes semipermeables del rotor [5]. Estos polos impresos temporales le permiten al motor desarrollar un más alto par cuando se aproxima a su velocidad síncrona. Al alcanzar la velo-

cidad nominal, se desactiva la bobina de excitación quedando la máquina funcionando como máquina sincrónica. Si por alguna contingencia, debida a fluctuaciones en la energía de alimentación o a variaciones en la carga, la velocidad retórica decae, el sistema automáticamente reinicia la impresión para mantener la salida constante [2].

Dada su baja corriente de arranque este motor arranca a tensión plena y con carga máxima sin ocasionar calentamiento. Además ante una falla momentánea que lo saca de servicio puede re-arrancar fácilmente conectándose solamente el capacitor de arranque necesario para producir la cupla de arranque.

Un motor de Polos Impresos (Written-Pole®) presenta tres modos de funcionamiento basados en la velocidad de rotación de la máquina. Ellos son: el modo arranque, modo de transición, y modo de operación [6].

**Modo arranque ( $\omega \geq \omega_r \leq \omega_s$ )**

Es el modo de operación del motor desde que está parado hasta la velocidad denominada de transición. El motor se comporta como un motor de inducción convencional con el aditamento de una capa de ferrita siendo la velocidad del rotor ( $\omega_r$ ) menor que la velocidad de transición ( $\omega_t$ ). Esta velocidad de transición se puede elegir entre 70 a 90% de la velocidad de sincronismo ( $\omega_s$ ) siendo un valor usual el 80%. El par que acelera la máquina a su velocidad nominal, como se muestra en la Figura 4, se produce por el efecto de histéresis y de inducción. El par de histéresis es producido cuando las corrientes del estator magnetizan la ferrita, el par de inducción está dado por la alta resistencia de la jaula y los capacitores.

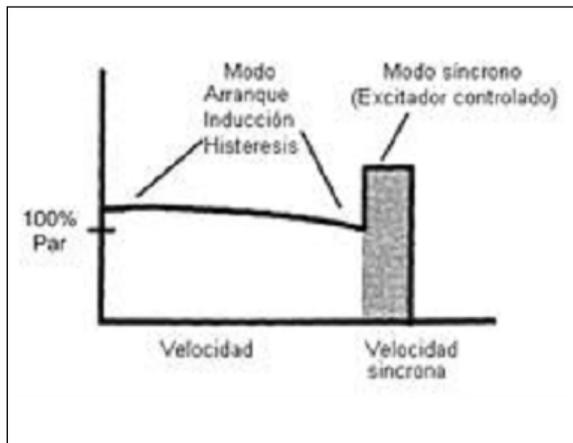


Figura 4. Características de par del motor de Polos Impresos (Written-Pole®).

**Modo de transición ( $\omega_t \leq \omega_r \leq \omega_s$ )**

Es el modo de funcionamiento que se produce desde que la velocidad del rotor coincide con la velocidad de transición elegida hasta cuando la máquina llega a la velocidad de sincronismo. Al llegar a la velocidad de transición deseada se desconecta el capacitor de arranque y se energiza la bobina concentrada adicional que se encuentra en el estator, encargada de imprimir los polos en el rotor que se ve en la Fig. 1. Comienza a imprimir en la capa magnética de ferrita polos magnéticos cuyo número es función de la frecuencia del estator y de la velocidad de transición del rotor manteniéndose siempre la igualdad de (1).

Los polos se reimprimen en el rotor en diferente lugar físico mientras la velocidad se va incrementando. En el rotor se producen dos campos durante esta transición, uno creado por las corrientes inducidas y otro producido por los polos impresos.

El circuito de la bobina excitadora se diseña de forma tal que los campos magnéticos de los polos impresos por ella se encuentren en fase con el campo magnético principal del estator para que se produzca un par máximo ( $\tau_{max}$ ) similar al par de un motor síncrono, mientras la velocidad del rotor va creciendo para llegar a la velocidad sincrónica ( $\omega_s$ ). Se puede concluir aquí que el motor de polos impresos trabaja como un motor síncrono en una franja de velocidades que van desde  $\omega_t$  a  $\omega_s$ .

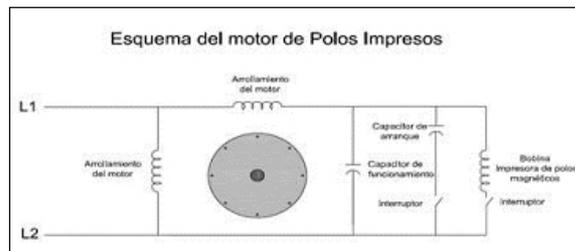


Figura 5. Circuito de arranque y operación del motor de Polos Impresos (Written-Pole®).

**Modo sincrónico  $\omega_s$**

Cuando el motor alcanza la velocidad de régimen ( $\omega_s$ ) se apaga la bobina excitadora quedando impresa en la capa de ferrita el último patrón de polos, funcionando como un motor sincrónico convencional de imanes permanentes.

**Características de calidad de energía de las máquinas de polos impresos (written pole®) monofásicos**

La máquina Polos impresos (Written-Pole®) tiene las siguientes características de calidad:

### Baja corriente de arranque

Necesita sólo un tercio o un cuarto de la corriente de arranque de los motores de inducción monofásicos convencionales de igual potencia. Al disminuir 2 a 3 veces la corriente de arranque no provoca un hueco de tensión que afecten a los demás usuarios. De esta manera es posible aumentar notablemente la potencia instalada, ver tabla N° 1 donde se pueden observar las características de las máquinas monofásicas de Polos impresos (Written-Pole®) para 60 Hz según la potencia [7].

observa el comportamiento de esta máquina durante el arranque.

### Factor de potencia unitario y buena eficiencia energética en rango amplio de velocidad

La alta eficiencia de operación de un motor de Polos impresos (Written-Pole®) monofásico se hace posible por el hecho de que su modo síncrono de operación elimina pérdidas comúnmente asociadas con el deslizamiento en motores de inducción convencionales. Por la eliminación de las pérdidas

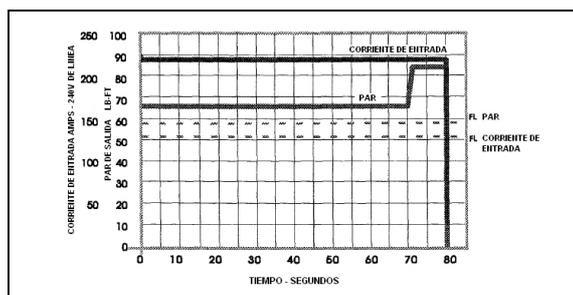
**Tabla 1.** Características de los motores de Polos Impresos (Written-Pole®) monofásicos de 15 a 60 hp.

Potencia [h.p.]	15	20	25	30	40	50	60
Corriente de carga máxima (Amp) (240V)	52	67	84	100	133	166	198
Corriente de arranque	100	125	164	196	210	300	350
Corte de red a máxima carga:							
a. RPM después de 5 seg.	3300	3450	3400	3350	3300	3400	3400
b. RPM después de 10 seg.	3000	3250	3200	3150	3000	3050	3000
Torque (N m) a máxima carga	28,35	39,15	48,6	58,05	78,3	98,55	117,45
Torque (N m) de arranque	32,4	44,55	54	64,8	87,75	110,7	130,95
Torque de re arranque (después de un corte)	36,45	51,3	63,45	78,3	101,25	128,25	151,2
Eficiencia %	90	91	92	93	93.5	94.0	94.5
Rango de Temp ambiente	Temp ambiente 4°C a 40°C						

Este diseño no sacrifica el torque de arranque y no necesita dispositivos de reducción de tensión en el arranque para reducir la corriente. Al ser menor su corriente de arranque no produce calentamiento por lo que se puede emplear mayor tiempo para el arranque evitándose el penduleo tan característico de los motores monofásicos [6]. En las figuras 6 se

resultantes en el rotor, los motores de Polos impresos (Written-Pole®) monofásicos son capaces de reducir sustancialmente las pérdidas totales, mejorando la eficiencia de operación, que se ve reflejada en la reducción de la facturación mientras que la menor corriente se refleja en la disminución de la sección de los cables, en los transformadores y en los contactores, por lo que se puede aumentar la potencia disponible sin variar los requisitos de corriente y potencia, ver tabla 1.

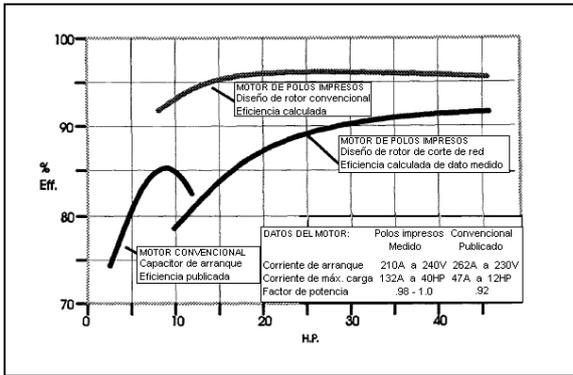
El modo síncrono de operación de un motor de Polos impresos (Written-Pole®) monofásico permite eficiencias de operación muy altas comparables a las de los motores trifásicos de alta eficiencia con características similares como se muestra en la figura 7.



**Figura 6.** Corriente de arranque y par de arranque del motor de polos impresos monofásico de 40 HP de rotor externo vs. Tiempo de Arranque normal.

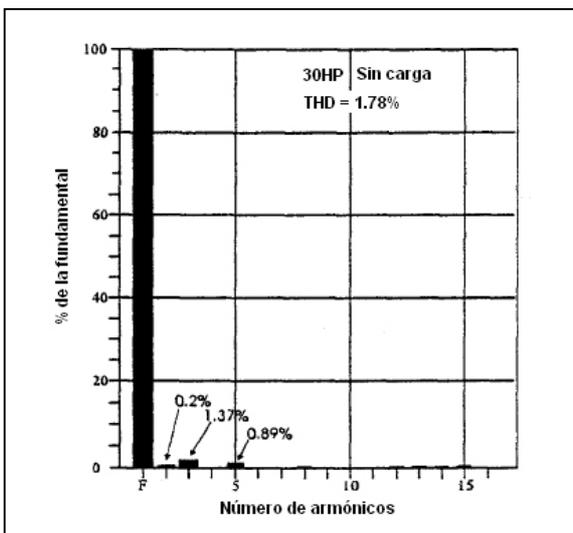
### Diseño robusto y simple

Elimina la necesidad de arrancar con tensión reducida y al no emplear convertidores de fase (para



**Figura 7.** Rendimiento de un motor de inducción convencional monofásico vs. Datos preliminares de un motor monofásico de Polos impresos (Written-Pole®) de 40 hp.

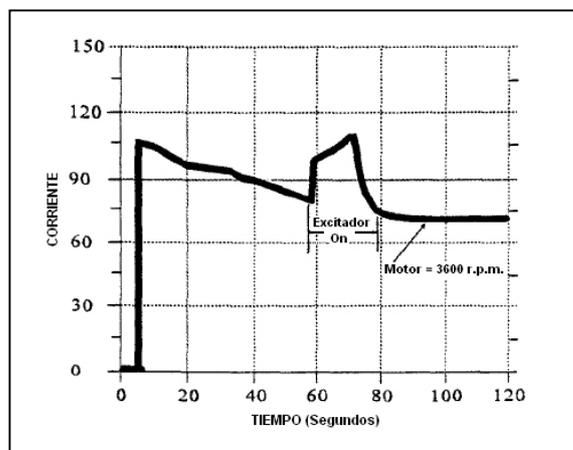
el caso monofásico) no se introducen armónicas en la red reduciendo la complejidad de la instalación y disminuyendo las necesidades de mantenimiento. Los sistemas electrónicos basados en microprocesador, que se utilizan actualmente en distintos dispositivos de uso cotidiano exigen una mayor calidad de suministro de energía. Los centros de datos, las plantas de fabricación, los servidores Web y los centros financieros dependen de la calidad del servicio, requiriendo una confiabilidad cercana al 99.99%. Incluso los retrasos debidos a paradas momentáneas ocasionan pérdidas en la productividad. En la gráfica de la figura 8 se observa el contenido de armónicas para el motor sin carga (ésta es la situación más desfavorable pues el contenido de armónicas se reduce al cargarse el motor).



**Figura 8.** Contenido de armónicas de la tensión de entrada de un motor de Polos impresos (Written-Pole®) de 30 hp con rotor externo (sin carga).

### Capacidad de arrancar cargas de alta inercia

Al generarse menos calor puede prolongarse el tiempo para alcanzar el estado de régimen, por lo que se pueden arrancar cargas 10 veces mayores que las que podría arrancar un motor de inducción convencional de igual potencia. Un funcionamiento más suave disminuye el desgaste del sistema. Este efecto es aún más importante en las máquinas con rotor externo, cuya capacidad es reforzada porque está máquina sincroniza mientras cambia su velocidad estando bajo carga. A modo de ejemplo, en la figura 9 se presenta la evolución de la corriente cuando un motor opera a un compresor.



**Figura 9.** Corriente de arranque de un motor de Polos impresos (Written-Pole®) de 20 hp con rotor externo operando un compresor. (Carga = 17 hp).

### Capacidad de re-arranque instantáneo

Las características de arranque de estos motores les permiten un re-arranque instantáneo después de una interrupción momentánea de energía sin producir los transitorios con alto contenido de armónicas comunes en los motores de inducción monofásicos y trifásicos cuando salen de servicio. Este motor puede soportar cortes de energía de hasta 15 segundos sin desengancharse y puede re arrancar inmediatamente una vez restaurada la energía eléctrica sin provocar grandes transitorios que dañen al motor o a la máquina accionada. En un generador convencional, el rotor gira a una velocidad fija, por ejemplo 1800 rpm (60 Hz). Cuando se produce una interrupción de energía la velocidad cae a 1260 rpm después de 2 segundos. Como la posición de los polos magnéticos en una máquina convencional es permanente, cuando la velocidad cae también lo hace la frecuencia a 42Hz, valor suficiente para que se interrumpa el funcionamiento. En la máquina de Polos impresos (Written-Pole®) la velocidad del rotor

también se reduce después de una interrupción de energía pero la bobina del estator vuelve a imprimir los polos norte y sur sobre la capa magnetizable del rotor 60 veces por segundo. Esencialmente la bobina posiciona los polos para mantener una frecuencia de 60 Hz evitando así la interrupción del funcionamiento de la carga. Debido a su capacidad de alterar la ubicación de los polos en el rotor para que coincida con la velocidad mecánica, el motor no dejará de funcionar inmediatamente después de la pérdida de potencia, en su lugar, funciona durante 15 segundos o más antes de pararse. Cuando el rotor del motor de Polos impresos (Written-Pole®) monofásico tiene una configuración externa es posible realizar una integración creando un efecto de volante que le permite al motor continuar arrastrando la carga por más tiempo después de una interrupción de potencia (a una velocidad ligeramente reducida). Este volante suaviza el arranque y las paradas del motor reduciendo los golpes de ariete en los sistemas de riego, bombas de agua, ventiladores y sistemas de transporte. El rango de potencia de los motores monofásicos de Polos impresos (Written-Pole®), actualmente, va desde 15 hp hasta 100 hp.

### Características de calidad de energía de las máquinas de polos impresos (written-pole®) trifásicas

Actualmente los microprocesador, exigen una mayor calidad al suministro de energía porque los creciente de centros de datos, las plantas de fabricación, servidores Web y los centros financieros exigen una ultra-confiabilidad del 99.99% porque aún los retrasos momentáneos debido a interrupciones breves ocasionan pérdidas en la productividad. Es importante que la alimentación de energía no sufra cortes ni haya deformaciones de la calidad de la onda tanto para la fabricación de chips semiconductores como en el proceso de mezclar ingredientes para alimentos y bebidas porque si durante el proceso de fabricación un motor pierde potencia por una fracción de segundo debido a las fluctuaciones de la señal de tensión o a cambios en la carga, el resultado es generalmente un lote destruido.

El conjunto trifásico desarrollado por PPC forma un solo bloque integrado, donde el motor trifásico y el generador están fabricados con tecnología de Polos Impresos (Written-Pole®) y se acoplan a través de un rotor externo compartido. Al conjunto se denomina ROESEL® o MGR. En la figura 10 se aprecia la zona de generador y la de motor con sus devanados y sus capas de material magnético. El conjunto

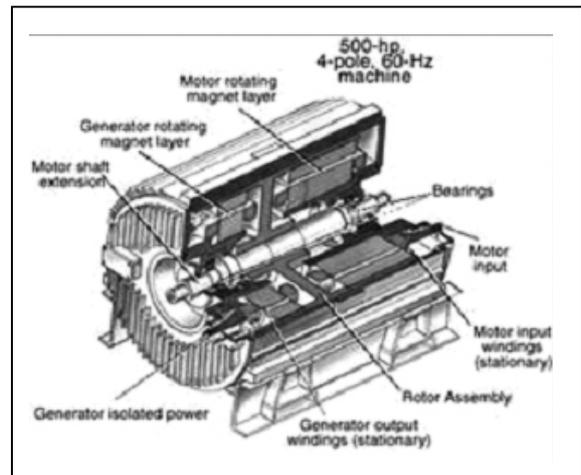


Figura 10. Motor Generador Roesel de 500 hp. Meridium Power Inc.

ROESEL® o MGR es una tecnología madura que se emplea para la conversión de tensión, frecuencia y fase. Se lo usa instalado a la entrada de alimentación de una industria utilizando el motor para impulsar mecánicamente al generador. El generador produce una señal de salida de calidad a frecuencia constante con velocidad variable del rotor, el motor opera de manera eficiente al tener un rotor de alta inercia que le permite almacenar energía en el volante. El conjunto aísla permanentemente al sistema de distribución de la carga suministrando la tensión a frecuencia nominal cuando se producen interrupciones de energía de hasta 15 segundos. Con el agregado de que el generador del MGR actúa como un filtro para las armónicas por lo que no produce disturbios en el sistema de distribución.

A continuación, en la tabla 2 se mencionan las características del grupo motor-generador trifásico con la tecnología de polos impresos:

### Conclusiones

Este diseño de máquinas eléctricas que consiste en emplear una capa de material magnético de alta permeabilidad en el rotor y una bobina concentrada comandada electrónicamente en el estator presenta unas bondades que hacen interesantes continuar profundizando esta tecnología constructiva para poder realizar desarrollos en nuestro país.

Es relevante que incursionemos en la fabricación de máquinas eléctricas innovadoras que partiendo de una conversión electromecánica que emplee energías primarias limpias y que además disminuya los disturbios momentáneos y la contaminación de armónicos en la red.

**Tabla N°2.** Características del grupo Motor Generador ROESEL® de 35 a 60 kVA.

Potencia[kVA]	35 kVA	40 kVA	50 kVA	60 kVA
Tensión C.A.[V] (+10% - 15%) de entrada 3 fases, 4 hilos	208	208 / 480	208	480
Corriente nominal[A]	100A	105A / 45A	130A	67A
Corriente de arranque	250A	263A / 113A	239A,	168A
Factor de potencia para carga asignada	0.95 (MIn)			
Potencia de salida [kW]	28	32	40	48
Factor de potencia de carga	0.9 adelanto a 0.8 atraso			
Transitorio (0-50 msec) < 50% variación de la carga	-15% to +10%			
Transitorio (50 msec – 500 msec) < 50% variación de la carga	± 8%			
Tasa de distorsión armónica (Cargas lineales)	≤ 3%			

La tecnología Written-Pole más que una gran solución, es un inductor de conciencia y de cómo se tiene que estudiar las máquinas eléctricas variando el enfoque tradicional hacia uno que mire desde la calidad, sustentabilidad, eficiencia energética.

### Bibliografía

- [1] John F. Roesel Jr. (1995) "introduction and Overview of "Witten-Pole"™ Technology. IEEE Conference. 10.1109/NORTH.485026.1995.
- [2] Susana Prado Iratchet, Fabiana Ferreira Aycardi, Andrea Pinzón Montes, Maximiliano Veliz. (2012) "La tecnología de Polos Impresos: una alternativa para mejorar la Calidad de la Energía". II Congreso Latinoamericano de Distribución Eléctrica CLADE 2012, Rosario, Santa Fe, Argentina. ISBN: 978-987-97399-5-2.
- [3] Byung-Taek Kim, Dae-Kyong Kim, Se-Hyun Rhu and Byung Il Kwon,(2007): "A Study on the Ferromagnetic Layer of a Single-phase Writtenpole Motor in Consideration of Demagnetizing Field Intensity". Prodeeding of International Conference on Electrical Machines and Systems, Seoul, Korea.
- [4] Byung-Taek Kim, Dae-Kyong Kim, Se-Hyun Rhyu, Duck-Shick Shin, and Byung-II Kwon (2009). "Exciter Design and Characteristic Analysis of a Written-Pole Motor", IEEE trans. On Mag.,Vol 45 N°3. pp 1768-1771. ).

[5] Jae-Hak Choi, Sung-Ho Lee (2009). "The rewritable effects of bonded magnet for large starting par and high efficiency in the small power single-phase written pole motor". Journal of Applied Physics 105, 07F117.. American Institute of Physics. (DOI: 10.1063/1.3076418). (2009).

[6] Susana Prado Iratchet, Andrea Pinzón Montes, Maximiliano Veliz, Pablo Massa, (2012) "Modelando la máquina eléctrica de Polos Impresos- Written Pole®" I Congreso Argentino de Ingeniería CADI 2012, Mar del Plata, Argentina. ISBN 978-987-1312-46-7.

# Análisis energético y ambiental de instalaciones solares para el calentamiento de agua

Albizzati Enrique<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería Química - Universidad Nacional del Litoral Santiago del Estero 2654 - 3000 - Santa Fe-Argentina. Tel.: 342 4571160  
Email: albizzati@fiq.unl.edu.ar

## Resumen

El análisis del ciclo de vida se aplica para calcular la energía generada y la mitigación de emisiones en instalaciones solares para calentamiento de agua. Se comparan sistemas con diferentes pérdidas de calor de los colectores e igual período de amortización energética o ambiental. La generación neta es máxima con gas licuado y menores pérdidas, pero el cociente entre las energías generada y consumida por los colectores aumenta con las pérdidas. La mitigación neta es más alta con electricidad y menores pérdidas, pero la relación entre las emisiones neta y propia de los colectores crece por las pérdidas de calor.

**Palabras clave:** solar, energía, emisiones, calentamiento, agua.

## Abstract

The life cycle analysis is applied to calculate the energy generated and mitigations of emissions in solar water heating installations. Systems with different thermal losses of the collectors and equal energetic or environmental payback period are compared. The net generation is maximal with liquefied gas and lower losses, but the ratio between energy generated and consumed by the collectors increases with the losses. The net mitigation is highest with electricity and lower losses, but the ratio between net emissions and the collectors emissions is increased for the losses.

**Keywords:** solar, energy, emissions, heating, water.

## 1. Introducción

El empleo intensivo de los combustibles fósiles en los países industrializados y la emisión de gases de efecto invernadero, está provocando el denominado Cambio Climático Global con su secuela de daños medioambientales y socioeconómicos [1,2]. Además la incertidumbre acerca de la futura disponibilidad de las energías no renovables y la contaminación ambiental provocada por esas fuentes de energía, favorecen los proyectos destinados a la incorporación de las fuentes renovables y no convencionales de energía.

En este marco puede decirse que entre las energías renovables y poco contaminantes, la energía solar y las tecnologías aplicables para su transformación y aplicación, son algunos de los recursos más importantes con que se cuenta para modificar el sistema energético a nivel mundial. La energía solar crece más rápidamente que cual-

quier otra tecnología renovable. Los colectores solares de agua caliente son utilizados por más de 200 millones de hogares, así como en edificios públicos y comerciales en todo el mundo [3,4].

Dado que los impactos de la generación y uso de los recursos energéticos son comunes a la mayoría de los sistemas pero difieren en magnitud de acuerdo a las diversas condiciones, para evaluar la energía solar se debe considerar el ciclo completo del sistema energético, siendo aplicable el método conocido como Análisis de Ciclo de Vida (ACV). El ACV se basa en la recopilación de datos sobre las entradas y salidas del sistema para, con el procedimiento adecuado, obtener resultados que muestren sus impactos potenciales [5,6].

En diversas publicaciones se aplicó el ACV con diferentes objetivos y herramientas de cálculo para casos de calentamiento solar de agua en viviendas [7-12]. Debe tenerse en cuenta que la energía térmica generada a partir de la radiación solar, puede ser considerada como energía convencional ahorrada. Este reemplazo a su vez provoca la consiguiente mitigación de la emisión de contaminantes de la atmósfera.

En este trabajo, se presenta una metodología para calcular la energía solar térmica generada y la mitigación de emisiones en instalaciones para calentamiento de agua. El procedimiento se aplica en instalaciones con electricidad y gas licuado como fuentes complementarias. Luego considerando el ACV de instalaciones típicas, se calculan los valores netos de la energía generada y los gases no emitidos, y los períodos de amortiza-

ción energética y ambiental. Como los colectores solares pueden construirse con diversas técnicas y materiales, en diferentes instalaciones se determina el efecto del parámetro que caracteriza las pérdidas térmicas, hallando la energía y las emisiones que se pondrían en juego para casos en que se igualan los respectivos períodos de amortización.

## 2. Materiales y método

### 2.1. Instalaciones solares térmicas

Una instalación usada comúnmente para el calentamiento solar de agua se compone de colectores planos, un tanque de almacenamiento y cañerías de distribución del fluido, disponiéndose además de una fuente de energía complementaria (Figura 1).

El sistema para calentamiento de agua es pasivo ya que la circulación del fluido es por convección natural. La fuente auxiliar de energía en las instalaciones está en la cañería que conduce el agua caliente para consumo. La instalación para el calentamiento con aporte solar tiene dos colectores planos de 1,8 m<sup>2</sup> cada uno, posicionados con 30° de inclinación al norte geográfico. El tanque de almacenamiento es de 240 L, el consumo de agua se fija también en 240 L diarios a 45 °C de temperatura, y la temperatura del agua fría es 18 °C.

Como se observa en la Tabla 1, la instalación típica puede usar electricidad (SE-C) o gas licuado (SGL-C). Los parámetros característicos del colector solar plano adoptado para todo el estudio son: FR E = 0,70 y FR UC = 6,0 W/m<sup>2</sup> °C. FR el factor de remoción del calor, E la eficiencia óptica y UC el coeficiente de pérdidas de calor del colector solar empleado [13,14].

En las instalaciones típicas se contempla el empleo colectores solares planos, donde la radiación solar global que se transmite por una cubierta semitransparente, es absorbida por la placa absorbente y se convierte en energía térmica [15-17]. Esta energía se transfiere hacia el agua que circula por canales paralelos conformados entre dicha placa y otra placa soldada debajo. Entre la placa superior y la cubierta

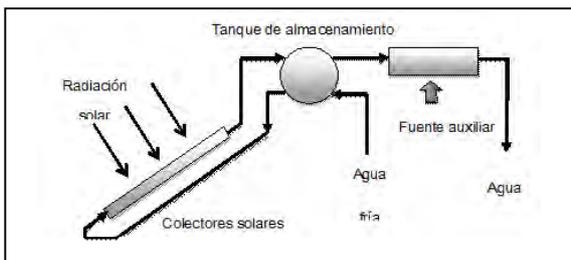


Figura 1. Esquema de la instalación combinada de calentamiento de agua.

Tabla 1. Instalaciones para calentamiento de agua.

Instalación		$F_R U_C$ (W/m <sup>2</sup> °C)
Solar-Electricidad	SE-A	2,0
	SE-B	4,0
	SE-C	6,0
	SE-D	8,0
	SE-E	10,0
Solar-Gas licuado	SGL-A	2,0
	SGL-B	4,0
	SGL-C	6,0
	SGL-D	8,0
	SGL-E	10,0

hay una cámara de aire; se utiliza además un material aislante en el fondo y en los laterales.

Como los colectores pueden construirse con diversas técnicas y materiales, en la tabla anterior se listan otras instalaciones, en las cuales es variable el parámetro FR UC que, según la normativa, caracteriza las pérdidas térmicas de los equipos solares. Debe observarse que en el análisis el otro parámetro que caracteriza a los colectores solares (FR E) se mantiene invariable.

Las pérdidas de calor al ambiente aumentan si la placa absorbente tiene alta emisividad de la radiación infrarroja. También, si la cubierta semitransparente posee baja capacidad para reflejar la radiación que emite la placa, o si la aislación de los colectores solares es deficiente. Por otra parte, si la placa absorbente está directamente expuesta, es decir que no hay una cubierta, se origina un aumento significativo del calor que se pierde por convección y radiación al medio ambiente.

Asimismo, para disminuir las pérdidas de calor al ambiente el colector solar plano puede tener dos cubiertas semitransparentes en vez de una sola, ambas separadas por cámaras de aire. Otra técnica muy usada consiste en recubrir la placa absorbente con materiales selectivos que tienen alta absorptividad de la radiación solar y baja emisividad de la infrarroja.

Cuando se quiere contar con valores de FR U aún más bajos, el agua que se calienta circula por un conjunto de tubos evacuados dispuestos en paralelo. Cada tubo evacuado es un tubo absorbente de la radiación solar por el que circula el fluido, rodeado de otro tubo de vidrio semitransparente. En el espacio entre los dos tubos se hace vacío, extrayéndose el aire interior para

evitar la convección y disminuir así las pérdidas de calor al ambiente [15-17].

## 2.2. Radiación y aporte solar a la demanda

La computación de la radiación solar promedio recibida por los colectores se realiza utilizando los valores de la componente directa y la componente difusa de la radiación solar en el plano horizontal. La radiación solar global promedio para cada día del mes en el plano horizontal (HG), es la suma de la radiación directa del sol (HD) y la radiación del cielo (Hd).

$$H_G = H_D + H_d \quad (1)$$

La radiación total que alcanza la superficie absorbidora (HT) es la suma de la radiación directa, la radiación difusa proveniente del cielo, y la radiación reflejada por el suelo que rodea a dicha superficie [16].

HT se expresa como el producto de la radiación global horizontal multiplicada por un factor R, indicativo de la variación de la radiación respecto a la que incide en el plano horizontal.

$$H_T = R H_G \quad (2)$$

El factor R está compuesto por tres términos relacionados con la radiación directa, la difusa del cielo y la reflejada. R puede calcularse según:

$$R = (H_D / H_G) RD + (H_d / HG) [(1 + \cos B)/2] + \rho [(1 - \cos B)/2] \quad (3)$$

La superficie está inclinada un ángulo B y RD es el cociente entre la radiación directa en la superficie inclinada y en el plano horizontal. RD se calcula teniendo en cuenta la declinación solar, la latitud del lugar de la instalación, el ángulo azimutal, la inclinación de la superficie colectora y los ángulos horarios de salida y puesta del sol en un día representativo.

Por otra parte, la contribución de la energía solar a la demanda térmica en las instalaciones combinadas, se determina con el método f-chart. La fracción de la energía solar aportada en cada mes (f), se determina en función de dos parámetros adimensionales [16]:

$$f = 1,029 Y - 0,065 X - 0,245 Y^2 + 0,0018 X^2 + 0,0215 Y^3 \quad (4)$$

X relaciona la cantidad de radiación solar incidente sobre los colectores con la demanda térmica, e Y es el cociente entre las pérdidas de energía del sistema y la citada demanda. Estos parámetros se estiman con:

$$X = F_R U_c (T_r - T_a) (A/Q) 24 n \quad (5)$$

$$Y = F_R E H_T (A_c/Q) n \quad (6)$$

En las expresiones anteriores, n es el número de días del mes,  $T_a$  la temperatura ambiente,  $T_r$  es 100 °C. Para la aplicación del método f-chart se tienen en cuenta correcciones para los parámetros X e Y originadas por la temperatura del agua caliente, el volumen de agua en el tanque, la eficiencia óptica y el factor de remoción de calor del colector solar.

La demanda térmica mensual (Q) se calcula con el volumen (V), la densidad (p), el calor específico (c), la temperatura caliente ( $T_c$ ) y la temperatura fría ( $T_f$ ) del agua:

$$Q = V p c (T_c - T_f) \quad (7)$$

La fracción anual aportada por la energía solar a la demanda térmica (F) resulta de una sumatoria aplicada para los doce meses del año:

$$F = \sum (f Q)_i / \sum Q_i \quad (8)$$

Finalmente, la eficiencia térmica anual de la instalación solar (Et) se calcula con el cociente entre la energía solar térmica generada y la radiación total solar incidente en los colectores:

$$E_t = \sum (f Q)_i / A \sum (H_T n)_i \quad (9)$$

## 2.3 Análisis de ciclo de vida

El ACV de un producto debe incluir todas las entradas y salidas en los procesos que participan a lo largo de su ciclo de vida: la extracción de materias primas y el procesamiento de los materiales necesarios para la manufactura de componentes, el uso del producto eventualmente su reciclaje y/o la gestión final. El transporte, almacenaje, distribución y otras actividades se incluyen cuando tienen la relevancia suficiente.

En el ACV se seleccionan las categorías a tener en cuenta. Dos categorías de impacto que resul-

tan muy significativas son el consumo energético (la energía para la obtención de las materias primas, fabricación, distribución, uso y fin de vida del producto), y el calentamiento global (medida que muestra un aumento en la temperatura promedio de la atmósfera y de los océanos en las últimas décadas). En el calentamiento se considera el efecto de los gases que producen el efecto invernadero, en equivalentes de dióxido de carbono.

Para efectuar el inventario de ciclo de vida de las instalaciones solares estudiadas, se pueden utilizar herramientas relativamente simples. Los datos relacionados con la energía consumida y las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a los diversos materiales usados en la instalación solar se obtienen de bases internacionales [18,19]. En Argentina no se dispone de información, por lo que debe recurrirse a las bases citadas.

También se hace necesario tener información de las emisiones producidas por el uso de las fuentes auxiliares de energía en el sistema solar. Para esto se recopilan y procesan datos de las emisiones originadas por el empleo de electricidad y gas licuado [18-20]. Se tiene presente que en Argentina opera el Sistema Argentino de Interconexión y la generación eléctrica es producida con energía térmica, hidráulica y nuclear.

## 2.4 Energía generada y mitigación de emisiones

Para determinar la energía térmica generada y la mitigación de las emisiones en cada instalación combinada se contemplan la producción energética y la emisión de gases evitados al funcionar con energía solar. A estos valores brutos se deben descontar respectivamente, la energía consumida y las emisiones provocadas por los requerimientos propios de la instalación solar antes, durante y después de su funcionamiento.

Entonces los valores netos de la energía generada y de la mitigación de las emisiones ( $E_n$ ) se calculan en cada caso, mediante la diferencia entre la energía solar aportada o la mitigación de emisiones ( $E_b$ ), y el consumo energético o la emisión en el ciclo de vida ( $E_i$ ):

$$E_n = E_b - E_i \quad (10)$$

$$E_i = e_i A \quad (11)$$

En la ec. (11)  $e_i$  es energía consumida o los gases emitidos por unidad de área de colectores en el ciclo de vida, y  $A$  es el valor de dicha área.  $E_b$  se debe al aporte solar durante el funciona-

miento de la instalación combinada, y puede computarse con:

$$E_b = \Sigma Q_i N F c_a \quad (12)$$

En la ecuación anterior,  $\Sigma Q_i$  es la demanda térmica anual,  $N$  son los años de vida útil de la instalación y  $F$  es la fracción de la demanda térmica anual cubierta con energía solar. Con respecto a  $c_a$ , su valor varía si la ec. (12) se aplica al cálculo energético o a la emisión de gases, pero depende también de la fuente de energía complementaria utilizada.

Para hallar  $e_i$  se suman las contribuciones asociadas a los colectores solares ( $e_c$ ), el tanque de almacenamiento ( $e_t$ ), otros materiales componentes del dispositivo solar ( $e_m$ ) y todas las actividades complementarias ( $e_f$ ).

$$e_i = e_c + e_t + e_m + e_f \quad (13)$$

$$e_t = e_v v_t \quad (14)$$

$$e_m = e_c x_v + (e_c + e_t) x_p \quad (15)$$

$$e_f = (e_c + e_t + e_m) x_f \quad (16)$$

En las ecuaciones escritas,  $e_v$  es el consumo energético o la emisión de gases por unidad de volumen del tanque y  $v_t$  es el cociente entre el referido volumen y el área de los colectores. Las otras variables tienen en cuenta la participación de los elementos necesarios para la fabricación y funcionamiento de la instalación solar:  $x_v$  (cañerías, aislaciones y soportes),  $x_p$  (pinturas, selladores y uniones) y  $x_f$  (transporte, fabricación, distribución, montaje, mantenimiento, remoción y disposición final).

Como en las instalaciones solar-electricidad y solar-gas licuado se sustituyen otras fuentes por energía solar, es posible determinar los períodos de amortización energética y ambiental. El período de amortización energética puede definirse como el tiempo necesario para recuperar la energía consumida por la instalación solar, mientras que período de amortización ambiental se computa en forma semejante, pero contemplando la cantidad de gases de emitidos. Aquí se incluyen en el numerador, los consumos o emisiones que durante el funcionamiento combinado producen las fuentes auxiliares.

Luego, se calcula el período de amortización energética o el período de amortización ambiental, expresado en meses, con:

$$P = 12 N [E_i + \sum Q_i (1-F) c_a] / E_b \quad (17)$$

### 3. Resultados y discusión

#### 3.1. Radiación incidente y energía térmica

La radiación solar horizontal promedio diaria en cada mes del año se obtiene de la base de datos del Atmospheric Science Data Center-NASA Langley Research Center para la ciudad de Santa Fe, Argentina (latitud 31,65° S, longitud 60,72° O). La radiación solar total anual sobre los colectores inclinados a 30° al norte, es 1894,3 kW h/m<sup>2</sup> o 6819,4 MJ/ m<sup>2</sup> [7,21].

En la Figura 2 se muestran el aporte solar y la eficiencia térmica mensuales computados para las instalaciones típicas (SE-C y SGL-C). Los aportes son mayores en el verano y menores en el invierno, llegando al 100 % y 58,6 % respectivamente. En relación con la eficiencia térmica del sistema solar, varía sólo entre el 33,2 % y el 35,1%.

En las otras instalaciones combinadas solar-electricidad y solar-gas licuado, resultan variables el aporte solar y la eficiencia térmica (Tabla 2). Los valores obtenidos indican que la fracción anual de la demanda de energía térmica cubierta con energía solar para las instalaciones típicas es 0,843. Como es esperable, el aporte y la eficiencia de las instalaciones aumentan cuando es menor el parámetro  $F_R U_C$ .

#### 3.2 Consumo energético y emisión de gases de la instalación solar típica

Los resultados de la valoración del consumo energético y la emisión de gases equivalentes a dióxido de carbono para la instalación solar

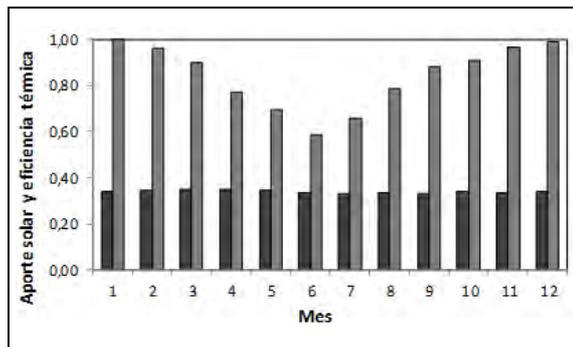


Figura 2. Aporte solar (■) y eficiencia térmica (■) mensuales en las instalaciones típicas.

Tabla 2. Aporte solar y eficiencia térmica anual de las instalaciones.

Instalación	Aporte solar	Eficiencia térmica
SE-A SGL-A	0,962	0,388
SE-B SGL-B	0,912	0,368
SE-C SGL-C	0,843	0,340
SE-D SGL-D	0,767	0,309
SE-E SGL-E	0,703	0,283

típica, se resumen en la Tabla 3 [7]. Como se ve en la tabla, los colectores solares representan cerca del 50%, tanto del consumo de energía como de las emisiones de gases de la instalación típica. El conjunto placa absorbente-conductos de fluido es de acero inoxidable, la cubierta semitransparente es de vidrio común y el aislante es lana mineral.

#### 3.3. Energía generada y mitigación de las emisiones

Al aplicar la metodología propuesta para la evaluación la vida útil de las instalaciones se estima en veinte años. La energía generada y la mitigación de emisiones se computan con las ecs. (10)-(16).

Tabla 3. Consumo y emisiones de la instalación solar típica.

Materiales e insumos	Energía		Emisiones	
	MJ	%	kg CO <sub>2</sub> eq	%
Colectores solares	3547,7	48,2	343,0	50,9
Tanque de almacenamiento	1117,4	15,2	110,8	16,4
Materiales varios	2024,7	27,5	159,3	23,6
Actividades complementarias	669,0	9,1	61,3	9,1
Total	7358,8	100	674,4	100

En la determinación de la energía generada y la mitigación de emisiones netas para las instalaciones típicas, se consideran los efectos de los consumos energéticos y las emisiones de gases, contabilizados en la Tabla 3. En las Tablas 4 y 5 se muestran los datos con los que se alimentan los cálculos (SE-C y SGL-C), agregándose que  $x_f$  y  $x_p$  valen 0,10.

Las emisiones de gases de efecto invernadero para la energía eléctrica y el gas licuado son respectivamente 0,125 kg CO<sub>2</sub> eq /MJ (0,450 kg CO<sub>2</sub> eq /kW h) y 0,083 kg CO<sub>2</sub> eq /MJ (0,299 kg CO<sub>2</sub> eq /kW h) en la conversión de esas fuentes a energía térmica. Los valores anteriores luego se corrigen

**Tabla 4.** Cálculo de la generación de energía en la instalación típica.

Instalación	$C_a$	$E_c$ (MJ/m <sup>2</sup> )	$E_v$ (MJ/m <sup>3</sup> )	$X_v$ (MJ/m <sup>2</sup> )
SE	1,053	985,5	4,66	0,44
SGL	1,176			

**Tabla 5.** Cálculo de la emisión de gases en la instalación típica.

Instalación	$C_a$ (kg CO <sub>2</sub> eq/MJ)	$E_c$ (kg CO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> )	$E_v$ (kg CO <sub>2</sub> eq/m <sup>3</sup> )	$X_v$ (kg CO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> )
SE	0,132	95,3	0,46	0,33
SGL	0,098			

considerando una eficiencia en la conversión térmica del 95 % cuando se consume electricidad, y del 85 % para consumo de gas licuado.

Con el ACV presentado se calculan los períodos de amortización energética y ambiental de las instalaciones típicas, resultando esos períodos muy bajos, ya que están entre 9,6 y 12,3 meses (Tablas 6 y 7). En las tablas referidas se vuelcan los resultados de las otras instalaciones, que se diferencian entre sí por el parámetro que representa las pérdidas térmicas de los colectores solares y que tendrían idénticos períodos de amortización energética y ambiental que las instalaciones SE-C y SGL-C.

Para las condiciones propuestas, se encontraron los valores de la energía y de las emisiones propias de los colectores y además la energía generada y la emisión evitada de todas las instalaciones. Se entiende que si en cada caso presentado se superan los

para las instalaciones típicas.

Al comparar dos instalaciones similares, son mayores los beneficios energéticos netos usando gas licuado, pero los beneficios ambientales netos son mayores con la utilización de la electricidad. El cociente entre los períodos de amortización ambiental y energética es menor que la unidad en instalaciones que usan electricidad, y mayor que ese valor para las que emplean gas licuado.

Si se aumentan las de pérdidas térmicas desde FR UC = 2,0 W/m<sup>2</sup> °C hasta FR UC = 10,0 W/m<sup>2</sup> °C, en las instalaciones SE se produce una reducción del 64,3 % en el consumo de energía propio de los colectores, mientras que en las tipo SGL del 67,4 %. Cuando se comparan las emisiones debidas a dichos cambios en el parámetro de pérdidas, las reducciones para las instalaciones son del 74,4 % y del 65,6 % respectivamente.

La mayor energía consumida por los colectores y la mayor generación total, se alcanzan con gas licuado y las menores pérdidas de calor (SGL-A). Sin embargo el mayor valor del cociente entre la energía generada neta y la energía consumida por colectores corresponde a la instalación con mayores pérdidas (SGL-E). Los menores valores corresponden a las instalaciones: SGL-E (energía consumida por colectores), SE-E (generación total) y SE-A (relación entre las energías generada neta y consumida por colectores).

La emisión por los colectores y la mitigación neta son máximas al utilizar electricidad y con las

**Tabla 6.** Períodos de amortización, energía consumida por los colectores solares y energía generada en las instalaciones.

Instalación	$P_e$	Energía consumida por colectores (MJ)	Energía generada neta (MJ)	Energía generada neta/energía consumida por colectores
SE-A	12,3	5026,0	190784,2	38,0
SE-B		4401,4	181382,0	41,2
SE-C		3547,7	168536,8	47,5
SE-D		2592,0	154152,0	59,5
SE-E		1794,2	142146,3	79,2
SGL-A	11,2	5127,1	214139,8	41,8
SGL-B		4459,7	203583,8	45,6
SGL-C		3547,8	189161,6	53,3
SGL-D		2526,1	173012,0	68,5
SGL-E		1673,6	159533,1	95,3

valores tabulados de la energía consumida o de la emisión evitada por los colectores, el respectivo período de amortización será mayor; por el contrario si dichos valores son menores los períodos de amortización serán menores a los calculados

menores pérdidas de calor (SE-A). En la instalación con mayores pérdidas (SE-E), es menor la emisión de gases por los colectores, y mayor el cociente entre las emisiones evitada neta y propia de los colectores. Para las instalaciones SGL-A y SGL-C se obtienen los

**Tabla 7.** Períodos de amortización, gases emitidos por los colectores solares y emisión evitada en las instalaciones.

SE-A	9,6	520,2	24199,0	46,5
SE-B		445,3	23005,6	51,7
SE-C		343,0	21375,2	62,3
SE-D		228,6	19549,4	85,5
SE-E		133,2	18025,6	135,3
SGL-A	12,1	490,0	17767,8	36,3
SGL-B		427,7	16892,1	39,5
SGL-C		343,1	15695,8	45,7
SGL-D		248,0	14356,1	57,9
SGL-E		168,5	13238,0	78,6

menores valores del cociente antes definido, y de la emisión evitada neta respectivamente.

#### 4. Conclusiones

El análisis del ciclo de vida se aplica para valorar la energía generada y la mitigación de emisiones en sistemas solares de calentamiento de agua combinados con electricidad y con gas licuado. En una instalación típica los colectores solares representan el 48,2 %, del consumo de energía y el 50,9 % de las emisiones de gases.; valores menores corresponden a materiales varios, al tanque de almacenamiento y a las actividades complementarias en la vida útil de la misma.

Si se comparan dos instalaciones combinadas de similares características, se logra mayor generación de energía neta al usar gas licuado, pero cuando se emplea electricidad se obtiene mayor mitigación neta de las emisiones. Los períodos de amortización energética y ambiental varían entre 9,6 y 13,8 meses para las instalaciones típicas.

Cuando se analizan instalaciones que se diferencian por el parámetro que representa las pérdidas de calor en los colectores solares, se considera en cada uno de los casos el valor del período de amortización energético y ambiental calculado para la correspondiente instalación típica.

En las condiciones propuestas, la energía consumida por los colectores y la generación neta son mayores con gas licuado y con menores pérdidas (SGL-A), pero el cociente entre las energías generada neta y consumida por los colectores es máximo para la instalación con mayores pérdidas (SGL-E). Con electricidad y menores pérdidas de calor (SE-A) son máximas la emisión de los colectores y la mitigación neta, aunque en la instalación con mayores pérdidas (SE-E), es mayor el cociente entre la emisión evitada neta y la propia de los colectores solares.

#### Referencias

- [1] IPCC, Cambio climático 2007: Informe de síntesis, 2007.
- [2] OMM, Declaración de la Organización Meteorológica Mundial sobre el estado del clima mundial en 2011, 2012.
- [3] International Energy Agency, World Energy Outlook, 2012.
- [4] REN21, Renewables Global Status Report, 2012.
- [5] F. Consoli, D. Allen, I. Boustead, J. Fava, W. Franklin, A.A. Jensen et al., eds., Guidelines for life-cycle assessment: a "code of practice", Society of Environmental Toxicology and Chemistry SETAC, 1993.
- [6] Ihobe, Sociedad Pública de Gestión Ambiental, Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca, Gobierno Vasco. Análisis de ciclo de vida y huella de carbono: dos maneras de medir el impacto ambiental de un producto, 2009.
- [7] E. Albizzati, "Reducción del consumo energético y de la emisión de gases en instalaciones para el calentamiento solar de agua", Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, vol 16, pp. 7.01-7.06, 2012.
- [8] F. Ardente, G. Beccali, M. Cellura, and V. Lo Brano, "Life cycle assessment of a solar thermal collector", Renewable Energy, vol. 30, no. 7, pp 1031-1054, 2005.
- [9] S. Kalogirou, "Thermal performance, economic and environmental life cycle analysis of thermosiphon solar water heaters", Solar Energy, vol 83, no. 1, pp.39-48, 2009.
- [10] C. J. Koroneos, and E. A. Nanaki, "Life cycle environmental impact assessment of a solar water heater", Journal of Cleaner Production vol. 37, pp. 154-161, 2012.
- [11] Y. Hang, M. Qu, and F. Zhao, "Economic

and environmental life cycle analysis of solar hot water systems in the United States”, *Energy and Buildings*, vol. 45, no. 2, pp. 181-188, 2012.

[12] F. J. Rey-Martínez, E. Velasco-Gómez, J. Martín-Gil, L. M. Navas Gracia., and S. Hernández Navarro, “Life cycle analysis of a thermal solar installation at a rural house in Valladolid (Spain)”, *Environmental Engineering Science*, vol. 25, no. 5, pp. 713-724, 2008.

[13] *Colectores solares, Métodos de ensayo para determinar el rendimiento térmico*, Norma IRAM 210002, Instituto Argentino de Normalización y Certificación, 1983.

[14] *Methods of testing to determine the thermal performance of solar collectors*, ANSI/ASHRAE 93, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, 2010.

[15] E. Albizzati, *Energía solar térmica: principios básicos y aplicaciones tecnológicas*. Santa Fe: Centro de Publicaciones de la Universidad Nacional del Litoral, 2012.

[16] J. A. Duffie, and W. A. Beckman, *Solar engineering of thermal processes*, 3rd ed.: NewJ. Wiley, 2006.

[17] S. Kalogirou, *Solar energy engineering: processes and systems*. Burlington MA, San Diego California, London: Academic Press, 2009.

[18] A. Alcorn, *Embodied energy and CO2 coefficients for NZ buildings materials*, Centre for Building Performance Research, Victoria University of Wellington, NZ, 2003.

[19] G. Hammond, and C. Jones, *The inventory of carbon & energy (ICE)*, Report BSRIA BG 10, 2011.

[20] Consejo Mundial de la Energía, *Comparación de los sistemas energéticos utilizando ECV*, 2004.

[21] Atmospheric Science Data Center, NASA Langley Research Center. <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse>.

# Evaluación de la peligrosidad de contaminación del agua subterránea mediante lógica difusa

Héctor Massone<sup>1,3</sup>, M. Lourdes Lima<sup>1,3,4</sup>, Gustavo Meschino<sup>1,2</sup>, Daniel Albornoz<sup>1</sup>, Fernanda Damiano<sup>1</sup> y Agustina Barilari<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad FASTA

<sup>2</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata

<sup>3</sup> Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario, Universidad Nacional de Mar del Plata. massoneh@gmail.com

<sup>4</sup> CONICET

Este trabajo fue financiado mediante un subsidio de investigación de la Facultad de Ingeniería de UFASTA

## Resumen

Los modelos de ayuda a la toma de decisiones cumplen un rol de importancia en la gestión ambiental del territorio; en este sentido, la ingeniería ambiental constituye una rama del conocimiento apropiada para llevar adelante estos desarrollos. El objetivo del trabajo es evaluar la peligrosidad de contaminación del agua subterránea en una cuenca donde el uso del suelo es esencialmente rural productivo. Esta evaluación se realizó utilizando lógica difusa de predicados que se formalizaron a partir de dos grandes grupos de variables: vulnerabilidad del acuífero (de un trabajo antecedente) y carga contaminante potencial. El mapa final de peligrosidad de contaminación del agua subterránea muestra que en las zonas donde la carga contaminante es alta y la vulnerabilidad es alta, la peligrosidad de contaminación es muy alta. Asimismo, en las zonas donde la carga contaminante es alta y la vulnerabilidad del acuífero es baja, la peligrosidad de contaminación es moderada, como se puede observar en la cabecera de la cuenca.

**Palabras clave:** peligrosidad, contaminación, agua subterránea

## Abstract

Decision support systems play an important role in land use management. In this sense, Environmental Engineering is a branch of knowledge suitable to carry out these developments. The aim of this work is to assess the groundwater pollution hazard in a basin where land use is essentially rural productive. This assessment is performed using fuzzy logic predicates with numerical variables. In order to select those variables, there are considered two aspects: groundwater vulnerability (from a previous work) and potential pollutant load. The final map of groundwater pollution hazard shows that in areas where both the pollutant load and the groundwater vulnerability are high, the groundwater pollution hazard is very high. Moreover, in areas where the pollutant load is high and the groundwater vulnerability is low, the groundwater pollution hazard is moderate, as seen in the southwest of the basin.

**Keywords:** hazard, pollution, groundwater

## Introducción

La gestión ambiental (GA) puede ser definida como el “conjunto de acciones encaminadas a lograr la máxima racionalidad en el proceso de decisión relativo a la conservación, defensa, protección y mejoramiento del Medio Ambiente,

basándose en una coordinada información multidisciplinaria y en la participación ciudadana” [1]. En este contexto, es posible diferenciar dos grandes aproximaciones: la gestión ambiental de las organizaciones y la gestión ambiental del territorio. Obviamente existe una diferenciación fundamental entre ambas que es la escala: mientras que en el primer caso el trabajo es territorialmente puntual, en el segundo es claramente regional. En ambos casos, pero quizás mucho más notoriamente en la GA del territorio, los tomadores de decisión encuentran dificultades a la hora de contar con información adecuadamente relevada, compilada e interpretada que les permita proceder con el menor grado de incertidumbre posible. En este sentido, los sistemas de soporte a la toma de decisión (DSS) se han desarrollado para facilitar el proceso de toma de decisiones a través de herramientas cualitativas basadas en el conocimiento de expertos [2]. Una característica importante de estos sistemas es que permiten tomar en cuenta conocimiento especializado proveniente de un espectro muy amplio tanto de las ciencias naturales, como de las sociales, ingenierías, etc. [3]. En este trabajo se pretende

contribuir con el proceso de toma de decisión en el campo de la GA territorial, a través de una evaluación de la peligrosidad de contaminación del agua subterránea en una cuenca rural próxima a la ciudad de Mar del Plata. La aproximación metodológica tomada para este trabajo en relación a la peligrosidad de contaminación del agua subterránea es la propuesta por Massone y Martínez [4], considerándola como la interacción entre vulnerabilidad intrínseca del acuífero y la carga contaminante potencial que puede ser descargada al subsuelo.

La teoría de la lógica difusa, basada en conjuntos difusos, fue propuesta por Zadeh [5], y establece que un sistema complejo puede representarse mejor por variables descriptivas lingüísticas que por la representación tradicional de ecuaciones diferenciales [6]. La investigación ha demostrado que los modelos basados en reglas difusas son capaces de producir resultados comparables utilizando cerca del 40% menos de variables [7]. La estrategia de aproximación basada en reglas difusas se ha utilizado en estudios de transporte de solutos [8] y para evaluar el potencial de un acuífero a la contaminación ([9]; [10]). A pesar de que los principales aspectos de esta teoría y sus resultados son notables en el área de Control, han ido surgiendo algunos planteos desde el punto de vista teórico. El uso de reglas simples es una de las principales ventajas de los sistemas de inferencia difusa. Sin embargo, la necesidad de la definición de las operaciones de agregación y defuzzificación aleja a estos modelos de la generalización de los paradigmas de la lógica booleana. La defuzzificación actúa como un grado de libertad en un modelo basado en la combinación pragmática de operadores, pero sin un enlace axiomático armónico que justifique la denominación de "Lógica" ([11]; [12]). Es por esta causa que en este trabajo proponemos el uso de lógica de predicados difusos, que es una extensión natural de la lógica booleana, de simple interpretabilidad lingüística.

### Área de estudio

La cuenca del Arroyo El Dulce (1000 km<sup>2</sup>) está situada en el sureste de la provincia de Buenos Aires, Argentina, entre las ciudades de Mar del Plata y Balcarce. Desemboca en la laguna Mar Chiquita (Figura 1) y constituye una parte del territorio de la llanura pampeana húmeda. El área de estudio se eligió de acuerdo a criterios que incluyen el alto

nivel de las actividades agrícolas y de los amplios datos disponibles sobre la geología del acuífero. Desde el punto de vista hidrogeológico esta área implica un acuífero freático con una extracción local significativa del recurso hídrico para bebida y para riego. La zona es de clima "moderado-húmedo" (en la clasificación de Köppen). En los últimos 20 años, las precipitaciones medias anuales en la región han oscilado entre 960 a 1170 mm, mientras que la temperatura media en verano es de 20° y 10° C en invierno.

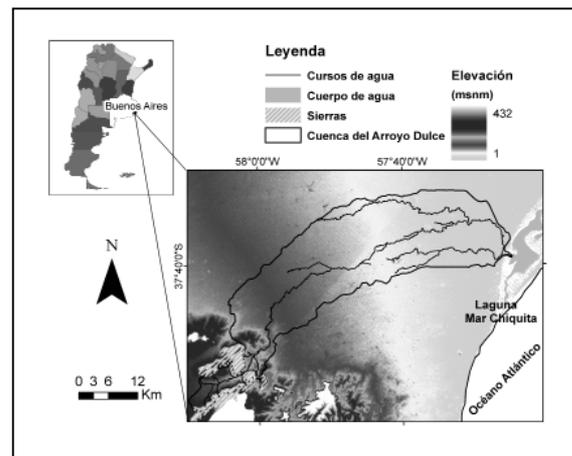


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio.

### Evaluación de la peligrosidad de contaminación mediante predicados difusos

En este apartado, se dan algunas definiciones básicas sobre la lógica de predicados difusos.

Los predicados tienen diferentes interpretaciones en matemática y lógica. En este trabajo, se considera "predicado" como un sinónimo de "proposición". En la lógica tradicional y la filosofía, este término se refiere al contenido de una sentencia declarativa que incluye la posibilidad de ser verdadera o falsa. O desde otro punto de vista, los predicados pueden tener un valor de verdad asociado a los valores 0 (falso) o 1 (verdadero). Este enfoque permite generalizar esta definición para considerar predicados difusos, como se ve en las siguientes definiciones.

**Definición 1.** Un predicado  $p$  difuso es una expresión lingüística (una proposición), con grado de verdad  $u(p)$  en el intervalo  $[0, 1]$ . Se aplica el "principio de gradualidad", que establece que una proposición puede ser a la vez verdadera y falsa, que tiene un cierto grado de verdad (o falsedad) asignado.

**Definición 2.** Un predicado difuso simple,  $sp$ , es una sentencia cuyo grado de verdad  $u(sp)$  se

puede obtener por algunas de las alternativas siguientes:

- La aplicación a una variable cuantitativa de una función de pertenencia asociada con un término difuso,
- La asociación de valores discretos en el intervalo  $[0, 1]$  para etiquetas lingüísticas (generalmente adjetivos) de una variable.
- La determinación directa del valor en el intervalo  $[0, 1]$  por parte de un experto.

**Definición 3.** Los Predicados compuestos se pueden representar como una estructura de árbol, que tiene sus nodos asociados por conectivas lógicas y sus ramas sucesivas relacionadas con los predicados de menor nivel jerárquico (simples o compuestos).

Es necesario definir una lógica (un sistema de operaciones entre valores de verdad) donde las operaciones de conjunción, disyunción y la negación sean funciones definidas sobre un conjunto de valores de verdad para predicados, en el intervalo real  $[0, 1]$ , tal que cuando los valores de verdad se limitan a  $\{0, 1\}$ , estas operaciones se convierten en predicados booleanos clásicos [13]. Para este trabajo, se han elegido los operadores de la lógica compensatoria basados en la media geométrica (GMBCL). Estos operadores han demostrado ser adecuados para la implementación de modelos lingüísticos basados en predicados difusos provenientes de diferentes campos de investigación ([14]; [15]; [16]; [17], [18]).

El operador de conjunción entre grados de verdad de  $N$  predicados difusos  $\mu_i, i = 1, 2, \dots, N$  en este sistema, se define como:

$$C(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_N) = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_N)^{\frac{1}{N}} \quad (1)$$

La característica fundamental que hace los sistemas compensatorios es la sensibilidad del resultado al valor de todos los operandos, lo que no ocurre con otras operaciones de conjunción más utilizados, como el operador "mínimo". De esta manera, el valor de la relación puede ser influenciado por, y por lo tanto "compensada" por el valor de cualquiera de los grados de verdad considerados.

Metodológicamente el trabajo que se presenta consistió en complementar a la evaluación de la vulnerabilidad de contaminación realizada en un

trabajo anterior [18], con la evaluación de la carga contaminante potencial. Así, en términos generales, el mapa de peligrosidad de contaminación del agua subterránea obtenido contempla tanto la vulnerabilidad del acuífero, característica intrínseca del sistema natural, como la carga contaminante potencial, característica externa al medio.

El desarrollo metodológico incluyó tres etapas, a saber:

#### **Etapla 1:** Selección de las variables a utilizar.

Dado el carácter de análisis regional que tiene este trabajo, se decidió emplear el uso del suelo como variable determinante a la hora de evaluar cargas contaminantes potenciales al subsuelo. De esta manera, y para esta primera aproximación, se identificaron 3 usos del suelo: áreas rurales productivas, áreas residenciales sin red de saneamiento y actividades que sean en zonas rurales o urbanas pero espacialmente puntuales y con alta posibilidad de generar impactos negativos en el medio subterráneo (concretamente se trabajó con feedlots, basureros a cielo abierto y minería de suelos).

#### **Etapla 2:** Construcción del árbol de predicados y funciones de pertenencia.

La variable uso del suelo fue considerada en los predicados lingüísticos siguientes:

- La peligrosidad de contaminación del agua subterránea es alta cuando el acuífero es vulnerable y la carga contaminante potencial es alta.
- La carga contaminante potencial es alta cuando el uso del suelo es rural productivo, o urbano sin saneamiento, o se desarrolla una actividad espacialmente puntual y de posible alto impacto.

Formalmente:

$P(x)$  = "EL peligro de contaminación  $x$  es alto cuando el acuífero es vulnerable y la carga contaminante potencial es alta."

$P(x) = V(x) \text{ y } C(x)$ , donde

$V(x)$  = "El acuífero es vulnerable."  $C(x)$  = "La carga contaminante potencial es alta"

El detalle de la construcción del predicado  $V(x)$  puede ser analizado en Albornoz et al. [18].

La estructura completa de predicados difusos se puede representar como un árbol, como se muestra en la Figura 2.

identificaron cuatro tipos de uso del suelo: Cultivos (superficie con cultivos agrícolas anuales, de verano o invierno) se considera la peor situación

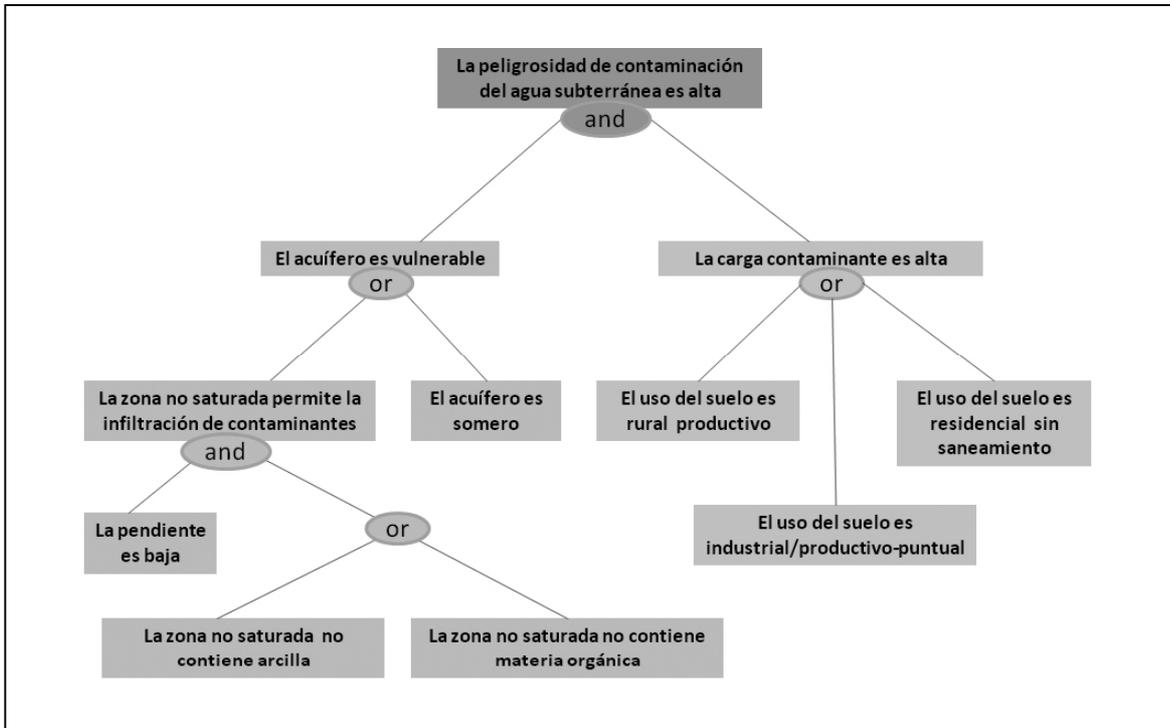


Figura 2. Árbol de predicados: comienza evaluando el valor de verdad de las hojas y se opera hasta obtener el valor de verdad del predicado principal raíz. Los recuadros verdes se desarrollan en Albornoz et al. [18].

### Etapa 3: Evaluación de la peligrosidad de contaminación.

Mediante el software STF [18] que opera en entorno MATLAB se evalúa píxel a píxel el conjunto de predicados difusos, devolviendo finalmente un valor de verdad de peligrosidad de contaminación. Por último, el grado de verdad del predicado principal (lo que indica el peligro de contaminación del agua subterránea) se representa mediante una escala de colores en un mapa.

### Resultados

Para cada una de las variables seleccionadas se obtuvo un mapa temático en formato raster con píxeles de 100x100 m<sup>2</sup>, en la plataforma SIG. Se establecieron las siguientes condiciones para cada predicado:

“El uso del suelo es rural productivo”. Se tomó de base el mapa de uso del suelo [19] para la elaboración del mapa de carga contaminante potencial. Se distinguieron las principales actividades contaminantes en la zona, donde se

con un valor asignado de 0.9; Pasturas (pasturas sembradas, sin discriminar su edad) se considera como situación intermedia, con un valor signado de 0.5; Pastizal (praderas naturales, pudiendo tener rastros de la intervención humana) y Otros (que abarca lo relativo a áreas con vegetación arbórea natural, áreas con presencia de agua en superficie y sierras) se considera la mejor situación, con valor 0.0.

“El uso del suelo es residencial sin saneamiento”: la propuesta para este predicado es tomar la clasificación utilizada en el método POSH [20] considerando el porcentaje de cobertura y la densidad de población, así la peor situación (valor 0.9) corresponde a cobertura cloacal menor del 25% y una densidad poblacional mayor a 100 hab/ha, mientras que la mejor situación estaría en el rango de cobertura mayor a un 75% y densidad poblacional menor de 50 hab/ha (valor 0.2).

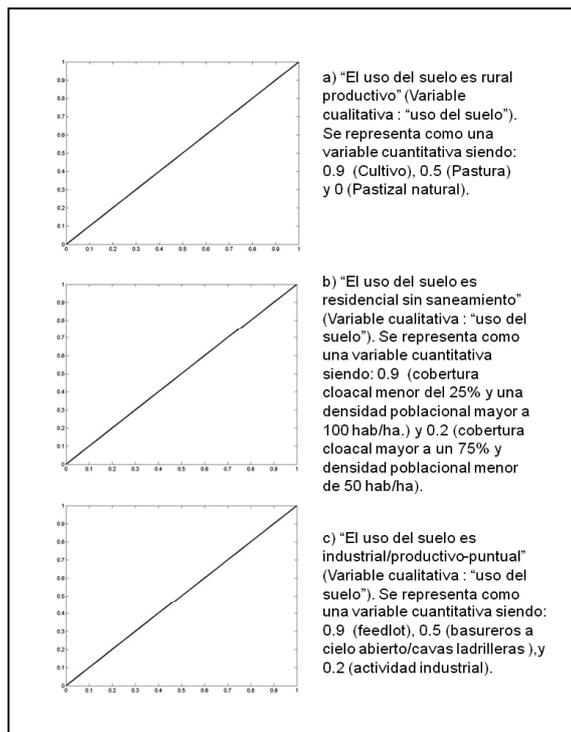
“El uso del suelo es industrial/productivo-puntual”; este es el predicado en el que menos se ha trabajado hasta el momento; a priori y en base a la realidad regional, se asigna la peor situación

a feedlot (0.9), la intermedia a basureros a cielo abierto/cavas ladrilleras (0.5) y la mejor a actividad industrial (suele ser la más controlada) con valor de 0.2

Por ser la zona de estudio un área estrictamente rural, en este trabajo se ha utilizado solo el primero de los predicados propuestos.

Con el software STF se realizó la especificación y la evaluación numérica de los predicados difusos. La variable de entrada es una matriz equidimensional procedente del mapa de uso del suelo [19] en formato raster. La respuesta de salida es una matriz con el mismo formato. Por otra parte, la matriz de salida se puede vincular mediante una interfaz de archivo de texto para el intercambio de información con herramientas SIG.

Mediante este mismo software, para cada predicado fue seleccionada una función de pertenencia recta para la cuantificación de su valor de verdad (Figura 3):

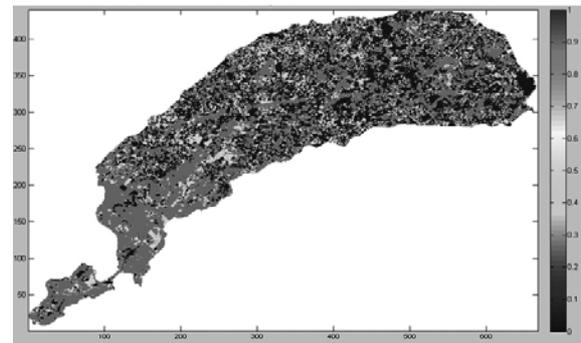


**Figura 3.** Funciones de pertenencia seleccionadas para cada variable. a) "El uso del suelo es rural productivo". b) "El uso del suelo es residencial sin saneamiento". c) "El uso del suelo es industrial/productivo-puntual".

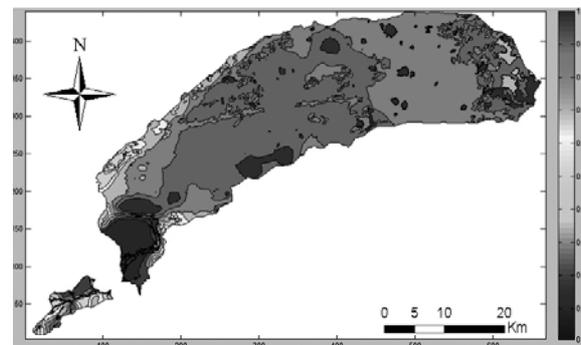
En el entorno de STF se obtuvo el mapa de carga contaminante potencial que fue combinado píxel a píxel con el mapa de vulnerabilidad del acuífero (Figura 4a, 4b, respectivamente) para

obtener el mapa final de peligrosidad de contaminación del agua subterránea (Figura 5).

El mapa resultado (Figura 5) muestra que existen áreas tanto con alto como con bajo valor de verdad distribuidas en toda la extensión de la cuenca estudiada; sin embargo, es posible advertir que las zonas central-sur, central-oeste y los extremos sudoeste y este serían las más problemáticas, con una concentración mayor de "áreas rojas"; el área sudoeste, por su parte, muestra una mayor concentración de bajos a moderados valores de verdad (áreas azules-celestes).



**Figura 4.a.** Mapa de carga contaminante potencial.



**Figura 4.b.** Mapa de vulnerabilidad. Fuente: (18)

### Discusion y conclusiones

El mapa final de peligrosidad de contaminación muestra un aspecto que resulta de interés para la discusión, y es el hecho de la combinación de vulnerabilidad del acuífero y carga contaminante cuando estas variables entregan resultados diferentes en un mismo píxel. Un buen ejemplo de ello puede observarse en el sector sudoeste de la cuenca, donde la vulnerabilidad del acuífero toma valores de verdad de entre 0.5 y 0.2, mientras que la carga contaminante potencial entrega resultados entre 0.8 y 0.9; como resultado, el mapa de peligrosidad ofrece para esta misma área valores de verdad entre 0.1 y 0.4.

En términos de toma de decisiones, el escenario que ofrece el mapa de vulnerabilidad para ésta zona es muy permisivo, mientras que el ofrecido por el de carga contaminante potencial es mucho más restrictivo o bien, podría interpretarse como que en el primer caso la necesidad de control es mucho menor que en el segundo. Este aspecto, resalta la importancia de contar con el mapa de peligrosidad para la toma de decisiones ya que considera ambas situaciones, y también pone de relevancia la importancia que para el tomador de decisión tiene conocer el metadato, es decir, el procedimiento de construcción del mismo, ya que la eficacia de su aplicación (o bien la de los mapas de origen), dependerá del objetivo que se pretenda alcanzar.

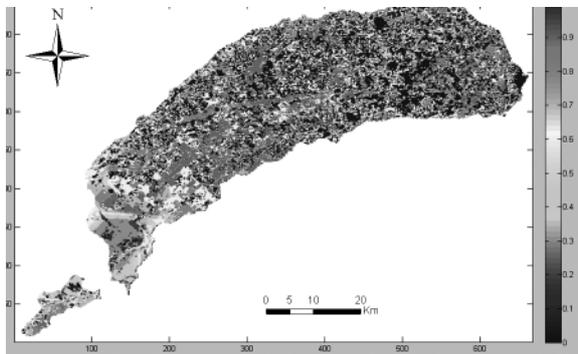


Figura 5. Mapa final de peligrosidad de contaminación del agua subterránea.

## Referencias

[1] CONESA, V. (1994) Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental. Mundi-Prensa Libros, Madrid, 800 pág.

[2] SEWILAM, H., BARTUSSECK, S., NACKEN, H. (2007). Rule-based decision support system for the morphological rehabilitation of watercourses. *Water Resources Management*, 21 (12), 2037–2047.

[3] RIZZOLI, A. E., YOUNG, W. Y. (1997). Delivering environmental decision support systems: software tools and techniques. *Environmental Modelling and Software*, 12(23), 237–249

[4] MASSONE, H. y D. MARTINEZ, (2008). Consideraciones metodológicas acerca del proceso de gestión del impacto y riesgo de contaminación de acuíferos. Publicación especial, *Revista Ingenierías*, Universidad de Medellín, Vol. 7 Núm. 12, 9-22. ISSN 1692-3324 Colombia..

[5] ZADEH, L. (1965). Fuzzy sets, *Information and Control*, 8: 338–353.

[6] COX, E. (1994). *The fuzzy systems handbook*. London: Academic Press.

[7] BARDOSSY, A., DISSE, M. (1993). Fuzzy rule-based models for infiltration. *Water Resources Research*, 29(2), 373–382.

[8] DOU, C., WOLT, W., BOGARDI, I. (1999). Fuzzy rule-based approach to describe solute transport in the unsaturated zone. *Journal of Hydrology*, 220(1-2), 74–85.

[9] DIXON, B., SCOTT H.D., DIXON J.C., STEELE K.F. (2002). Prediction of Aquifer Vulnerability to Pesticides Using Fuzzy Rule-Based Models at the Regional Scale. *Physical Geography* 23:130 – 152.

[10] GEMITZI, A., PETALAS, C., TSIHRINTZIS, V.A., PISINARAS, V. (2006). Assessment of groundwater vulnerability to pollution: a combination of GIS, fuzzy logic and decision making techniques. *Environ. Geol.*, 49, 653-673.

[11] PASSINO, K., YORKOVICH, S. (1998). *Fuzzy Control*. Addison Wesley. New York.

[12] ZIMMERMANN, H.J. (1996). *Fuzzy Set Theory and its applications*, Kluwer Academic Publishers, Boston-Dordrecht-London.

[13] BOUCHET, A., PASTORE, J.I., ESPÍN ANDRADE, R., BRUN, M., BALLARIN, V.L. (2011). Arithmetic Mean Based Compensatory Fuzzy Logic. *International Journal of Computational Intelligence and Applications*, Vol. 10, No. 2 1–13, DOI: 10.1142/S1469026811003070.

[14] MESCHINO, G.J., BALLARIN, V.L., ESPIN ANDRADE, R.A. (2011). Image segmentation with predicates analysis and Compensatory Fuzzy Logic. In: (eds.) Editorial Shaker Verlag, Universidad de Oldenburgo, pp. 210-25. Editorial Shaker Verlag, Universidad de Oldenburgo, Oldenburgo, Alemania.

[15] PASSONI, L.I., MESCHINO, G.J., GESUALDO, S., MONJEAU, A. (2011). Fuzzy Tree Studio: una herramienta para el diseño del tablero de mando para la gestión de áreas protegidas. III Taller Internacional de Descubrimiento de Conocimiento, Gestión del Conocimiento y Toma de Decisiones, Santander, Cantabria, España.

[16] GONZÁLEZ, M.A., MESCHINO, G.J., ESPIN ANDRADE, R.A., BALLARIN, V.L. (2011). Classification of over-segmented regions result of the watershed transform through Compensatory Logic. In: (eds.) Editorial Shaker Verlag, Universidad de Oldenburgo, pp. 161-8. Editorial Shaker Verlag, Universidad de Oldenburgo, Oldenburgo, Alemania.

[17] D'ONOFRIO, M.V., GONZALEZ, M.A., MESCHINO, G.J., BALLARIN, V.L. (2011). Quantification of international competitiveness of argentine fishing industry. Chinese Business Review. 10, 481-6.

[18] ALBORNOZ D, MESCHINO G, LIMA L, DAMIANO F, BARILARI A, MASSONE H. (2012). Interacción ingeniería informática-ingeniería ambiental a partir de una aplicación de lógica difusa. I Congreso Argentino de Ingeniería (CADI). Mar del Plata. ISBN 978-987-1312-46-7.

[19] ZELAYA K, LIMA ML, LATERRA P, MACEIRA N, MASSONE H (2009) Simulación de cambios en el uso de la tierra en la cuenca del arroyo Dulce. Provincia de Buenos Aires, Argentina. Simposio de Geomática y otras tecnologías de la Ingeniería Agrícola y el Medio Ambiente. Actas en CD. Cuba

[20] FOSTER S, HIRATA R, GOMES D, D'ELIA M, PARIS M (2002) Protección de la calidad del agua subterránea. Guía para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales, Washington D.C., Banco Mundial.



# Evaluación de la peligrosidad de contaminación del agua subterránea mediante lógica difusa

## Resumen

Los modelos de ayuda a la toma de decisiones cumplen un rol de importancia en la gestión ambiental del territorio; en este sentido, la ingeniería ambiental constituye una rama del conocimiento apropiada para llevar adelante estos desarrollos. El objetivo del trabajo es evaluar la peligrosidad de contaminación del agua subterránea en una cuenca donde el uso del suelo es esencialmente rural productivo. Esta evaluación se realizó utilizando lógica difusa de predicados que se formalizaron a partir de dos grandes grupos de variables: vulnerabilidad del acuífero (de un trabajo antecedente) y carga contaminante potencial. El mapa final de peligrosidad de contaminación del agua subterránea muestra que en las zonas donde la carga contaminante es alta y la vulnerabilidad es alta, la peligrosidad de contaminación es muy alta. Asimismo, en las zonas donde la carga contaminante es alta y la vulnerabilidad del acuífero es baja, la peligrosidad de contaminación es moderada, como se puede observar en la cabecera de la cuenca.

**Palabras clave:** peligrosidad, contaminación, agua subterránea

## Abstract

Decision support systems play an important role in land use management. In this sense, Environmental Engineering is a branch of knowledge suitable to carry out these developments. The aim of this work is to assess the groundwater pollution hazard in a basin where land use is essentially rural productivo. This assessment is performed using fuzzy logic predicates with numerical variables. In order to select those variables, there are consider two aspects: groundwater vulnerability (from a previous work) and potential pollutant load. The final map of groundwater pollution hazard shows that in areas where both the pollutant load and the groundwater vulnerability are high, the groundwater pollution hazard is very high. Moreover, in areas where the pollutant load is high and the groundwater vulnerability is low, the groundwater pollution hazard is moderate, as seen in the southwest of the basin.

**Keywords:** hazard, pollution, groundwater

## Introducción

La gestión ambiental (GA) puede ser definida como el “conjunto de acciones encaminadas a lograr la máxima racionalidad en el proceso de decisión relativo a la conservación, defensa, protección y mejoramiento del Medio Ambiente,

Héctor Massone<sup>1,3</sup>, M. Lourdes Lima<sup>1,3,4</sup>, Gustavo Meschino<sup>1,2</sup>, Daniel Albornoz<sup>1</sup>, Fernanda Damiano<sup>1</sup> y Agustina Barilari<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad FASTA

<sup>2</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata

<sup>3</sup> Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario, Universidad Nacional de Mar del Plata. massoneh@gmail.com

<sup>4</sup> CONICET

Este trabajo fue financiado mediante un subsidio de investigación de la Facultad de Ingeniería de UFASTA

basándose en una coordinada información multidisciplinaria y en la participación ciudadana” [1]. En este contexto, es posible diferenciar dos grandes aproximaciones: la gestión ambiental de las organizaciones y la gestión ambiental del territorio. Obviamente existe una diferenciación fundamental entre ambas que es la escala: mientras que en el primer caso el trabajo es territorialmente puntual, en el segundo es claramente regional. En ambos casos, pero quizás mucho más notoriamente en la GA del territorio, los tomadores de decisión encuentran dificultades a la hora de contar con información adecuadamente relevada, compilada e interpretada que les permita proceder con el menor grado de incertidumbre posible. En este sentido, los sistemas de soporte a la toma de decisión (DSS) se han desarrollado para facilitar el proceso de toma de decisiones a través de herramientas cualitativas basadas en el conocimiento de expertos [2]. Una característica importante de estos sistemas es que permiten tomar en cuenta conocimiento especializado proveniente de un espectro muy amplio tanto de las ciencias naturales, como de las sociales, ingenierías, etc. [3]. En este trabajo se pretende

contribuir con el proceso de toma de decisión en el campo de la GA territorial, a través de una evaluación de la peligrosidad de contaminación del agua subterránea en una cuenca rural próxima a la ciudad de Mar del Plata. La aproximación metodológica tomada para este trabajo en relación a la peligrosidad de contaminación del agua subterránea es la propuesta por Massone y Martínez [4], considerándola como la interacción entre vulnerabilidad intrínseca del acuífero y la carga contaminante potencial que puede ser descargada al subsuelo.

La teoría de la lógica difusa, basada en conjuntos difusos, fue propuesta por Zadeh [5], y establece que un sistema complejo puede representarse mejor por variables descriptivas lingüísticas que por la representación tradicional de ecuaciones diferenciales [6]. La investigación ha demostrado que los modelos basados en reglas difusas son capaces de producir resultados comparables utilizando cerca del 40% menos de variables [7]. La estrategia de aproximación basada en reglas difusas se ha utilizado en estudios de transporte de solutos [8] y para evaluar el potencial de un acuífero a la contaminación ([9]; [10]). A pesar de que los principales aspectos de esta teoría y sus resultados son notables en el área de Control, han ido surgiendo algunos planteos desde el punto de vista teórico. El uso de reglas simples es una de las principales ventajas de los sistemas de inferencia difusa. Sin embargo, la necesidad de la definición de las operaciones de agregación y defuzzificación aleja a estos modelos de la generalización de los paradigmas de la lógica booleana. La defuzzificación actúa como un grado de libertad en un modelo basado en la combinación pragmática de operadores, pero sin un enlace axiomático armónico que justifique la denominación de "Lógica" ([11]; [12]). Es por esta causa que en este trabajo proponemos el uso de lógica de predicados difusos, que es una extensión natural de la lógica booleana, de simple interpretabilidad lingüística.

### Área de estudio

La cuenca del Arroyo El Dulce (1000 km<sup>2</sup>) está situada en el sureste de la provincia de Buenos Aires, Argentina, entre las ciudades de Mar del Plata y Balcarce. Desemboca en la laguna Mar Chiquita (Figura 1) y constituye una parte del territorio de la llanura pampeana húmeda. El área de estudio se eligió de acuerdo a criterios que incluyen el alto

nivel de las actividades agrícolas y de los amplios datos disponibles sobre la geología del acuífero. Desde el punto de vista hidrogeológico esta área implica un acuífero freático con una extracción local significativa del recurso hídrico para bebida y para riego. La zona es de clima "moderado-húmedo" (en la clasificación de Köppen). En los últimos 20 años, las precipitaciones medias anuales en la región han oscilado entre 960 a 1170 mm, mientras que la temperatura media en verano es de 20° y 10° C en invierno.

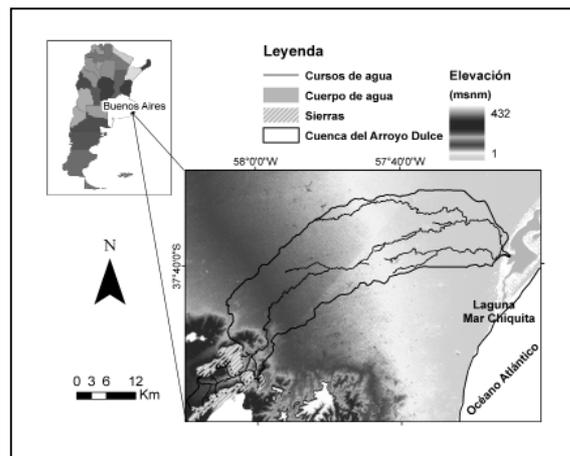


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio.

### Evaluación de la peligrosidad de contaminación mediante predicados difusos

En este apartado, se dan algunas definiciones básicas sobre la lógica de predicados difusos.

Los predicados tienen diferentes interpretaciones en matemática y lógica. En este trabajo, se considera "predicado" como un sinónimo de "proposición". En la lógica tradicional y la filosofía, este término se refiere al contenido de una sentencia declarativa que incluye la posibilidad de ser verdadera o falsa. O desde otro punto de vista, los predicados pueden tener un valor de verdad asociado a los valores 0 (falso) o 1 (verdadero). Este enfoque permite generalizar esta definición para considerar predicados difusos, como se ve en las siguientes definiciones.

**Definición 1.** Un predicado  $p$  difuso es una expresión lingüística (una proposición), con grado de verdad  $u(p)$  en el intervalo  $[0, 1]$ . Se aplica el "principio de gradualidad", que establece que una proposición puede ser a la vez verdadera y falsa, que tiene un cierto grado de verdad (o falsedad) asignado.

**Definición 2.** Un predicado difuso simple,  $sp$ , es una sentencia cuyo grado de verdad  $u(sp)$  se

puede obtener por algunas de las alternativas siguientes:

- La aplicación a una variable cuantitativa de una función de pertenencia asociada con un término difuso,
- La asociación de valores discretos en el intervalo  $[0, 1]$  para etiquetas lingüísticas (generalmente adjetivos) de una variable.
- La determinación directa del valor en el intervalo  $[0, 1]$  por parte de un experto.

**Definición 3.** Los Predicados compuestos se pueden representar como una estructura de árbol, que tiene sus nodos asociados por conectivas lógicas y sus ramas sucesivas relacionadas con los predicados de menor nivel jerárquico (simples o compuestos).

Es necesario definir una lógica (un sistema de operaciones entre valores de verdad) donde las operaciones de conjunción, disyunción y la negación sean funciones definidas sobre un conjunto de valores de verdad para predicados, en el intervalo real  $[0, 1]$ , tal que cuando los valores de verdad se limitan a  $\{0, 1\}$ , estas operaciones se convierten en predicados booleanos clásicos [13]. Para este trabajo, se han elegido los operadores de la lógica compensatoria basados en la media geométrica (GMBCL). Estos operadores han demostrado ser adecuados para la implementación de modelos lingüísticos basados en predicados difusos provenientes de diferentes campos de investigación ([14]; [15]; [16]; [17], [18]).

El operador de conjunción entre grados de verdad de  $N$  predicados difusos  $\mu_i, i = 1, 2, \dots, N$  en este sistema, se define como:

$$C(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_N) = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_N)^{\frac{1}{N}} \quad (1)$$

La característica fundamental que hace los sistemas compensatorios es la sensibilidad del resultado al valor de todos los operandos, lo que no ocurre con otras operaciones de conjunción más utilizados, como el operador "mínimo". De esta manera, el valor de la relación puede ser influenciado por, y por lo tanto "compensada" por el valor de cualquiera de los grados de verdad considerados.

Metodológicamente el trabajo que se presenta consistió en complementar a la evaluación de la vulnerabilidad de contaminación realizada en un

trabajo anterior [18], con la evaluación de la carga contaminante potencial. Así, en términos generales, el mapa de peligrosidad de contaminación del agua subterránea obtenido contempla tanto la vulnerabilidad del acuífero, característica intrínseca del sistema natural, como la carga contaminante potencial, característica externa al medio.

El desarrollo metodológico incluyó tres etapas, a saber:

#### **Etapla 1:** Selección de las variables a utilizar.

Dado el carácter de análisis regional que tiene este trabajo, se decidió emplear el uso del suelo como variable determinante a la hora de evaluar cargas contaminantes potenciales al subsuelo. De esta manera, y para esta primera aproximación, se identificaron 3 usos del suelo: áreas rurales productivas, áreas residenciales sin red de saneamiento y actividades que sean en zonas rurales o urbanas pero espacialmente puntuales y con alta posibilidad de generar impactos negativos en el medio subterráneo (concretamente se trabajó con feedlots, basureros a cielo abierto y minería de suelos).

#### **Etapla 2:** Construcción del árbol de predicados y funciones de pertenencia.

La variable uso del suelo fue considerada en los predicados lingüísticos siguientes:

- La peligrosidad de contaminación del agua subterránea es alta cuando el acuífero es vulnerable y la carga contaminante potencial es alta.
- La carga contaminante potencial es alta cuando el uso del suelo es rural productivo, o urbano sin saneamiento, o se desarrolla una actividad espacialmente puntual y de posible alto impacto.

Formalmente:

$P(x)$  = "EL peligro de contaminación  $x$  es alto cuando el acuífero es vulnerable y la carga contaminante potencial es alta."

$P(x) = V(x) \text{ y } C(x)$ , donde

$V(x)$  = "El acuífero es vulnerable."  $C(x)$  = "La carga contaminante potencial es alta"

El detalle de la construcción del predicado  $V(x)$  puede ser analizado en Albornoz et al. [18].

La estructura completa de predicados difusos se puede representar como un árbol, como se muestra en la Figura 2.

identificaron cuatro tipos de uso del suelo: Cultivos (superficie con cultivos agrícolas anuales, de verano o invierno) se considera la peor situación

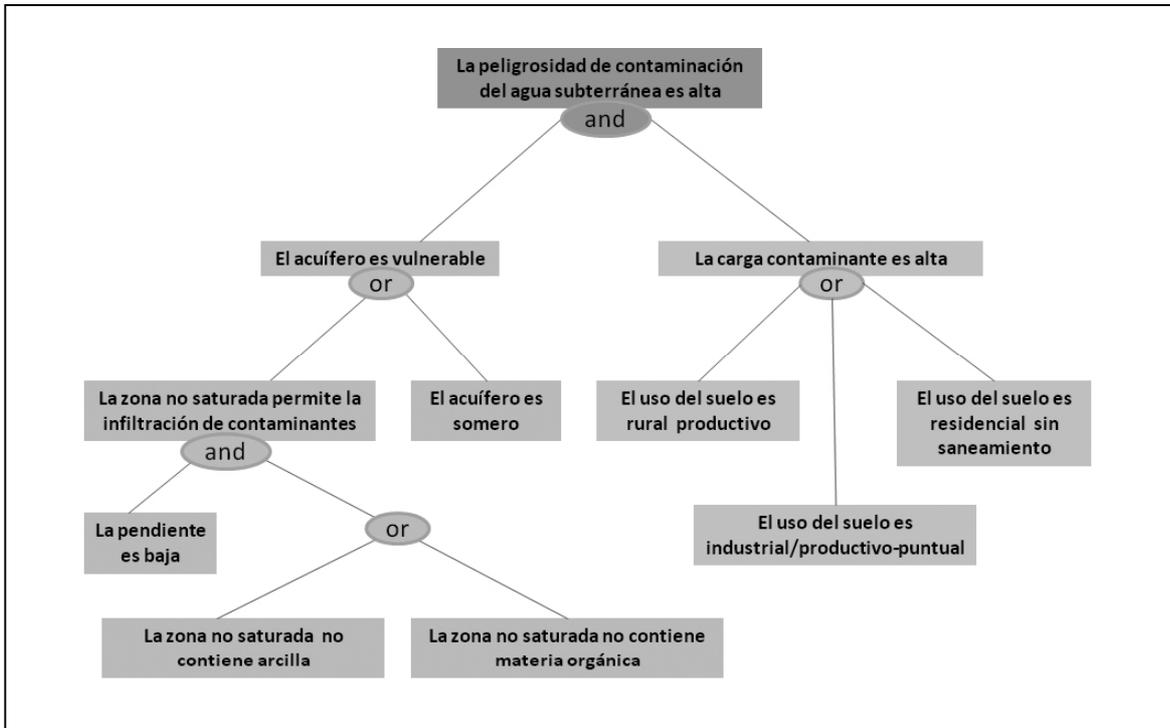


Figura 2. Árbol de predicados: comienza evaluando el valor de verdad de las hojas y se opera hasta obtener el valor de verdad del predicado principal raíz. Los recuadros verdes se desarrollan en Albornoz et al. [18].

### Etapa 3: Evaluación de la peligrosidad de contaminación.

Mediante el software STF [18] que opera en entorno MATLAB se evalúa píxel a píxel el conjunto de predicados difusos, devolviendo finalmente un valor de verdad de peligrosidad de contaminación. Por último, el grado de verdad del predicado principal (lo que indica el peligro de contaminación del agua subterránea) se representa mediante una escala de colores en un mapa.

### Resultados

Para cada una de las variables seleccionadas se obtuvo un mapa temático en formato raster con píxeles de 100x100 m<sup>2</sup>, en la plataforma SIG. Se establecieron las siguientes condiciones para cada predicado:

“El uso del suelo es rural productivo”. Se tomó de base el mapa de uso del suelo [19] para la elaboración del mapa de carga contaminante potencial. Se distinguieron las principales actividades contaminantes en la zona, donde se

con un valor asignado de 0.9; Pasturas (pasturas sembradas, sin discriminar su edad) se considera como situación intermedia, con un valor signado de 0.5; Pastizal (praderas naturales, pudiendo tener rastros de la intervención humana) y Otros (que abarca lo relativo a áreas con vegetación arbórea natural, áreas con presencia de agua en superficie y sierras) se considera la mejor situación, con valor 0.0.

“El uso del suelo es residencial sin saneamiento”: la propuesta para este predicado es tomar la clasificación utilizada en el método POSH [20] considerando el porcentaje de cobertura y la densidad de población, así la peor situación (valor 0.9) corresponde a cobertura cloacal menor del 25% y una densidad poblacional mayor a 100 hab/ha, mientras que la mejor situación estaría en el rango de cobertura mayor a un 75% y densidad poblacional menor de 50 hab/ha (valor 0.2).

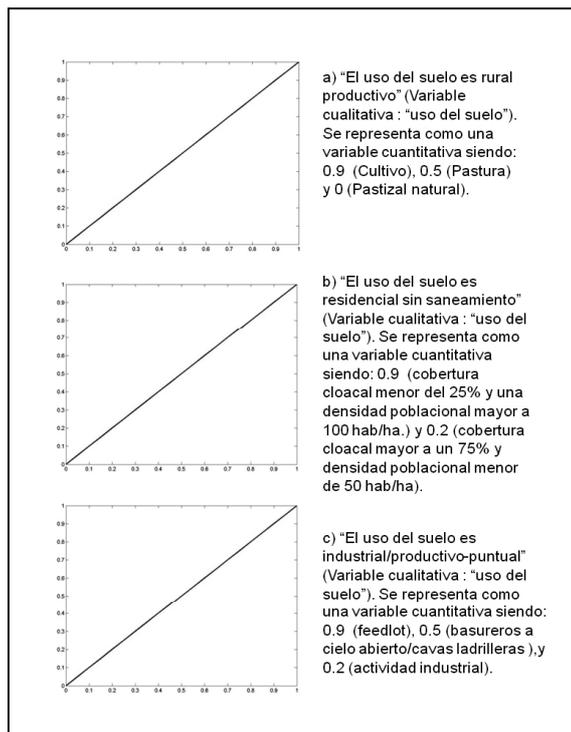
“El uso del suelo es industrial/productivo-puntual”; este es el predicado en el que menos se ha trabajado hasta el momento; a priori y en base a la realidad regional, se asigna la peor situación

a feedlot (0.9), la intermedia a basureros a cielo abierto/cavas ladrilleras (0.5) y la mejor a actividad industrial (suele ser la más controlada) con valor de 0.2

Por ser la zona de estudio un área estrictamente rural, en este trabajo se ha utilizado solo el primero de los predicados propuestos.

Con el software STF se realizó la especificación y la evaluación numérica de los predicados difusos. La variable de entrada es una matriz equidimensional procedente del mapa de uso del suelo [19] en formato raster. La respuesta de salida es una matriz con el mismo formato. Por otra parte, la matriz de salida se puede vincular mediante una interfaz de archivo de texto para el intercambio de información con herramientas SIG.

Mediante este mismo software, para cada predicado fue seleccionada una función de pertenencia recta para la cuantificación de su valor de verdad (Figura 3):

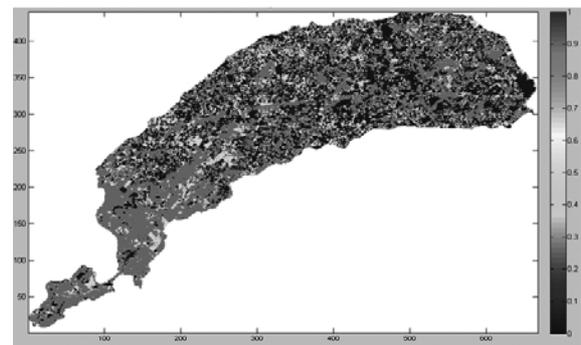


**Figura 3.** Funciones de pertenencia seleccionadas para cada variable. a) "El uso del suelo es rural productivo". b) "El uso del suelo es residencial sin saneamiento". c) "El uso del suelo es industrial/productivo-puntual".

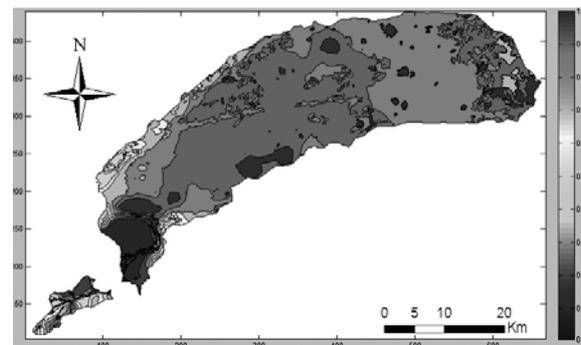
En el entorno de STF se obtuvo el mapa de carga contaminante potencial que fue combinado píxel a píxel con el mapa de vulnerabilidad del acuífero (Figura 4a, 4b, respectivamente) para

obtener el mapa final de peligrosidad de contaminación del agua subterránea (Figura 5).

El mapa resultado (Figura 5) muestra que existen áreas tanto con alto como con bajo valor de verdad distribuidas en toda la extensión de la cuenca estudiada; sin embargo, es posible advertir que las zonas central-sur, central-oeste y los extremos sudoeste y este serían las más problemáticas, con una concentración mayor de "áreas rojas"; el área sudoeste, por su parte, muestra una mayor concentración de bajos a moderados valores de verdad (áreas azules-celestes).



**Figura 4.a.** Mapa de carga contaminante potencial.



**Figura 4.b.** Mapa de vulnerabilidad. Fuente: (18)

## Discusion y conclusiones

El mapa final de peligrosidad de contaminación muestra un aspecto que resulta de interés para la discusión, y es el hecho de la combinación de vulnerabilidad del acuífero y carga contaminante cuando estas variables entregan resultados diferentes en un mismo píxel. Un buen ejemplo de ello puede observarse en el sector sudoeste de la cuenca, donde la vulnerabilidad del acuífero toma valores de verdad de entre 0.5 y 0.2, mientras que la carga contaminante potencial entrega resultados entre 0.8 y 0.9; como resultado, el mapa de peligrosidad ofrece para esta misma área valores de verdad entre 0.1 y 0.4.

En términos de toma de decisiones, el escenario que ofrece el mapa de vulnerabilidad para ésta zona es muy permisivo, mientras que el ofrecido por el de carga contaminante potencial es mucho más restrictivo o bien, podría interpretarse como que en el primer caso la necesidad de control es mucho menor que en el segundo. Este aspecto, resalta la importancia de contar con el mapa de peligrosidad para la toma de decisiones ya que considera ambas situaciones, y también pone de relevancia la importancia que para el tomador de decisión tiene conocer el metadato, es decir, el procedimiento de construcción del mismo, ya que la eficacia de su aplicación (o bien la de los mapas de origen), dependerá del objetivo que se pretenda alcanzar.

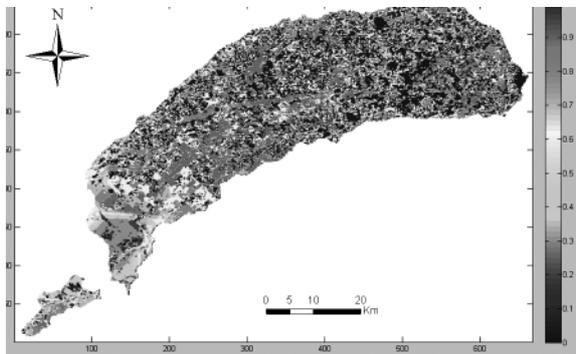


Figura 5. Mapa final de peligrosidad de contaminación del agua subterránea.

## Referencias

[1] CONESA, V. (1994) Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental. Mundi-Prensa Libros, Madrid, 800 pág.

[2] SEWILAM, H., BARTUSSECK, S., NACKEN, H. (2007). Rule-based decision support system for the morphological rehabilitation of watercourses. *Water Resources Management*, 21 (12), 2037–2047.

[3] RIZZOLI, A. E., YOUNG, W. Y. (1997). Delivering environmental decision support systems: software tools and techniques. *Environmental Modelling and Software*, 12(23), 237–249

[4] MASSONE, H. y D. MARTINEZ, (2008). Consideraciones metodológicas acerca del proceso de gestión del impacto y riesgo de contaminación de acuíferos. Publicación especial, *Revista Ingenierías*, Universidad de Medellín, Vol. 7 Núm. 12, 9-22. ISSN 1692-3324 Colombia..

[5] ZADEH, L. (1965). Fuzzy sets, *Information and Control*, 8: 338–353.

[6] COX, E. (1994). *The fuzzy systems handbook*. London: Academic Press.

[7] BARDOSSY, A., DISSE, M. (1993). Fuzzy rule-based models for infiltration. *Water Resources Research*, 29(2), 373–382.

[8] DOU, C., WOLT, W., BOGARDI, I. (1999). Fuzzy rule-based approach to describe solute transport in the unsaturated zone. *Journal of Hydrology*, 220(1-2), 74–85.

[9] DIXON, B., SCOTT H.D., DIXON J.C., STEELE K.F. (2002). Prediction of Aquifer Vulnerability to Pesticides Using Fuzzy Rule-Based Models at the Regional Scale. *Physical Geography* 23:130 – 152.

[10] GEMITZI, A., PETALAS, C., TSIHRINTZIS, V.A., PISINARAS, V. (2006). Assessment of groundwater vulnerability to pollution: a combination of GIS, fuzzy logic and decision making techniques. *Environ. Geol.*, 49, 653-673.

[11] PASSINO, K., YORKOVICH, S. (1998). *Fuzzy Control*. Addison Wesley. New York.

[12] ZIMMERMANN, H.J. (1996). *Fuzzy Set Theory and its applications*, Kluwer Academic Publishers, Boston-Dordrecht-London.

[13] BOUCHET, A., PASTORE, J.I., ESPÍN ANDRADE, R., BRUN, M., BALLARIN, V.L. (2011). Arithmetic Mean Based Compensatory Fuzzy Logic. *International Journal of Computational Intelligence and Applications*, Vol. 10, No. 2 1–13, DOI: 10.1142/S1469026811003070.

[14] MESCHINO, G.J., BALLARIN, V.L., ESPIN ANDRADE, R.A. (2011). Image segmentation with predicates analysis and Compensatory Fuzzy Logic. In: (eds.) Editorial Shaker Verlag, Universidad de Oldenburgo, pp. 210-25. Editorial Shaker Verlag, Universidad de Oldenburgo, Oldenburgo, Alemania.

[15] PASSONI, L.I., MESCHINO, G.J., GESUALDO, S., MONJEAU, A. (2011). Fuzzy Tree Studio: una herramienta para el diseño del tablero de mando para la gestión de áreas protegidas. III Taller Internacional de Descubrimiento de Conocimiento, Gestión del Conocimiento y Toma de Decisiones, Santander, Cantabria, España.

[16] GONZÁLEZ, M.A., MESCHINO, G.J., ESPIN ANDRADE, R.A., BALLARIN, V.L. (2011). Classification of over-segmented regions result of the watershed transform through Compensatory Logic. In: (eds.) Editorial Shaker Verlag, Universidad de Oldenburgo, pp. 161-8. Editorial Shaker Verlag, Universidad de Oldenburgo, Oldenburgo, Alemania.

[17] D'ONOFRIO, M.V., GONZALEZ, M.A., MESCHINO, G.J., BALLARIN, V.L. (2011). Quantification of international competitiveness of argentine fishing industry. Chinese Business Review. 10, 481-6.

[18] ALBORNOZ D, MESCHINO G, LIMA L, DAMIANO F, BARILARI A, MASSONE H. (2012). Interacción ingeniería informática-ingeniería ambiental a partir de una aplicación de lógica difusa. I Congreso Argentino de Ingeniería (CADI). Mar del Plata. ISBN 978-987-1312-46-7.

[19] ZELAYA K, LIMA ML, LATERRA P, MACEIRA N, MASSONE H (2009) Simulación de cambios en el uso de la tierra en la cuenca del arroyo Dulce. Provincia de Buenos Aires, Argentina. Simposio de Geomática y otras tecnologías de la Ingeniería Agrícola y el Medio Ambiente. Actas en CD. Cuba

[20] FOSTER S, HIRATA R, GOMES D, D'ELIA M, PARIS M (2002) Protección de la calidad del agua subterránea. Guía para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales, Washington D.C., Banco Mundial.



## Propiedades mecánicas de nuevos materiales obtenidos de residuos industriales y su aplicación

Vite Torres Jaime<sup>1\*</sup>; Carreño León María del Carmen<sup>2</sup>; Vite Torres Manuel<sup>3</sup>; Reyes Astivia Jesús Eliseo<sup>3</sup> y Castillo Sánchez Martín<sup>3</sup>

### Resumen

En esta investigación fueron utilizados un equipo especial y un proceso patentados por nosotros, en los Estados Unidos y México. Se estudiaron los residuos industriales sólidos granulares provenientes de la minería y de tierras diatomáceas, de ésta última se extrajo el material orgánico mediante técnicas físico químicas, utilizando solventes químicos y un tratamiento térmico, siguiendo la metodología experimental desarrollada. Los productos obtenidos fueron mezclados con aglutinantes para lograr un material sólido. Se analizaron las propiedades mecánicas de este nuevo material, tales como: resistencia a la compresión, se evaluaron de acuerdo a las normas internacionales ASTM. Los resultados experimentales mostraron que es más ligero, así como también tienen una resistencia a la compresión más alta en comparación con los materiales convencionales.

**Palabras clave:** Lixiviación de metales pesados, columnas termostatzadas, residuos industriales sólidos granulares peligrosos, Tierras diatomáceas, mineros.

### Abstract

In this research were used a special equipment and a process patented for us. in the United States and Mexico. We studied the industrial granular wastes from mining industry and diatomaceous earth, of the latter, organic material was extracted by physic chemical technic using organic solvent and a thermic treatment. Following the experimental methodology developed. The products obtained were mixed with binders to achieve a solid material. The mechanical properties of this new material, such as: compressive strength was evaluated according to ASTM international standards. The experimental results showed, that it is lighter also it has a higher compressive strength compare to conventional materials.

### Introducción

La introducción en 1887[1] del proceso de lixiviación de metales, utilizando el cianuro de sodio, revolucionó las técnicas para la obtención de oro y plata. A partir de entonces es un método utilizado en todo el mundo para la recuperación de éstos y otros metales. La actividad minera genera los residuos sólidos conocidos popularmente como jales (voz náhuatl derivada del xalli, que significa arena). Estos residuos se generan en unas 330000 toneladas diarias en México, aproximadamente.

\* Autor por correspondencia

<sup>1</sup>Dpto.de Estudios del Ambiente. Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) Carretera México-Toluca s/n La Marquesa Ocoyoacac, México, CP 52750 Fax: (52 55) 53 29 73 88.

E-mail: jaimete@inin.gob.mx

<sup>2</sup>Instituto Tecnológico de Toluca, Av. Instituto Tecnológico S/N. Ex-Rancho la Virgen. Metepec, Edo. De México, Tel: 722 2 08 72 00 al 08 Ext.: 390 C. P. 52140.

E-mail: mcarrenod@ittoluca.edu.mx

<sup>3</sup>SEPI, ESIME, IPN, Unidad Profesional "Adolfo López Mateos" Departamento de Ingeniería Mecánica Av. Instituto Politécnico Nacional Nacional S/N Edificio 5, tercer piso, Cubículo 23. Col Lindavista. C.P. 07738, México D. F.

E-mail: drmanuelvite@hotmail.com; astivia2000@hotmail.com; avinfer@hotmail.com.

Un caso importante, es lo relacionado con aquellos jales, cuyo contenido de pirita ( $\text{FeS}_2$ ) es elevado y por ende están sujetas a reacciones químicas, ocasionadas por el intemperismo en jales. Ante este panorama, es importante procesar los jales para utilizarlos en diferentes aspectos, tal es el caso de su uso para la construcción de rellenos en la nivelación de carreteras o como aditivos para mezclas asfálticas, o bien para la construcción de diques de ellos mismos. [2-7].

Por otra parte, la composición química de las diatomitas, consiste de dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) y es una roca sedimentaria marina, otros componen-

tes de estos materiales son arena, arcilla, ceniza volcánica, carbonato de magnesio, sales solubles y materia orgánica. Las diatomitas son utilizadas fundamentalmente como filtros, material aislante ó material de relleno. En el primer caso la sustancia se utiliza para filtros de lodos residuales. Otra aplicación es en la refinación de azúcar, así como en varias plantas industriales de solventes antibióticos, grasas y aceites. En muchos otros casos se utilizan tierras diatomáceas para proceso de separación. La diatomita, queda contaminada con material orgánico, después de utilizarse en los procesos antes descritos. Obteniéndose de esta manera los Residuos Industriales de Tierras Diatomáceas (R. I. T.D.).

Las metas de este trabajo de investigación fueron las siguientes:

1. Obtener muestras representativas de residuos industriales granulares sólidos mineros (R.I.M.) y Tierras Diatomáceas los cuales serán analizados cualitativa y cuantitativamente.
2. Lixiviación de las muestras de residuos industriales de origen minero utilizando columnas termostatzadas; a fin de eliminar o mitigar la presencia de metales pesados presentes en la matriz química del residuo.
3. Elaboración de probetas a partir de las muestras obtenidas, optimizando la aplicación de los agentes conglomerantes en la producción de los materiales de construcción.
4. Estudio de las propiedades químicas, físicas y mecánicas de los materiales obtenidos. Examinando dichas propiedades mediante normativas internacionales de ASTM.

## Objetivos

1. Ajustar sustentablemente a un beneficio económico y ambiental el manejo y aplicación de residuos industriales sólidos y semisólidos provenientes de residuos sólidos granulares de la industria minera (R.I.M.), así como de tierras de filtros (Tierras Diatomáceas).
2. Eliminar los impactos al ambiente y a la salud de la población generada por el manejo inadecuado de residuos sólidos y semisólidos que se almacenan frecuentemente a cielo abierto, los cuales son dispersados por el viento y el agua de lluvia.

3. Generar una propuesta basada, en su factibilidad técnica, económica y social para la implementación de un proceso que sirva a la producción de insumos para la industria de la construcción.

## Tratamiento de residuos industriales sólidos granulares de origen minero y tierra diatomacea

En nuestro laboratorio logramos eliminar el material orgánico adherido a las tierras diatomáceas, aplicando un proceso Físico-Químico, desarrollado por nosotros (En la figura 1), se puede apreciar la morfología de una de las muestras obtenidas, de residuos industriales sólidos granulares procedentes de Tierras diatomáceas). Después de ello mezclamos el material sólido granular de Tierras diatomáceas, con diferentes agentes conglomerantes y se analizó la resistencia a la compresión de probetas elaboradas con estos materiales, después de realizar dichas pruebas, se pudo comprobar, que el material obtenido utilizando Tierras diatomáceas y agentes conglomerantes, tiene menor resistencia a la compresión, en comparación con las obtenidas con R.I.M. y agentes conglomerantes, pero a cambio de ello se obtuvo un material mucho más ligero.

Para analizar las propiedades físicas y químicas que se podrían obtener de estos materiales, se mezclaron Residuos Industriales Mineros (R.I.M.) y Residuos de Tierras Diatomáceas (R.I.T. D.), utilizando 3 agentes conglomerantes, que fueron Arcilla, Caolín y Cemento. Los mejores resultados con respecto a la resistencia a la compresión la ofrecieron las probetas que utilizaron arcilla como agente conglomerante.

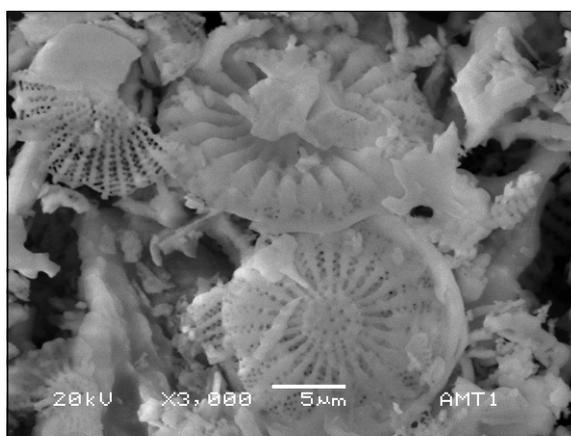


Figura 1. Morfología Característica de la Tierra de Diatomácea.

Para determinar la presencia y la concentración de cianuro y metales pesados, se tomaron muestras representativas de R.I.M y se analizaron, cualitativa y cuantitativamente utilizando técnicas convencionales y nucleares. Posteriormente, se procedió a eliminar el contenido de cianuro utilizando Columnas Termostatzadas Acopladas, cuyo proceso y equipo patentamos, [8-10] para lo cual se coloca las muestras de R.I.M. en el interior se agrega hipoclorito de sodio, y establecemos la temperatura en Las Columnas de 28 OC, durante 20 minutos, concluido este proceso, se realiza la separación sólido-líquido. la muestra sólida, se seca y se coloca nuevamente en las Columnas Termostatzadas Acopladas, a fin de lixiviar los metales pesados para lo cual se mezcla la muestra de jales con agentes reductores, surfactantes y complejantes, realizando el proceso de lixiviación en diferentes rangos de pH, agregando ácido ó una base, se agitó la pulpa, mediante la inyección de aire y se procesa cada muestra, durante 120 minutos, a 60 OC. Después de lo cual se realiza la separación sólido-líquido. El sólido se analiza cualitativa y cuantitativamente, a fin de verificar la disminución de la concentración de cianuro y de metales pesados en las muestras, si se observa algún rango de concentración de

un componente tóxico, se repite la operación hasta obtener muestras inocuas.

El tratamiento de los residuos industriales mineros para la lixiviación de cianuro y metales pesados utilizando las Columnas Termostatzadas Acopladas, fue exitoso, ya que se eliminó el 100% del contenido de Cianuro, así como, entre el 80-100% del contenido de metales pesados ocluidos en la matriz química del material.

### Tratamiento de tierras Diatomáceas

Las muestras de Tierras Diatomáceas, fueron obtenidas de una Industria productora de gredina, dichas muestras fueron procesadas mediante una técnica Físico-Química, eliminando de esta manera el material orgánico ocluido, concluido este paso, se tomaron muestras representativa y se analizaron cualitativa y cuantitativamente, posteriormente, la Tierra Diatomácea, se mezcló con muestras de R.I.M. y agentes conglomerantes, con el objeto de elaborar probetas, cuyas propiedades químicas, físicas y mecánicas fueron analizadas.

En el siguiente esquema se presenta un diagrama de flujo de la elaboración de materiales a partir de R.I.M. y Tierras Diatomáceas.

En las siguientes figuras se presentan algunos de los resultados obtenidos:

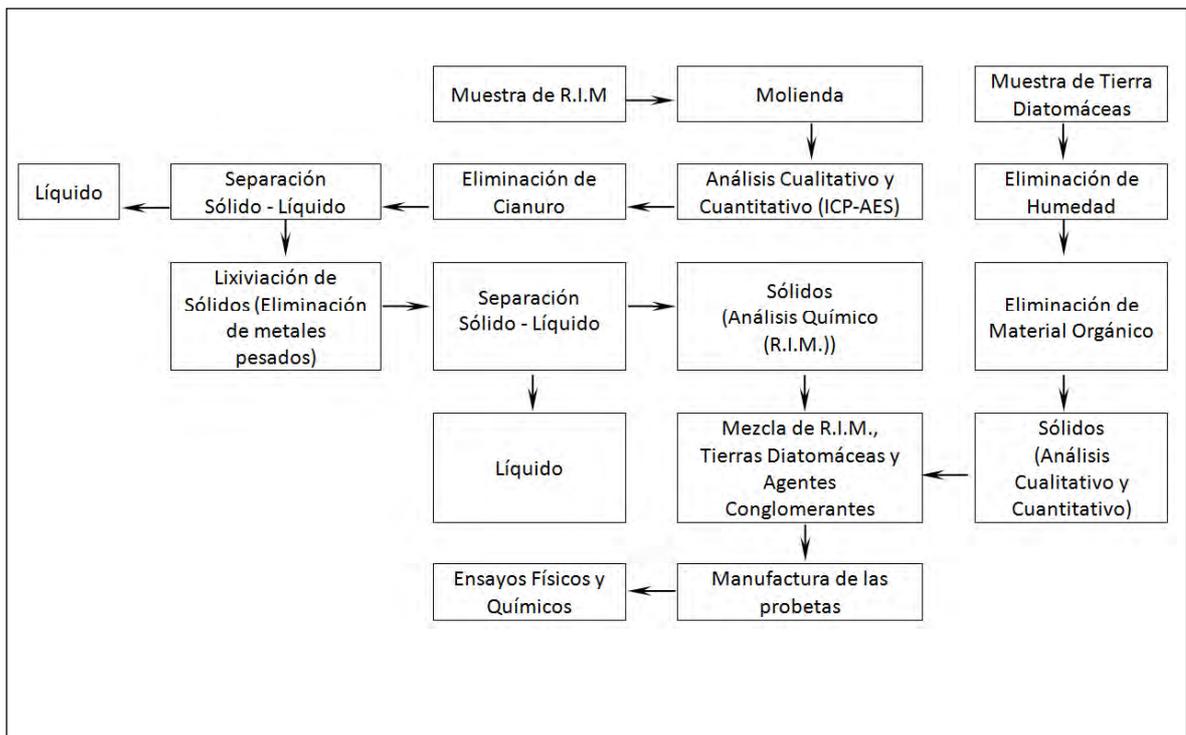
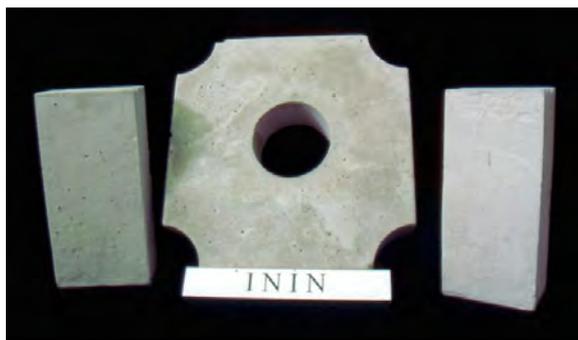
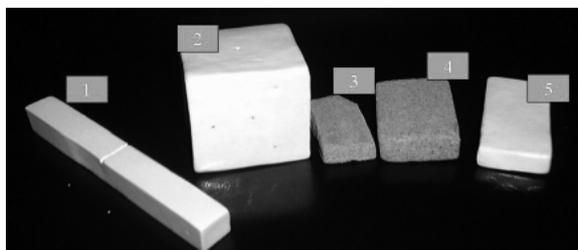


Figura 2. Diagrama de flujo para la obtención de materiales a partir de residuos sólidos granulares de origen minero (R.I.M.), Tierras Diatomáceas, y Agentes Conglomerantes.



**Figura 3.** Ladrillos y celosías obtenidas de residuos industriales sólidos granulares de origen minero (R.I.M.) y Tierras Diatomáceas, las cuales duplican en resistencia a la ruptura comparado con los ladrillos convencionales, de acuerdo a la norma ASTM C-170-50, asimismo, el porcentaje de absorción en el material obtenido es menor (cerca de 17.1%) que el exigido por la norma ASTM C-97-47, cuyo valor máximo es de 25%.



**Figura 4.** Probetas fabricadas de Arcilla con R.I.M. y Tierras Diatomáceas: 1) Para prueba de impacto y flexión, 2) Para el ensayo de compresión, 3) Para prueba de desgaste erosivo, 4) para el experimento de abrasión húmeda, 5) para el ensayo de abrasión seca.

la de un ladrillo convencional cuya resistencia oscila entre 80-100 Kg/cm<sup>2</sup>, además el peso del material obtenido, fue menor entre 20-25% que el peso de los ladrillos convencionales, tuvo menos porosidades y es un material sustentable, debido a que los costos, para su elaboración fueron 25% menores, que los materiales que existen en el mercado.

Se procesaron las probetas de la siguiente manera:

Muestra 1A. Se mezcló 50% de R.I.M., 40% de R.I.T.D y 10% de agente conglomerante.

Muestra 1B. Se mezcló 40 % de R.I.M. 40% de R.I.T.D. y 20 % de agente conglomerante.

Muestra 1C. Se mezcló 35% de R.I.M., 35% de R.I.T.D. y 30% de agente conglomerante.

Los parámetros obtenidos fueron los siguientes:

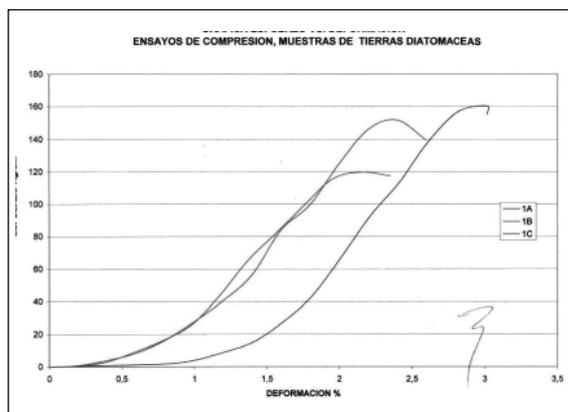
$\sigma_{max}$  - Esfuerzo máximo

$\epsilon_{max}$  - Deformación máxima

Resultados de las pruebas mecánicas realizadas en probetas de tierra de diatomácea utilizando al cemento como agente conglomerante.

**Tabla1.** Resultados de las Pruebas Mecánicas

Muestra No.	Agente Conglomerante	$\sigma_{max}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\epsilon_{max}$ (%)
1A	10%	119.7	2.7
1B	20%	151.9	2.5
1C	30%	160.3	3.0



**Figura 5.** Resultados obtenidos de las pruebas de resistencia a la compresión en cubos de 2 pulgadas elaboradas de la mezcla de residuos industriales sólidos granulares de la industria minera, residuos de Tierras diatomáceas y agente conglomerante (arcilla).

### Pruebas mecánicas

La resistencia a la compresión según las normas ASTM C-170-50 y la ASTM C-36.

Las pruebas de compresión requieren someter la muestra a una carga a compresión, hasta que se rompa o se fracture. Se pueden hacer pruebas de compresión en la mayoría de los materiales, en los cuales, en la mayor parte de los casos, se rigen por la norma ASTM C170-50. Entre los que podemos mencionar a los productos de cemento, concreto, caucho, madera, plástico y arcillas (cerámicos).

En la figura 5, se muestra, que la resistencia a la compresión de las probetas analizadas, tuvo un máximo, cuando el contenido del agente conglomerante fue del 30% en volumen siendo esta resistencia de 160.3 Kg/cm<sup>2</sup> y un mínimo de 119.7 Kg/cm<sup>2</sup>, cuando el contenido del conglomerante, fue de 10%. Pero en ambos casos fue superior a

## Conclusiones

Utilizando las columnas termostatazadas es posible eliminar completamente el contenido de cianuro y metales pesados presente en los jales recientemente procesados. Después de este tratamiento, el material sólido se seca, caracteriza y se procesa, mezclándolo con residuos de Tierras Diatómicas y con agentes conglomerantes, cuyo resultado final ofrece un material con excelentes propiedades mecánicas para su aplicación en las industrias de la construcción.

Los ladrillos obtenidos, tuvieron excelentes propiedades físicas y mecánicas, como es una mayor resistencia a la compresión que los ladrillos convencionales.

Los materiales obtenidos son entre 20-25% más ligeros, que los materiales convencionales, tienen además menos porosidades y son sostenibles, debido a que los costos de elaboración son 25% menores, en comparación con otros materiales utilizados en la rama de la construcción.

Existe una amplia variedad de posibilidades de utilizar residuos sólidos granulares de origen minero y residuos de Tierras diatómicas para ser aplicados en la Industria de la construcción ó bien para la elaboración de materiales cerámicos.

## Agradecimientos

Los autores del presente trabajo agradecen la valiosa participación de los siguientes colaboradores, al Técnico Roberto Carlos Gonzalez Díaz, y al Ing. Julio Cesar Zenteno Suarez del departamento de tecnología de materiales, así como al Técnico Jorge Perez del Prado. Del departamento de microscopía electrónica

## Referencias

- [1] Li, J. and Wadsworth, E.M. (1993). Electrochemical Study of Silver Dissolution in Cyanide Solutions, J. Electrochemical soc. Vol. 140, No. 7, pp 1921-1927.
- [2] Wills B. (1994) "Tecnología del Procesamiento de Minerales". Editorial Limusa México, 250pp.
- [3] Vite-Torres J., Díaz-Calva A., Vite-Torres M., and Carreño de Leon C., (2003) "Application of Coupled Thermostatted Columns in Civil Engineering and for Leaching Heavy Metals of Wastes from Foundry Sands and Mining". Int. J. of Environmental and Pollution, Vol. 19 No. 1 pp 46-65.

[4] Sengupta, M. (1993) "Environmental Impacts of Mining Monitoring, Restoration and Control. Lewis Publishers. United States of America 447 pp.

[5] Orozco, R.V., y Orozco, Y.Y. (1992). "Las Presas de Jales en México, Criterios Básicos para su Proyecto, Construcción y Operación", XVI Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, Zacatecas, México.

[6] Presas de Jales Industriales y Mineros (1996). Informe de la 44a Reunión Ejecutiva del Comité ICOLD (World Register of Tailings Dams and Industrial Waste Embankments, Paris). 38 pp.

[7] Botz, M. y Stevenson, J. (1995). "Cyanide Recovery and Destruction". Engineering and Mining Journal. Vol. 196, pp 44-47.

[8] Vite, J. (1994a) "Apparatus for Extracting Metal Values from Foundry Sands U.S. Patent". 5376000. Dic.

[9] Vite, J. (1994b). "Process for Extracting Metal Values from Foundry Sands U.S. Patent". 5356601 Oct.

[10] Vite J., (2013). Method and device for treating Diatomaceous earth waste and other waste in order to obtain construction materials. U.S. patent application serial number 13/878,938;



# Detección de fallas en varillas de bombeo mediante examen visual

## Resumen

Las varillas de bombeo son componentes mecánicos que deben ser tratados con sumo cuidado, por cuanto cualquier maltrato puede, en combinación con los esfuerzos y el medio a los que se encuentran sometidas durante su vida útil, transformarse en iniciadores de falla. En función de ello, se deben seguir las recomendaciones especificadas para la ejecución adecuada de su almacenamiento, manejo y transporte. En el siguiente trabajo se exponen observaciones realizadas por examen visual sobre el depósito y transporte de varillas de bombeo, y se exponen los problemas aparejados como posibles disparadores de fracturas prematuras.

**Palabras Clave:** Falla - Varillas de Bombeo - Examen Visual

## Abstract

Sucker rods are mechanic components that must be treated carefully, as any misuse in combination with the conditions of stress and the environment existing during their duty can become a failure starter. Taking that into account, some specific recommendations must be followed when storage, handling or transport of the rods is taking place. In this article we will state some observations made by visual examination about the storehouse and carriage of sucker rods, as well as some problems that can appear as booster of premature failures.

## Introducción

Una sarta de varillas debidamente diseñada, manejada, instalada y operada, libre de corrosión y de desgaste, debiera trabajar sin fallas hasta su límite de resistencia a la fatiga. Debido a esto es fundamental un correcto manejo y almacenamiento de las varillas de bombeo para que estas brinden las prestaciones para las cuales fueron diseñadas y calculadas.

Las sargas de varillas de bombeo tienen muchos enemigos durante el servicio, incluyendo: la corrosión (corrientes vagabundas, efecto galvánico, acción de agentes químicos y biológicos como SH<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, bacterias, etc.); la erosión y el desgaste (fricción de metal contra metal, erosión producida por arena, etc.); el daño por manipuleo (curvaturas, mellas,

Furlani, Ana María<sup>1</sup>; Martínez, Federico<sup>2</sup>; Santamarina, Sergio<sup>3</sup> y Del Pópolo, Marcelo<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Dra. Ing. Ana María Furlani. Profesora titular, cátedra Ciencia de los Materiales. **E mail:** amfurlani@uncu.edu.ar

<sup>2</sup> Sr. Federico Martínez. Técnico en Laboratorio de Ensayo de Materiales. **E mail:** federicogabriel.m@hotmail.com

<sup>3</sup> Ing. Sergio Santamarina. Becario CIN. **E mail:** srsantamarina@gmail.com

<sup>4</sup> Sr. Marcelo del Pópolo. Ayudante en Laboratorio de Ensayo de Materiales. **E mail:** madelpopolo@yahoo.com.ar Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo, Centro Universitario, (5500) Mendoza. Argentina. Teléfono 261 4135000 interno 2192.

Enmarcado dentro del proyecto de Investigación "Estudio de algunas herramientas de análisis utilizadas para el diagnóstico de falla en componentes metálicos" aprobado por la Secretaría de Ciencia, Técnica y Posgrado (SECTYP) de la Universidad Nacional de Cuyo. Subsidio correspondiente al período 2011-2013.

abolladuras, etc.) y la variación de carga entre otros. Estos trabajan individualmente o en combinación para producir la concentración de tensiones que causan la falla de varillas y cuplas. La rotura de una varilla de bombeo implica una operación de pesca con las consiguientes pérdidas por costos de trabajos de pesca (extracción de varillas) y el valor de producción perdida por paro (falta de extracción de producto)

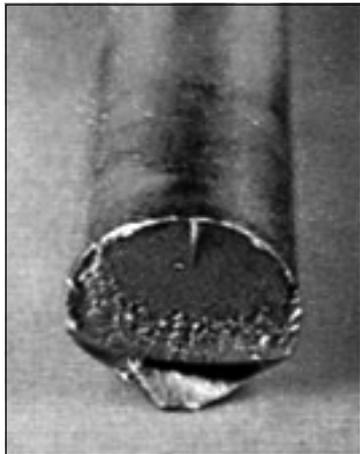
El mecanismo de falla más común en el cuerpo de las varillas de bombeo es por fatiga, debido al desarrollo de puntos de concentración de tensiones en su superficie. Al formarse una fisura, la tensión aumenta en la zona adyacente porque hay menos sección útil para soportar la carga, facilitando su propagación. La fisura se desarrolla, las dos caras de ruptura se frotan entre sí produciendo una superficie lisa y pulida, hasta que la sección restante no puede soportar la carga y se rompe por tracción, con aspecto granular.

La falla por fatiga presenta una rotura de aspecto frágil y es producida por una tensión media inferior a la del límite elástico del material, a la

cual es sometida la pieza durante un gran número de ciclos de carga. La fisura causada por fatiga comienza en la superficie de la varilla, en un punto de concentración de tensiones (por ejemplo, una discontinuidad producida por un golpe), como se explicó en el párrafo anterior. Procede lentamente al principio, luego más rápido, en ángulo recto con la dirección de la fuerza principal de carga. Al seguir creciendo la grieta, las superficies de rotura se frotan entre sí, produciendo una superficie lisa. Esto lo vemos como una media luna en la superficie de la rotura, como se puede observar en la Figura 1.

El origen del punto de concentración de tensiones es la causa de la falla, el cual puede ser causado por una picadura (implica el ataque por corrosión a la varilla), muesca aguda o corte mecánico (la causa de la falla es alguna variante de daños causados por el manipuleo) o la curvatura de las varillas.

Es importante recalcar que en general las varillas de bombeo tienen una capa blanda descarburizada de 0.005-0.008" de espesor. Este recubrimiento consiste en acero de bajo contenido de carbono y es una protección contra la corrosión y la fragilidad causada por el hidrógeno; y las prácticas inadecuadas de manipuleo y transporte (esfuerzos mecánicos) que pueden romper el recubrimiento blando y descubrir el metal base. Luego la corrosión ataca la varilla y genera una picadura que se convierte en punto de concentración de tensiones. [1]



**Figura 1.** Falla por fatiga. Aunque la carga aplicada se distribuye aproximadamente igual sobre toda el área de la sección de la varilla, en una superficie dañada se reduce la sección, por lo que se incrementará la carga o tensión sobre la misma [2]

Como indica Stevens y Hendricks [3] se debe hacer todo lo posible para impedir daños mecánicos superficiales a las varillas de bombeo, varillas cortas y cuplas. El tipo de daños y su orientación

contribuye a este efecto de esfuerzos mayores. La orientación del daño contribuye a mayores esfuerzos con daño transversal teniendo un aumento de esfuerzos sobre aquellos asociados a daño longitudinal. Las varillas de bombeo con indicaciones de daños superficiales no deben ser usadas y deberán cambiarse. Se debe tener cuidado en evitar todo contacto de metal con metal que resulte en abolladuras, picaduras o arañazos.

Por todo lo anterior, muchos fabricantes de varillas de bombeo, como se puede ver en Stevens y Malone [4], establecen y recomiendan una serie de procedimientos a la hora de manipular, operar, almacenar y utilizar estos elementos mecánicos. En caso de no seguir estas indicaciones, se incurre en la posibilidad de que la varilla falle prematuramente, y si por medio de un análisis de falla se determina un mal uso de la misma, el fabricante puede deslindar sus responsabilidades, incurriendo el contratista en costos difíciles de afrontar.

En el siguiente trabajo se exponen algunas observaciones realizadas en almacenes de varillas de bombeo, y los posibles problemas que pueden acarrear las disposiciones utilizadas.

## Metodología

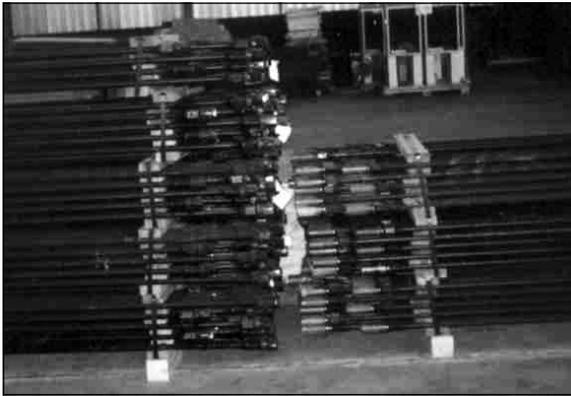
Se efectuaron observaciones en depósitos de varillas de bombeo, para corroborar el cumplimiento o no de las normas API RP 11BR, Supplement 1: Recommended Practice for Care and Handling of Sucker Rods y API 11B, Specification for Sucker Rods.

Para ello se realizaron numerosas inspecciones visuales a las condiciones de almacenamiento y manejo de los cajones y paquetes de varillas, comparando los procedimientos empleados por los operadores con los recomendados por las normas. Se anotaron y documentaron fotográficamente todos los aspectos que no coincidieran con las prácticas recomendadas, prestando especial atención a cualquier situación que conformara un iniciador de falla.

## Resultados

Algunas observaciones realizadas en campo son cajones de barras de bombeo que han sido desmantelados, despojando a las barras de bombeo de la protección mecánica adecuada para su manipuleo y almacenamiento, como se muestra en la Figura 2. También se hallaron paquetes de barras en cajones desmantelados con indicios de que las barras han sido trasladadas fuera de los

mismos y luego reintegradas a los cajones (paquetes desarmados, zunchos flojos, varillas raspadas, protectores deteriorados, cuplas rayadas).



**Figura 2.** Paquetes de varillas fuera de su cajón protector y cajones desmantelados.

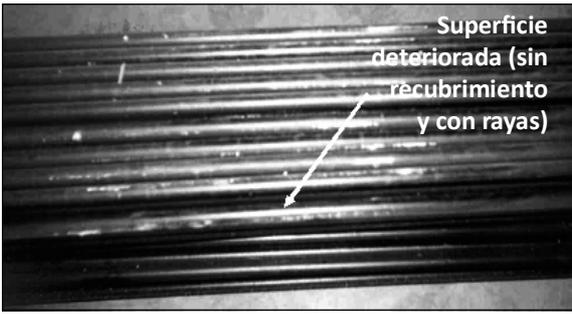
Es importante recalcar que la conformación de los cajones (forma prismática reforzada con tres vigas longitudinales en su base) provee de una estructura resistente que colabora en gran medida a soportar el esfuerzo de flexión. Esta configuración se muestra en la Figura 3.



**Figura 3.** Paquetes de varillas en cajones protectores con vigas longitudinales.

Otra observación importante es cuando las varillas de bombeo han sido manipuladas fuera de los cajones, sometiéndolas a distintos esfuerzos mecánicos. Un ejemplo es a flexión, con la posibilidad de haber generado una curvatura permanente. Una grieta en la varilla de bombeo causada por la fatiga es siempre iniciada en un punto de concentración de tensiones. La creación de este punto puede originarse mediante una concentración de carga dentro de una parte del área transversal del cuerpo de la varilla de bombeo. La flexión de la varilla produce este tipo de puntos. La curvatura de una varilla se desarrolla al flexionarla suficientemente para estirar permanentemente el metal del área combada o del arco exterior de flexión. Cuando la carga del pozo endereza el cuerpo de la varilla, este metal elongado en la sección transversal no soporta carga, esto naturalmente traslada toda la carga al metal ubicado en el área cóncava del arco de flexión. Esta concentración de carga casi siempre sobrecarga al metal del área cóncava o interior del arco de flexión y origina la concentración de tensiones que inicia el agrietamiento por fatiga en el cuerpo de la varilla. Una varilla combada está permanentemente dañada y debe ser descartada, no puede ser reparada. Los procesos mecánicos utilizados para enderezarla (ejemplo: el martilleo o el paso de la varilla a través de un sistema de rodillos) puede reacondicionar la varilla para parecer derecha; sin embargo, estos procesos no corrigen la estructura granular deformada y el desequilibrio de la tensión de carga causado por la flexión. La grieta por fatiga puede comenzar sin evidencia de una picadura por corrosión o una muesca aguda en la superficie de la varilla. Las grietas en el metal de superficie en las fallas por fatiga, se deben a la condición de sobrecarga desarrollada por la concentración de carga. Estas minúsculas grietas causadas por la fatiga se abren solamente en la superficie del metal afectado por la concentración de carga. Esto aísla el agrietamiento en un campo localizado dentro de un semicírculo de la superficie de la varilla, este es el área cóncava o interior del arco de flexión.

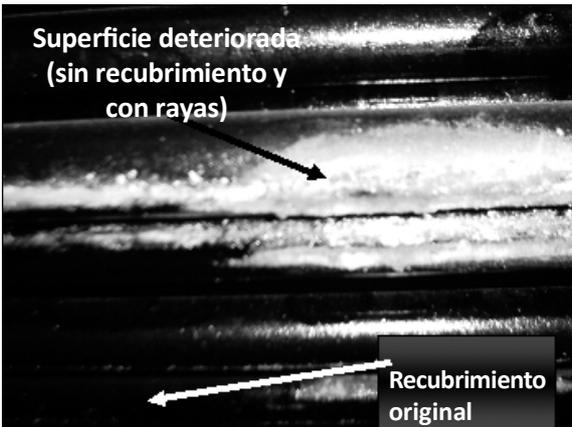
Otro caso es la abrasión en el cuerpo de varillas de bombeo por rozamiento directo o golpes con las uñas del autoelevador, produciendo a simple vista una superficie sin revestimiento y con rayas, como se observa en la Figura 4 y con detalle en la Figura 5. La pérdida del revestimiento anticorrosivo por abrasión permite el ataque de la corrosión sobre la superficie de la varilla, con el desarrollo de picaduras (pitting). La abrasión y/o los golpes pueden producir muescas agudas o corte del material de la varilla, generando una zona de concentración de tensiones.



**Figura 4.** Parte externa del cuerpo de las varillas de bombeo sin recubrimiento y con rayas (vista general).

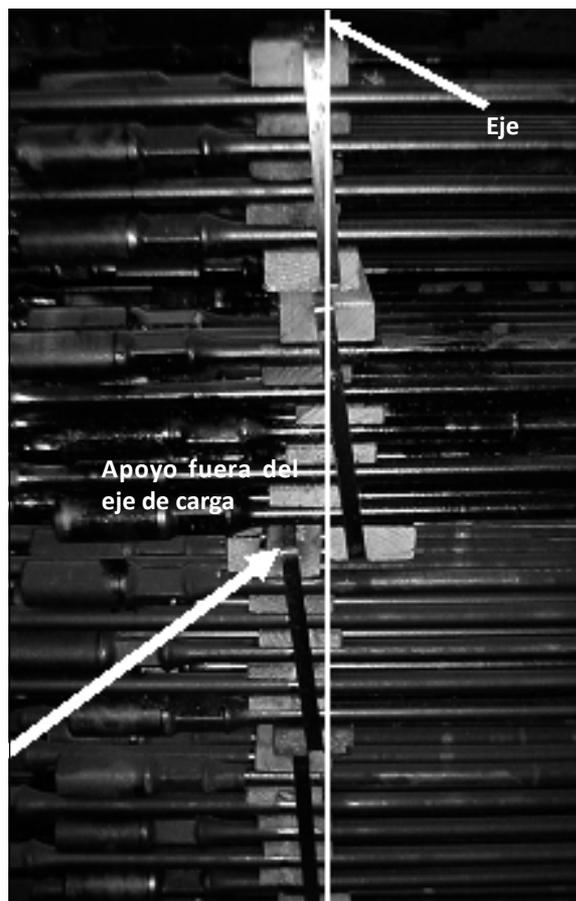


**Figura 7.** Cuplas sometidas a abrasión.



**Figura 5.** Parte externa del cuerpo de las varillas de bombeo sin recubrimiento y con rayas (ampliación de zona afectada).

Como última observación, cuando el almacenamiento de los paquetes de varillas de bombeo se realiza en forma inadecuada, se someten algunas varillas a un mayor esfuerzo de flexión por no disponer la carga en forma colineal sobre los apoyos.



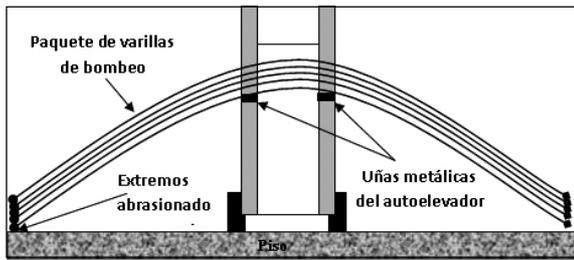
**Figura 8.** Debido al manejo incorrecto de los paquetes de varillas de bombeo los zunchos se han desplazado (evidenciando que el paquete ha sido flexionado) y los separadores (apoyos) de las varillas de bombeo también se han desplazado quedando fuera del eje de carga y por lo tanto sometiendo a las varillas a un mayor esfuerzo.



**Figura 6.** Los protectores de los filetes de rosca han sido girados para observar el deterioro por abrasión de los mismos.

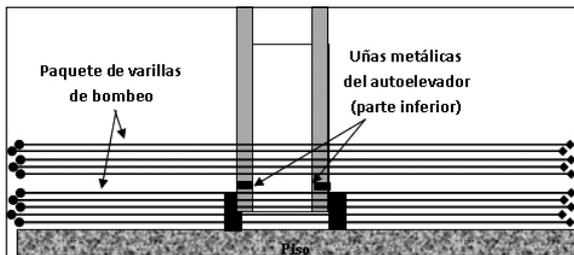
De la inspección realizada se han observado las siguientes no conformidades que ponen en duda las prestaciones de las varillas de bombeo, para las cuales fueron diseñadas y calculadas (para determinar el verdadero deterioro de las varillas de bombeo es necesario un análisis individual y exhaustivo, que puede incluir observaciones macro y/o microscópicas, con los consiguientes ensayos destructivos y no destructivos):

Durante la carga y transporte con un autoelevador no se ha tenido cuidado en prevenir el contacto del cuerpo de la varilla y de sus extremos contra el piso, pudiendo causar mellas, curvatura del cuerpo y/o deterioro de las roscas. Los extremos de las varillas (protector de rosca y cupla) presentan marcas de abrasión debido al roce contra el piso. Esta situación se esquematiza en la Figura 9.



**Figura 9.** Efectos de la carga con autoelevador en las varillas de la parte inferior del paquete.

Los paquetes de varillas de bombeo fueron manipulados con un autoelevador que posee dos uñas separadas un metro entre sí. Cuando las mismas se localizan entre los paquetes de varillas apilados, se observan en éstos áreas que han sufrido abrasión, y que coinciden con la disposición de las uñas. Esto sucede tanto en el paquete ubicado por arriba de las uñas como en el que quedó por debajo de las mismas, en las varillas ubicadas en la zona inferior y superior respectivamente, como se indica en el esquema de la siguiente figura.



**Figura 10.** Efectos de la carga con autoelevador en las varillas de la parte superior del paquete.

Los paquetes de varillas no han sido manejados ni almacenados como una unidad empaquetada, ya que han sido retirados de los cajones contenedores que le proveían de las condiciones adecuadas para su almacenamiento y manejo (separación entre varillas, mayor resistencia a la flexión, apoyos adecuados, protección mecánica, etc.).

Para un correcto manipuleo de la varilla de bombeo, una vez desempacada, ésta debe ser manejada en forma individual tomándola, por ejemplo, de los extremos y también desde el centro de la misma para evitar flexiones o contactos peligrosos de cualquier naturaleza.

Los protectores de las roscas macho se encuentran deteriorados (por abrasión producida durante su manejo inadecuado) por lo que las roscas deben inspeccionarse minuciosamente y sus protectores deben ser reemplazados.

Los paquetes de las varillas de bombeo no han sido levantados y depositados con el equipamiento adecuado ya que ha producido flexión, rozamiento, etc. sobre las varillas de bombeo. El equipamiento debe estar diseñado y conformado para soportar el paquete sin deteriorar las varillas.

Los paquetes de varillas no han sido apilados en forma correcta (zunchos y separadores corridos y/o sueltos, sin mantener colinealidad) sometiendo a las varillas a un mayor esfuerzo mecánico. Los zunchos y separadores deben ser colineales.

## Conclusiones

Se ha podido comprobar la importancia de las condiciones de almacenamiento que el fabricante presenta en las varillas de bombeo, especialmente en los cajones contenedores, para que las mismas no sean sometidas inútilmente a esfuerzos tales como flexión, abrasión y golpes, que luego lleven a fallas prematuras de las varillas.

Las operaciones con las varillas requieren de especial cuidado, por cuanto el contacto de las mismas con el piso o con elementos de transporte produce marcas que propician la formación de fisuras. Este factor, combinado con una violación a la protección brindada por el fabricante tal como retirar las varillas de sus correspondientes cajones, puede ser determinante en la disminución de las horas de vida de las varillas. El uso de equipos inadecuados para su manejo y transporte deteriora su desempeño, al someterlas a esfuerzos mecánicos y abrasiones.

Los extremos, tales como cuplas y roscas deben ser protegidos y resguardados de abrasiones, por

ello, deben ser reemplazados todos los protectores plásticos que muestren deterioro e inspeccionarse esos terminales para que su condición no comprometa el servicio de las varillas.

Finalmente, es importante el rol que juegan los zunchos y separadores a la hora de mantener la colinealidad en el almacenamiento de varillas. Si esta condición no se cumple, se incurre en un sometimiento de las mismas a esfuerzos mecánicos que atentan contra su vida útil.

### Referencia Bibliográfica

- [1] STEWARD, W.B. (1973). Fallas de las varillas de bombeo. YPF. Mendoza
- [2] ARTIGAS, M. (2010). Exploración y producción: bombeo mecánico: actualización tecnológica aplicada a la Industria.- 1a ed. – CABA Fund. YPF.
- [3] HENDRICKS, C. y STEVENS, R (2000). Análisis de las Fallas de las Varillas de Bombeo: Un informe especial de Norris. Norris/A Dover Company. EEUU.
- [4] STEVENS, R. y MALONE, S. (2005) Protegiendo sus inversiones – El cuidado y manejo de las Varillas de Succión Norris. Norris/A Dover Company. EEUU.

# Implementando Internet 0 en una red domotica

Gallina, Sergio Hilario<sup>1</sup>; Villagrán, Luis Daniel<sup>2</sup>; Beltramini, Paola<sup>3</sup>; Pucheta, Julián Antonio<sup>4</sup>; Peretti, Gastón<sup>5</sup>; Felissia, Sergio Francisco<sup>6</sup>

## Resumen

En este trabajo se describe la solución adoptada para la construcción de una red de nodos en una instalación domotica, el protocolo y el modelo de comunicación, buscando una instalación del tipo Plug & Play. Habiéndose adoptado el protocolo denominado "Internet cero" (I0), se describen las principales características de este protocolo de baja velocidad y consideraciones de diseño basadas en el estándar IEEE 1451. En segundo lugar se muestran resultados de los ensayos de transmisión / recepción, el modelo computacional adoptado y el mecanismo de auto identificación de un nodo en la red. Las conclusiones a las que se arriban son alentadoras y permiten mantener la idea central del desarrollo de una instalación plug & play.

**Palabras clave:** Protocolo, Internet 0, Codificación bifa-se, Middleware, Nodos Inteligentes

## Abstract

This paper describes the solution adopted for the construction of a network of nodes in domotic system, its protocol and the communication model used for the self-identification of each node in the network, looking for an installation of the Plug & Play sort. Having adopted the protocol called "Internet zero" (I0), the main features of the low-speed protocol are briefly described and design considerations are drawn from family of IEEE 1451. Secondly, this paper shows test results for the transmission / reception of information, the computational model adopted and the mechanism for the self identification of a node in the network. The conclusions of the study are encouraging and allow to sustain the central idea of developing a plug & play installation.

**Keywords:** Protocol, Internet 0, Bifase encoding, Middleware, Smart Nodes

## Antecedentes

Nos hemos planteado el desarrollo de una red domotica autosuficiente que permita brindar confort y también mejorar la interacción de los dispositivos hogareños con una visión puesta en quienes habitan la vivienda. Para ello hemos de-

<sup>1</sup>Gallina Sergio Hilario. Ingeniero Electricista Electronico. Profesor Adjunto. Facultad de Tecnologia y Ciencias Aplicadas - UNCa. Maximio Victoria 55 - San Fernando del Valle de Catamarca - Catamarca. Telefono 0383 4435112 interno 117. **E-mail:** sgallina@tecno.unca.edu.ar

<sup>2</sup>Villagrán Luis Daniel. Ingeniero Electricista Orientación Electrónica. Profesor Asociado. Facultad de Tecnologia y Ciencias Aplicadas - UNCa. Sarmiento 869 2B torre Oeste. Edificio Torres de la Plaza - San Fernando del Valle de Catamarca - Catamarca ( 4700 ). Telefono: 03833 - 435663/15300320. **E-mail:** ldvillagrán@hotmail.com

<sup>3</sup>Beltramini Paola. Profesor Adjunto. Facultad de Tecnologia y Ciencias Aplicadas - UNCa. Calle s/nombre, casa n° 40, BO 50 Viviendas, - Polcos - Valle Viejo - Catamarca. TEL: (03833) 443245 / (03833) 15576045. **Email:** pbeltramini@tecno.unca.edu.ar

<sup>4</sup>Pucheta Julián Antonio. Doctor En Ingeniería De Sistemas De Control. Profesor Titular. Facultad de Tecnologia y Ciencias Aplicadas - UNCa. Melincué 428. Barrio Las Flores III. CP: 5010 Córdoba (Ciudad). Argentina.

<sup>5</sup>Peretti Gaston. Magister en Ciencias de la Ingeniería (mención Telecomunicaciones). Profesor Adjunto Facultad Regional San Francisco - UTN. Poeta Lugones 893 (San Francisco - Pcia. de Córdoba). Telefono : 03564- 498119 Celular : 0351- 153978099. **Email :** gastonperetti@gmail.com

<sup>6</sup>Felissia Sergio Francisco. Ingeniero Electronico. Director Departamento Electronica de la Facultad Regional San Francisco - UTN. Aristóbulo del Valle 234. San Francisco. (Córdoba). Teléfono: 03564-433061 / 03564-15478534. **Email:** sergiofelissia@gmail.com

bido plantear el desarrollo de nodos inteligentes con capacidades para interactuar entre si, sin la necesidad de un control central o puesto de mando, aunque esto no implica eliminar la posibilidad de monitoreo o reconfiguración.

La transmisión y recepción de información entre los nodos, para que puedan interactuar no requiere de sofisticados mecanismos de red, ni de altas velocidades por lo que se ha optado por la implementación del denominado Internet 0 que propone una reducción de las capas del modelo OSI, además de reducir el uso del canal de comunicaciones, simplificar el hardware y

ajustarse a los verdaderos requerimientos de los sistemas domóticos

A los efectos de ubicar al lector sobre el alcance del presente trabajo, la figura 1 ilustra los diferentes subsistemas que componen un nodo y la ubicación de la interface Internet 0.

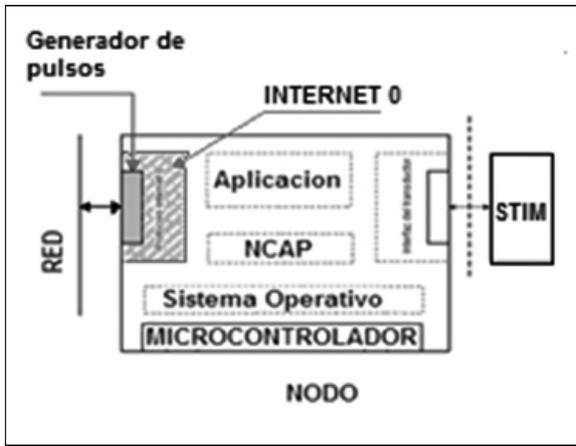


Figura 1. Ubicación relativa de la interfaz de red

### 1.1. Técnicas de codificación bifase

Los códigos bifase se usan con frecuencia en los esquemas de transmisión de datos. Unos de los más conocidos es el código Manchester [4]. En la codificación Manchester, cada período de un bit se divide en dos intervalos iguales. Un bit binario de valor 1 se transmite con un valor de tensión alto en el primer intervalo y un valor bajo en el segundo. Un bit 0 se envía con una tensión baja seguida de un nivel de tensión alto.

Este esquema asegura que todos los bits presentan una transición en la parte media, proporcionando así un excelente sincronismo entre el receptor y el transmisor. Una desventaja de este tipo de transmisión es que se necesita el doble del ancho de banda para la misma información que el método convencional.

Todas las técnicas bifase fuerzan al menos una transición por cada bit pudiendo tener hasta dos en ese mismo periodo. Por lo tanto, la máxima velocidad de modulación es el doble que en los NRZ (non return to zero), esto significa que el ancho de banda necesario es mayor. No obstante, los esquemas bifase tienen varias ventajas:

- Sincronización: debido a la transición que siempre ocurre durante el intervalo de duración correspondiente a un bit, el receptor puede sincronizarse usando dicha transición. Debido a esta característica, los

códigos bifase se denominan auto-sincronizados.

- No tienen componente en continua.
- Detección de errores: se pueden detectar errores si se detecta una ausencia de la transición esperada en la mitad del intervalo. Para que el ruido produjera un error no detectado tendría que intervenir la señal antes y después de la transición.

### 1.2. El Internet 0 (IO)

Después de analizar diferentes protocolos se ha optado por implementar el Internet-0 [1] presentado por un grupo de investigadores del grupo Center for Bits and Atoms, entre ellos Niel Gershenfeld del MIT (Massachusetts Institute of Technology), quienes proponen reducir la Internet actual a sus protocolos básicos, para convertirla en un estándar para la comunicación entre dispositivos de uso cotidiano.

Este protocolo desarrollado por Neil Gershenfeld, se basa en que una red de dispositivos que no necesita un gran ancho de banda o un potente servidor. El IO es una capa física de poca velocidad diseñada para encaminar "IP sobre cualquier cosa", y que tiene las siguientes ventajas para este tipo de aplicaciones:

- a) Banda estrecha
- b) Posibilidad de ser aplicado a múltiples medios de transmisión en nuestro caso la línea de alimentación de CC.
- c) ID compatible con internet.

La idea propuesta por Neil Gershenfeld, propone enviar en forma serial un paquete "IO IP" (Internet 0 IP) como un byte ASCII convencional con una trama IP de línea serial (SLIP). Sin embargo en vez de los niveles de voltaje usuales de RS 232, se utiliza un código de posición de pulsos de fácil implementación, con dos intervalos de tiempo por bit. Con un 1 (uno) representado por un pulso en el primer intervalo y un 0 (cero) representado por un pulso en el segundo. La presencia de pulsos en ambos intervalos identifica a los bits de inicio y final. En la figura 2 se pueden ver los pulsos para la transmisión de la palabra "10100111001". Si analizamos esta señal podemos ver que se trata de una técnica bifase y por ello se heredan todas sus ventajas.

Estas señales en bruto pueden ser transportadas sobre cualquier medio ya sea cableado o inalámbrico, electromagnético, acústico u óptico. Podemos

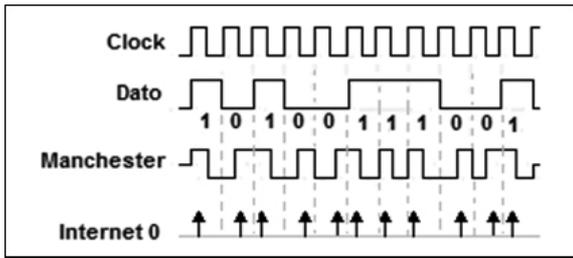


Figura 2. pulsos para transmitir el dato 10100111001

entonces interconectar nodos a través de la misma línea de alimentación, en este caso los pulsos son acoplados capacitivamente, proporcionando al mismo tiempo energía e información para entradas de control y conmutación de cargas.

El MIT identifica siete principios básicos o rectores del Internet 0 (I0) [2] [3], que son:

- 1) Llevar el protocolo de Internet a todos los dispositivos,
- 2) Todo el protocolo debe estar embebido en un microprocesador,
- 3) Permitir que los dispositivos se comuniquen entre sí directamente y eliminar la necesidad de servidores centralizados,
- 4) Que sea público e identificable, un dispositivo no sólo a la red virtual, sino también a la física,
- 5) Reducir la velocidades de las redes para simplificar el acceso a la misma,
- 6) Utilizar el mismo esquema de modulación a través de diferentes medios de comunicación para que los diseñadores de dispositivos queden libres de elegir su medio preferido,
- 7) Impulsar la política de ingeniería de estándares abiertos.

Para cumplir con los principios enunciados, se ha pensado la implementación del I0 como una capa física de poca velocidad que responde a las siguientes consideraciones de diseño:

- Todos los nodos tienen que tener acceso a la red; cada nodo será en sí un elemento de Internet.
- Solamente tres capas del protocolo OSI son necesarias, esto posibilita disminuir los tiempos de procesamiento computacional.

- Los nodos del sistema tienen que tener la capacidad de comunicarse entre sí, y no hacer uso de base de datos para poder funcionar.
- Cada dispositivo está unívocamente identificado en la red mediante una dirección MAC y una dirección IP de asignación dinámica.
- Transmisión a baja velocidad para lograr un tamaño de los pulsos grande, lo que simplifica enormemente el funcionamiento de la red y no se requieren concentradores y otros equipos especiales.
- La información está asociada a la aparición de un evento (impulso), no es necesario tener en cuenta la frecuencia, la amplitud, ni la fase de la señal. Sólo son necesarios un sensor, un reformeador de pulso y un transmisor.

## 2. Implementación de una red domotica basada en nodos autonomos

### 2.1 Los nodos

Cada uno de los nodos de la red, posee embebido la lógica de control para la que fue diseñado (aplicación propiamente dicha) y la capacidad de complementarse con otros nodos de la red en forma autónoma. En la figura 3 se muestra la estructura de estos nodos los cuales se desarrollan en base a la familia del estándar IEEE 1451.

Estos nodos tienen un enfoque de transmisión por eventos, se enviarán sólo datos relevantes, y por ello habrá una reducción significativa de la información a transmitir por la red de comunicaciones, lo que resulta en la mejor utilización del ancho de banda. Por lo tanto, puede lograrse la conexión de un mayor número de sensores inteligentes a la red. Sin embargo, estos sensores inteligentes aumentan su complejidad y requieren una mayor potencia de procesamiento.

Como se observa en la figura, cada nodo desarrollado en este trabajo, está compuesto por un NCAP (por sus siglas en inglés de Network Capable Application Processor), una TIM (por sus siglas en inglés de Transducer Interface Module) y entre 1 y 255 transductores. El NCAP tiene tres funciones bien definidas, una de ellas es la de realizar el networking a través, en nuestro caso de Internet 0; las otras tareas que no son abordadas en el presente artículo consisten en atender las comunicaciones con el TIM y los transductores y la ejecución de la aplicación propiamente dicha del nodo.

El estándar IEEE 1451.1 [5] proporciona una capa de abstracción de la comunicación en red. Sin embargo, la capa de abstracción de la red de comunicación en sí misma no asegura que dos nodos conectados a la misma red puedan interoperar, esta funcionalidad se logra si se cumplen las siguientes condiciones.

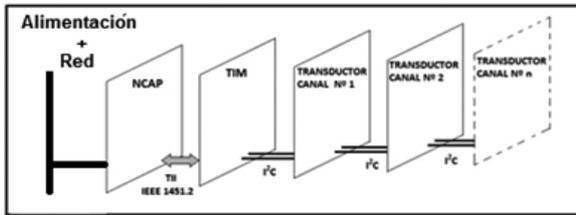


Figura 3. Estructura del Nodo

- Dos nodos, N1 y N2, puede interpretar sintácticamente cualquier formato pero ambos nodos deben utilizar el mismo formato en el medio de transmisión.
- N1 y N2 usan la sintaxis y la semántica idéntica para la representación y la interpretación, respectivamente, de direcciones.
- La comunicación codificada es independiente de que nodo es el emisor y cuál es el receptor.
- N1 y N2 tienen una semántica idéntica de interpretación de la comunicación, tanto en su forma de codificar y decodificar.
- Si un nodo de la red puede ejecutar servicios de comunicación fuera del alcance de la norma IEEE 1451, también lo debe hacer el otro.

Basados en estas premisas se ha desarrollado el modelo que se describe a continuación.

## 2.2. Estados

En la figura 4 se muestra un diagrama de estados de alto nivel para la interfaz entre el nodo y la red, hay dos estados de funcionamiento básicos después de que salga de la inicialización. La interfaz entra en el estado "inactivo" cuando sale de la inicialización y puede pasar al estado "activo" para la recepción / transmisión de un mensaje, en este estado comenzará a capturar datos. La interfaz sale del estado activo por error cuando no se cumple algunas de las condiciones de validación o por fin de transferencia cuando se ha obtenido un mensaje de interés para el nodo.

La transición inicial desde el estado INICIA-

LIZANDO al estado INACTIVO se realiza por la aplicación específica de mecanismos internos del bloque o del sistema operativo subyacente. Esta transición inicial no es invocable desde la red. La transición de INACTIVO a ACTIVO se produce por un mecanismo de interrupción que puede tener dos orígenes la aparición de un pulso en la red que obliga a atender un proceso de recepción o bien por una interrupción interna provocada por la aplicación que requiere el envío de un mensaje.

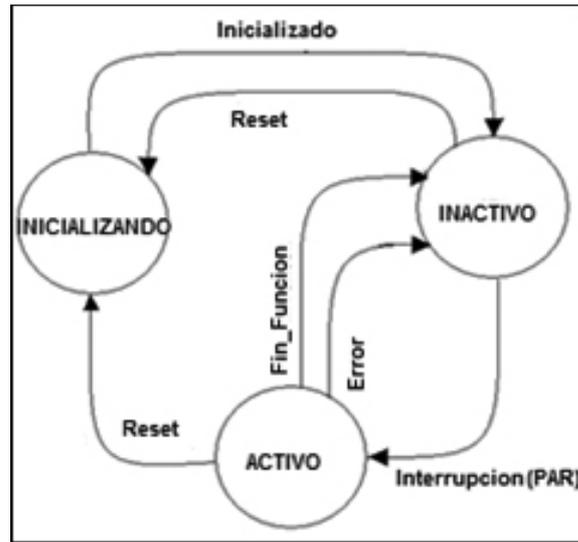


Figura 4. Diagrama de estados

La transición por error es generada internamente cuando se detecta un error en el mensaje que imposibilita su recepción o transmisión, y también por demora excesiva en el proceso de transmisión / recepción o simplemente porque el mensaje no es de interés de este nodo. La transición por reset puede ser originada tanto internamente como externamente a través de un mensaje y logra que todos los objetos del bloque restablezcan su valor iniciales.

## 2.3. Arquitectura del software

Nos hemos propuesto formular un modelo de interoperabilidad middleware [6] para facilitar la integración entre la aplicación del NCAP y la red basada en el protocolo internet 0. En primer lugar se enumeran varias de las consideraciones que se tuvieron en cuenta al momento de diseñar el modelo, luego se presentan los componentes de la arquitectura multi-capas del middleware

- Heterogeneidad de protocolos de red: Actualmente existen gran cantidad de protoco-

los que pueden ser usados en domotica y si bien el trabajo fue acotado para comunicarse bajo el protocolo Internet 0, se hará necesario en el futuro proveer un modelo capaz de manejar componentes heterogéneos.

- Escalabilidad: Es la propiedad que puede tener un sistema para crecer o disminuir su tamaño, sin que esto altere su funcionamiento.
- Modularidad de programación: Para conseguir aspectos claves como la escalabilidad es muy importante considerar una programación modular, que facilite el acople y desacople de nuevos componentes de software. La modularidad se logra a través de módulos que encapsulan mecanismos aislados que se acoplan a través de servicios ofrecidos.
- Transparencia: Es la función fundamental de un middleware, es la capacidad de mapear funcionalidades y mecanismos complejos en interfaces cómodas para el desarrollador. En este caso se refiere a la posibilidad de que los agentes de software, puedan utilizar dichas interfaces para acceder a dispositivos de bajo nivel.

El modelo se plantea a través de una arquitectura basada en capas la cual se presenta en la Figura 5, estas capas se comunican entre si mediante un sistema de mensajes internos. En este sentido el modelo está compuesto por una primera capa física la cual provee los mecanismos para la comunicación con la RED; la segunda capa expone interfaces a través de las cuales es posible interactuar con la capa física, dicha interacción permite a los agentes de software realizar, adecuar y controlar el flujo de información recibida y transmitida.

**Capa Física** Esta capa está encargada de la comunicación entre los nodos. La capa física deberá permitir la comunicación sin importar cuál es el medio de comunicación, nuestro prototipo ha sido concebido para utilizar como medio físico el cable de alimentación que provee 24 Vcc a los nodos.

**Capa de Middleware:** La capa de Middleware consigue mediante interfaces proveer métodos y funciones para la interacción de la aplicación con la capa física. De un modo general, cuando la aplicación requiera usar la red sólo debe acceder a dichas interfaces y utilizar los servicios ofrecidos.

Este marco de trabajo modular<sup>1</sup> permite divi-

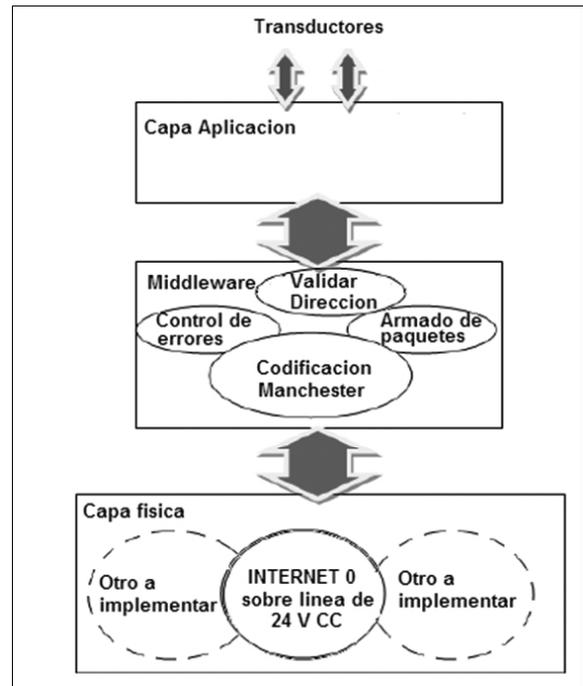


Figura 5. Arquitectura multi-capas para el modelo middleware propuesto

dir sistemas complejos y monolíticos en sistemas flexibles y modulares para facilitar tanto su diseño e implementación como su posterior mantenimiento y actualización.

A través de este enfoque modular, el modelo de Middleware planteado, puede ser fácilmente escalable a nuevas tecnologías y dispositivos, puesto que sólo basta con construir el respectivo modulo y acoplarlo sin necesidad de replantear todo el sistema.

#### 2.4. Mecanismos para el intercambio de datos

Se describe sintéticamente el mecanismo de intercambio de información entre nodos, distinguimos dos situaciones diferentes: a) el proceso de auto identificación del nodo en la red y b) nodos en operación normal

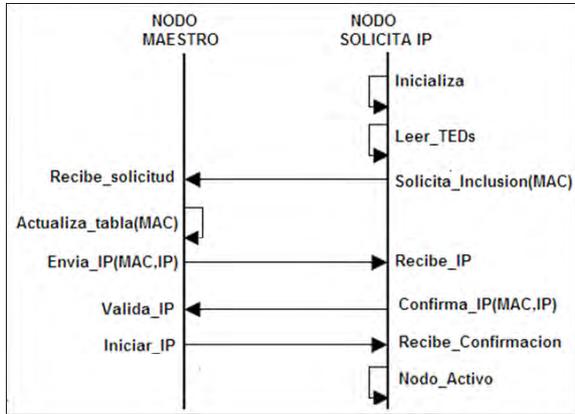
##### a) Auto identificación de un nodo en la red

Para esta primera situación, existen diversos protocolos que facilitan la obtención de la dirección IP de un equipo. A estos protocolos se les suele denominar protocolos de 'autoconfiguración de red'. En nuestro caso podemos resumir su funcionamiento mediante el diagrama de secuencias de la figura 6.

- El nuevo nodo que se conecta a la red y desea saber su dirección IP, obtiene la direc-

ción MAC de su TEDS; esta dirección consta de seis bytes que identifican de manera unívoca cada NCAP.

- El nodo manda un paquete solicitando su

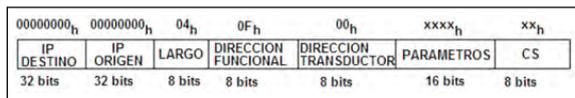


**Figura 6.** Auto identificación de un nodo en la red

IP; el paquete va dirigido a la dirección de broadcast y contiene su dirección MAC.

- El nodo maestro de la red recibe la solicitud y contesta informando al cliente su dirección IP. Para ello el nodo maestro posee una tabla que asocia a cada MAC una dirección de IP, la cual puede estar ente los valores 192.168.0.0 y 192.168.0.255.
- El nodo cliente confirma la recepción reenviando su MAC e IP.
- El nodo maestro da la orden de inicio, con esto el nuevo nodo puede comenzar a enviar datos a la red.

Los mensajes que se intercambian los nodos respetan una estructura fija con largo variable dependiendo de los parámetros que requiera la función. La Figura 7 muestra la estructura del paquete de Solicita\_Inclusion enviado por un nuevo sensor para su inclusión en la red como un nuevo nodo operativo.



**Figura 7:** Estructura de un mensaje Solicita\_Inclusion publicado en la red por un nodo nuevo.

El nuevo nodo a ser conectado a la red, utiliza el campo dirección funcional para indicar el paquete como una solicitud de inclusión de un nuevo

nodo a la red y el campo parámetro para enviar su identificación única (MAC).

La figura 8 muestra la estructura del paquete Envía\_IP, enviado por el nodo maestro, que contiene la configuración inicial para el nuevo nodo conectado a la red. El nodo maestro utiliza el campo IP\_destino para la IP asignada al nodo, el campo IP\_origen para indicar su propia IP, la dirección\_funcional indica el comando de asignación de IP y el campo parámetros contendrá la dirección MAC.



**Figura 8.** Estructura de una configuración de un nuevo nodo esclavo

Este nuevo nodo esclavo confirmará la recepción mediante el mensaje Confirma\_IP. Por último el nodo maestro pone al nodo en operación, mediante el mensaje Iniciar\_IP.

**b) Transmisión/Recepción de mensajes en operación normal**

Para estas operaciones se ha elegido el modelo editor / suscriptor por su alto grado de desacoplamiento, y por la posibilidad de transmisión asíncrona para el intercambio de información entre los nodos. Cada mensaje enviado por un editor tiene identificadas las direcciones de emisor y destinatario; el mensaje se transmite (broadcast) a través de la red. Al recibir un mensaje nuevo, los suscriptores revisan el checksum y analizan la dirección de destino. Si el nodo está interesado en el mensaje, se procesa, de lo contrario, simplemente se descarta mediante un mensaje de error.

En la figura 9 se muestra el proceso de recepción de mensaje; si el proceso es exitoso, la dirección funcional o comando, junto con la dirección del transductor y los parámetros se guardan en registros intermedios a la espera de ser procesados por la aplicación.

**2.5. Hardware**

Se comenzó por simular el circuito generador y detector de pulsos propuesto por el profesor Neil Gershenfeld del MIT. Se calcularon los valores adecuados de los componentes para lograr una generación de pulsos con buena amplitud. En la figura 10 observamos el diagrama esquemático.

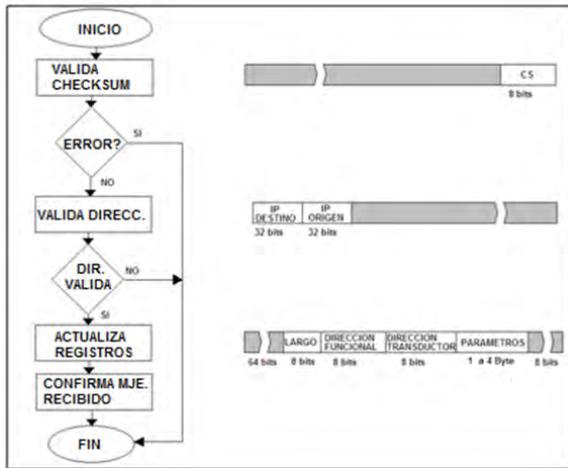


Figura 9. Estructura del mensaje y mecanismo de recepción

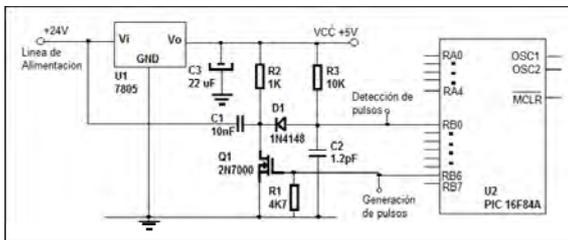


Figura 10. Detección y generación de pulsos sobre una línea de 24 V de CC

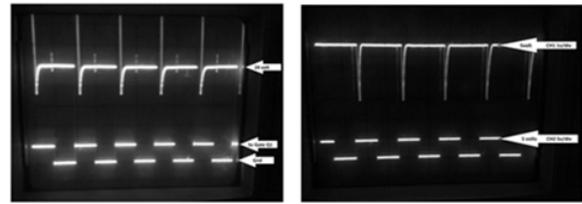
La generación de los pulsos está a cargo del circuito formado por el Mosfet Q1 (2N7000), las resistencias R1, R2 y el capacitor C1. Las resistencias R1 y R2 sirven para la polarización del mosfet. Con el circuito energizado, y sin excitación en la compuerta del Mosfet, el capacitor C1 se carga con una tensión de 19 v (24v-5v), a través del regulador 7805 y la resistencia R2. Cuando excitamos con un pulso la compuerta del mosfet este entra en conducción, colocando a masa uno de los bornes de C1 lo que incrementa su tensión a 24v.

En el instante inicial, cuando se produce esta variación de tensión, el capacitor representa un corto circuito para la línea de alimentación de 24v generando el pulso que utilizaremos luego para transportar la información. En la figura 11(a) vemos los pulsos generados sobre la línea.

Para un condensador de acoplamiento de 0,01 µF y un MOSFET 1.7A acá utilizados aquí, la velocidad de repuesta es

$$\frac{dV}{dt} = \frac{I}{C} = 1.7 \times 10^8 \frac{V}{s} \quad (1)$$

dando una duración de pulso inicial del orden de 30 ns a 5 V.



a) Generación de pulsos en la RED b) Detección de pulsos en la RED

Figura 11. Pulsos sobre la red de 24 V de CC

La detección y decodificación de los pulsos se realiza con la participación de los capacitores C1 y C2 que se encuentran cargados con 19v y 5v respectivamente. Cuando recibimos un pulso en la línea de alimentación C1 cambia la polaridad y comienza a cargarse con una tensión de 5v en bornes. En el instante inicial de la carga el capacitor representa un corto circuito, el cual pone al diodo de detección D1 en conducción y hace caer a cero la tensión en su ánodo. Luego del diodo detector encontramos una red RC, formada por R3 y C2, para prolongar el click a unos pocos µs. En la figura 11(b) podemos observar los pulsos detectados. Estos pulsos generan una interrupción en el microprocesador que debe conformar los pulsos y procesar la información recibida.

El circuito final del nodo experimental se muestra en la figura 12, además a los componentes descritos se le incorporaron pulsadores y leds a los efectos de poder generar y visualizar las señales enviadas y recibidas.

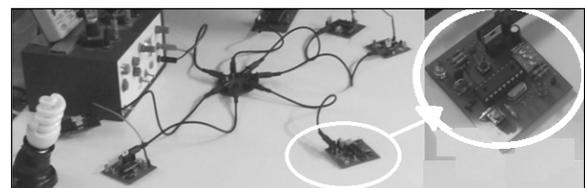


Figura 12. Fotografía de la Red experimental y prototipo de nodo

## 2.6. Monitoreo de la red

Finalmente para poder analizar las tramas en la red se realizó un circuito captador de trama. Este dispositivo se conecta mediante puerto RS-232 a una computadora y con la aplicación hyperterminal podemos visualizar el contenido de las tramas en los campos de dirección y dato de control, en la Figura 13 observamos algunas tramas capturadas a modo de ejemplificar su funcionamiento.

### 3. Conclusiones y trabajos futuros

En este trabajo se ha presentado una estructura de red para nodos inteligentes, con aplicación en sistemas de control domotico donde las características principales son un número bajo de transductores, reducida cantidad de información a transmitir, no existen exigencias de alta velocidad, entre otros.

Para el desarrollo de esta estructura se adoptado el protocolo Internet 0, diseñado el hardware necesario para utilizar la línea de alimentación como elemento de la red y desarrollado una interface o middleware, entre la capa de red y la aplicación, de forma tal que permita cumplir con el estándar IEEE 1451.0

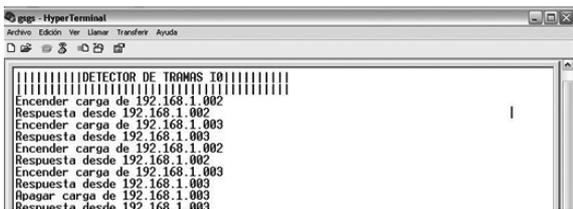


Figura 12. Monitoreo de la Red de nodos

Los resultados obtenidos, basados en la experimentación sobre una red de nodos simples, nos permiten decir que será posible implementar una estructura de red de nodos inteligentes de bajo costo y adaptables a las necesidades del control domotico que operen bajo la característica Plug&Play sin necesidad de un servidor central o consola de comando.

Para continuar con el desarrollo y la implementación de esta red, resta el desarrollo de las aplicaciones para los nodos.

#### Notas

<sup>1</sup> Un modulo o Bundle, se puede definir como un módulo o componente de software que envuelve ciertas funcionalidades de manera oculta, conformando sistemas altamente desacoplados. Cada Bundle puede ser idealizado como una pequeña caja negra cuya implementación es transparente a otros bundles del sistema, y sólo se dedican a consumir y proveer servicios.

#### Referencias

- [1] Gershenfield N, Krikorian R and Cohen D, "The Internet of Things", Scientific American. Octubre (2004)
- [2] "Krikorian R., Internet 0: Present", en <http://cba.mit.edu/projects/i0/>
- [3] R. Krikorian & N. Gershenfeld, "Internet 0,

interdevice internetworking". 278 BT Technology Journal • Vol. 22 n º 4 • Octubre (2004)

[4] Antonio R. Castro Lechtaler, Ruben J. Fusario, "Teleinformática para ingenieros en sistemas de información", Editorial Reverte, Barcelona (1999)

[5] IEEE 1451.1 Standard for a Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators - Network Capable Application Processor (NCAP) Information Model. Approved, June (1999)

[6] Ibrahim, N., "Orthogonal Classification of Middleware Technologies", Mobile Ubiquitous Computing, Systems, Services and Technologies, 2009. UBIKOM '09. Third International Conference on, páginas 46 -51. (2009)

### Proyecto

Nombre del Proyecto: **DESARROLLO DE UNA PLATADORMA DE CONTROL DE ENTRONOS RESIDENCIALES**

Se pretende generar metodologías que solucionen diversas problemáticas relacionadas a la implementación, puesta a punto y mantenimiento de sistemas integrados para domótica.

A nivel local, se pretende describir un sistema prototipo capaz de avanzar con éxito sobre aspectos como oferta incipiente de equipamiento domestico, descoordinación entre los proveedores de esta tecnología, sistemas de costo excesivo, complejidad de los sistemas obsolescencia, alta dependencia del proveedor, complejidad en las instalaciones

Duración: 48 meses

Código de Identificación del Proyecto: 02 / H798

Director: PUCHETA JULIAN ANTONIO

Codirector: GALLINA SERGIO HILARIO

Unidad Ejecutora: FACULTAD DE TECNOLOGIA Y CIENCIAS APLICADAS - UNCA

Localización del Proyecto: CATAMARCA

Disciplina Científica: REDES DE DATOS

Campo de Aplicación: DOMOTICA

Categoría: INVESTIGACIÓN APLICADA



# El framework cira, un aporte a las técnicas de file carving

Ana Haydée Di Iorio<sup>1</sup>, Martín Castellote<sup>2</sup>, Ariel Podestá<sup>3</sup>, Fernando Greco<sup>4</sup>, Bruno Constanzo<sup>5</sup> y Julián Waimann<sup>6</sup>

## Resumen

File Carving es el proceso de extraer archivos de un medio de almacenamiento en ausencia de metadatos del sistema de archivo, es decir, directamente a partir del análisis del contenido de los bloques de disco. Pese a la existencia de varias técnicas y algoritmos de file carving, no hay definido aún un proceso que sea aplicable a todos. En este trabajo se presenta una solución de file carving – CIRA –, su implementación, su Framework, su arquitectura y algunos resultados obtenidos.

## Abstract

File carving is the process of extracting files from a disk in the absence of file system meta-data, through the analysis of the remaining files content in the disk. Despite having a wide array of algorithms and techniques, there is not a defined process that is applicable to all of them. In this paper, we present a file carving solution, - CIRA - the implementation, the architecture and some results.

**Keywords:** File carving, Digital forensics, File recovery, CIRA, PURI

## 1. Introducción

En los últimos diez años, la sociedad ha experimentado un proceso gradual de digitalización, lo que trajo aparejado una dependencia prácticamente total de los sistemas informáticos para manipular información. A su vez, tareas cada vez más críticas son realizadas por software, desde intervenciones médicas hasta complejas operaciones militares.

Los cambios en las tecnologías, plataformas, medios de almacenamiento, legislaciones y aplicaciones de software, hace cada vez más necesario el uso de procesos, métodos, estándares y buenas prácticas que permitan garantizar la recuperación de información contenida, y sobre todo, que permitan asegurar que se realizaron todas las tareas posibles con los mecanismos adecuados.

En el Grupo de Investigación en Sistemas Operativos e Informática Forense de la Facultad de

<sup>1</sup> Ingeniera en Informática, Docente e Investigadora en la Facultad de Ingeniería de la Universidad FASTA. **E mail:** di-ana@ufasta.edu.ar

<sup>3</sup> Ingeniero en Informática, Docente e Investigador de la Facultad de Ingeniería de la Universidad FASTA. **E mail:** castellotemartin@yahoo.com.ar

<sup>3</sup> Ingeniero Informático, Docente e Investigador de la Facultad de Ingeniería de la Universidad FASTA. **E mail:** arielpodesta@gmail.com

<sup>4</sup> Ingeniero en Informática, Docente e Investigador de la Facultad de Ingeniería de Universidad FASTA. **E mail:** fmartingreco@gmail.com

<sup>5</sup> Técnico en Informática, Auxiliario de Investigación Alumno, Facultad de Ingeniería de la Universidad FASTA. **E mail:** Bruno.constanzo@gmail.com

<sup>6</sup> Analista en Informática, Auxiliario de Investigación Alumno, Facultad de Ingeniería de la Universidad FASTA. **E mail:** julianw@ufasta.edu.ar

Ingeniería de la Universidad FASTA se detectó la necesidad de los Informáticos Forenses de contar con un proceso de recuperación de información que sirva de guía en las tareas a realizar, que conste de una metodología, que haya sido probado, evaluado, y que sea reproducible en instancias de juicio. Como resultado de la elaboración del proceso PURI (Proceso Unificado de Recuperación de la Información) se detectaron diversos aspectos carentes de técnicas y herramientas, entre los que se encuentra el proceso de File Carving.

Surge entonces la idea de los alumnos Bruno Constanzo y Julián Waimann de complementar el trabajo realizado en PURI y abordar el desarrollo de una solución de file carving como proyecto final de graduación de la carrera de Ingeniería Informática [1].

Se presenta en este trabajo una arquitectura de Framework de File Carvers – CIRA (Carving Inteligente para la recuperación de Archivos) – con el objeto de que pueda ser conocida, ampliada y utilizada por la comunidad científica.

## 2. File Carving

El File Carving es el proceso de extracción de archivos u objetos del disco en ausencia de metadatos del sistema de archivo, es decir, accediendo directamente al contenido de los bloques [2]. El proceso de file carving se basa en recuperar información que ha sido eliminada o es inaccesible debido a daños en el sistema de archivos. Su uso es vital en la Informática Forense, ya sea para recuperar archivos eliminados que puedan ser utilizados como prueba, como para recuperar información en caso de algún sistema de archivos o disco dañado [3].

Existen varias técnicas de File Carving, algunas implementadas en herramientas, y otras aún no. Estas técnicas varían desde las más básicas, basadas en la lectura del header y footer de un archivo, hasta otras mucho más complejas como Bi-fragment Gap (Garfinkel) [5], Smart Carving (Pal, Memon et al) [7] o Semantic Carving (Garfinkel) [5]. Incluso algunas tienen varios enfoques, como por ejemplo Header/Footer1 carving que puede aplicarse en una sola o en múltiples pasadas.

El proceso de File Carving ha ido evolucionando en los últimos años, sin embargo no cuenta aún con una definición flexible, adaptable e integradora, que permita describir y utilizar las técnicas que mejor se adapten a cada estructura de archivos.

Por otro lado, los File Carvers actuales (herramientas que implementan file carving) presentan varias limitaciones. Las herramientas más populares suelen presentar resultados incompletos, una tasa muy alta de falsos positivos y recuperar archivos dañados o no válidos. También ocurre que aquellas herramientas con muy buena performance recuperan grandes cantidades de archivos y muchos de ellos inválidos, lo que dificulta el acceso a los resultados de interés.

### 2.1. Historia del File Carving

En el año 1999 el Laboratorio de Informática Forense del Departamento de Defensa de Estados Unidos (Defense Computer Forensics Lab), presenta el programa CarvThis que consistía en una herramienta que permitía recuperar de un dispositivo de almacenamiento aquellos archivos que estuvieran desvinculados de los metadatos que los representaban en el filesystem. Luego, se sucedieron una serie de proyectos fomentados

por éste trabajo inicial que resultaron en el desarrollo de la aplicación "Foremost" por la Oficina de Investigaciones Especiales de la Fuerza Aérea del mismo país, (US Air Force Office of Special Investigations). Foremost es una herramienta open source para realizar file carving que en sus inicios implementaba únicamente header/footer carving, pero en el año 2005 extendió su funcionalidad para trabajar con la estructura interna de los archivos [4].

En el año 2005, Goldman y Roussev reimplementaron Foremost con una nueva base de código, creando Scalpel, un carver enfocado en la velocidad de procesamiento y el bajo consumo de recursos. Scalpel logró ubicarse como una herramienta de referencia en el ámbito forense. Ya en el año 2011, con la versión 2.0 de Scalpel, se agregó la capacidad de ejecutarse en multiprocesadores y procesadores gráficos de propósito general (GPGPUs), incrementando su performance. [5] Scalpel actualmente logra recuperar archivos de FAT, NTFS, ext2 / 3, HFS+ y desde particiones sin formato.

En paralelo a estos desarrollos se fueron dividiendo las investigaciones del File Carving en tres ramas.

Por un lado, comenzando en el año 2003, Memon, Shanmugasundaram y Pal comenzaron a presentar trabajos describiendo algoritmos para recuperar archivos fragmentados considerando al carving como un problema de grafos [6]. Su trabajo resultó en algoritmos que fueron implementados en el llamado Smart Carving™. Las características del Smart Carving hacen que sea una técnica altamente eficaz, y capaz de recuperar archivos fragmentados en diversas condiciones, además, separa el proceso de carving en etapas lo que brinda flexibilidad y permite aplicar diversas optimizaciones para la performance. [7]

Por otro lado, a partir del año 2007 con la incursión de Garfinkel en esta temática se comienza a trabajar en el desarrollo de un nuevo algoritmo basado en las técnicas de header/footer carving pero más complejo y capaz de recuperar archivos fragmentados bajo condiciones específicas pero estadísticamente relevantes.

Por último, Cohen en 2007 presenta un análisis profundo del problema de File Carving y un prototipo de un software desarrollado bajo una arquitectura de características muy avanzadas, donde propone la inclusión del preprocesamiento de imágenes, la discriminación de bloques,

la recuperación de archivos fragmentados y la validación de archivos.

Pese a todos estos avances, en la actualidad hay pocas herramientas que implementen los nuevos algoritmos de carving. Muchas herramientas dicen implementar carving avanzado, y en realidad implementan variantes del header/footer carving, la técnica más básica. Por otro lado, pocas herramientas que si los implementan lograron superar la etapa teórica para convertirse en programas maduros y usables en un entorno forense. Además, aún está presente el problema de los falsos positivos que presentan algunos algoritmos. [8]

## 2.2. Herramientas actuales de File Carving

A continuación se procede a describir los File Carvers más utilizados actualmente.

PhotoRec es una herramienta que implementa la técnica de Header/Footer y Header – File Structured Based Carving2. Se basa en el análisis de la imagen y en un enfoque inteligente de búsqueda de encabezados de archivos, logrando una mejor performance. Esta herramienta, además, agrega un paso de validación para evitar la extracción de archivos dañados o inválidos.

Scalpel es una de las herramientas basadas en Header/Footer más avanzadas y más utilizadas en la actualidad. Cuenta con una amplia gama de características, y se destaca por su alta velocidad. Sin embargo, tiende a extraer una gran cantidad de archivos dañados o inválidos.

A partir del año 2002 se comenzó a trabajar en las técnicas que luego se convirtieron en Smart Carving. Estas técnicas intentan resolver el problema de la fragmentación de archivos mediante una orientación a grafos. Se han publicado documentos posteriores muy prometedores, sin embargo, es recién a partir de 2009 cuando las principales implementaciones tienen lugar. Ha habido algunas investigaciones y trabajos académicos que implementaron Smart Carving [4], pero encontraron diversos problemas relacionados con las funciones de peso de las aristas del grafo. El único producto que implementa correctamente esta técnica es comercial y de alto costo. La herramienta Revit, basada en Smart Carving, se presentó en dos oportunidades en los desafíos DFRWS (Digital Forensic Research WorkShop) de los años 2006, 2007 pero a pesar lograr resultados interesantes su desarrollo se encuentra aún en fase experimental.

La técnica de Semantic Carving propone identificar el idioma utilizado en un bloque, para poder relacionarlo con bloques que se encuentran en el mismo idioma. De esta manera, un Semantic Carver debería relacionar los bloques en forma coherente para reconstruir un texto. S. Garfinkel ha presentado en el congreso DFRWS 2006 un prototipo de carver semántico llamado S2, escrito en C++, que permite incorporar distintos tipos de carvers y validadores para tipos de archivo específicos. Esta técnica es especialmente útil para formatos de archivos que almacenan texto.

La técnica de Bifragment Carving Gap fue presentada por Garfinkel en 2007 como una manera de buscar una solución al problema de la fragmentación de archivos. A partir de un análisis de amplio espectro genera un índice de “Relevancia de la bi fragmentación”, y posteriormente desarrolla un algoritmo para la reconstrucción de archivos bajo ese escenario. No se han encontrado herramientas que implementen esta técnica.

El Carving con validación, también propuesto por Garkinkel en el año 2007, se basa en el uso de visores o validadores que comprueben la estructura de los archivos y verifiquen que se respete el formato al que pertenece. Puede utilizarse tanto durante la etapa de reconstrucción de archivos como en una etapa posterior para filtrar falsos positivos. Se entiende que la validación de archivos debe proporcionarse en forma independiente al algoritmo a utilizar, e incluso, independiente del software, y que debe dividir los resultados en carpetas en lugar de la prevención de la extracción de archivos no válidos. De esta forma, datos válidos pueden ser analizados rápidamente, y los datos no válidos pueden ser tratados posteriormente.

La técnica de Repackaging Carving se utiliza cuando hay archivos parcialmente recuperados. Trabaja a partir de agregar bloques al archivo recuperado hasta obtener un archivo válido. Esto genera que el resultante no sea idéntico al archivo original, pero permite recuperar partes del mismo que de otra manera sería ilegible [5].

In-place File Carving propone que en lugar de extraer los archivos de la imagen de disco analizada, se creen metadatos nuevos que referencian a los bloques presentes en la imagen. Utilizando un filesystem virtual se accede a los archivos como si se hubieran extraído las copias de la imagen. Ésta técnica mejora la performance, ya que la extracción no se realiza o se realiza en diferido,

reduciendo así el espacio de almacenamiento que acarrea el uso de un file carver [8].

El preprocesamiento de imagen más común que los file carvers realizan es el análisis de los metadatos del sistema de archivos para determinar qué bloques de la imagen están asignados y cuales no, a fin de obtener un subconjunto de bloques que serán procesados. Es importante recordar que el proceso de file carving se basa en recuperar información que ha sido eliminada o es inaccesible debido a daños en el sistema de archivos, en cuyo caso ese subconjunto a analizar sería el dispositivo completo.

El objetivo del preprocesamiento es intentar reducir la cantidad de bloques a analizar tanto como sea posible, a fin de lograr que algoritmos complejos como Smart Carving o Bifragment Carving tengan una mayor performance.

Una de las características que aún no ha sido implementada es la posibilidad de marcar los bloques ya recuperados en un proceso de carving. De esta manera, en un proceso de carving de tipo iterativo la cantidad de bloques a analizar podría reducirse en el tiempo. Otros tipos de preprocesamientos que serían deseables son el aislamiento de los bloques de tipo ASCII y UNICODE de los bloques de tipo binarios, con el fin de lograr disminuir la cantidad de bloques a analizar para la extracción de un tipo específico de formato de archivo.

recuperados sobre el total de archivos presentes en el dispositivo.

9. Tasa de Overcarving: Coeficiente que surge de dividir el tamaño de los archivos recuperados sobre el tamaño del dispositivo analizado. Idealmente debería ser un número  $\leq 1$ .

Un rendimiento óptimo en la evaluación de una herramienta es obtener una tasa de carving recall igual a 1, una tasa de precisión cercana a 1 y un overcarving lo más pequeño posible. Igualmente, el indicador clave para la medición de los algoritmos de carving es el recall, dado que asegura recuperar la totalidad de los archivos presentes en el dispositivo. Los indicadores de precisión y overcarving pueden ser ajustados con la aplicación de técnicas complementarias al carving, como In-place File Carving.

### 3. El producto CIRA

Si bien hay herramientas de propósito general que realizan file carving, ocasionalmente se escriben nuevas herramientas o scripts especializados para extraer archivos específicos con características particulares. Tal práctica genera una multiplicidad de scripts y programas demasiado especializados, poco probados y rara vez reutilizados, para realizar una tarea forense que debería ser reproducible, auditable y validable.

Surge entonces la necesidad de desarrollar un Framework de file carving – CIRA - que signifique un aporte a los productos disponibles en la actualidad, constituyendo un marco flexible y extensible, capaz de aplicar diferentes algoritmos y de añadir módulos de preprocesamiento, posprocesamiento y validadores.

El Framework de CIRA se estructura alrededor de un proceso definido en tres etapas: preprocesamiento, carving y posprocesamiento y está pensado de manera tal que el algoritmo de carving propiamente dicho es ajeno a los detalles de acceso a la imagen de disco “Lectura” y extracción de los archivos “Escritura”. Esto permite, por ejemplo, que se extienda el Framework para operar, a través de una red, con una imagen de disco residente en otra computadora como podría ser un servidor de archivos, o modificar el extractor de archivos para que en lugar de crear archivos físicos en la computadora, genere los metadatos para la creación de un filesystem virtual – una

### 2.3. Métricas para el File Carving

Existen distintos tipos de indicadores que se pueden utilizar para evaluar la performance de un file carver, su velocidad de procesamiento y la calidad de sus resultados. Los más utilizados son:

1. Cantidad de archivos recuperados
2. Cantidad de archivos válidos recuperados
3. Cantidad de archivos parcialmente recuperados
4. Cantidad de archivos no recuperados
5. Cantidad de falsos positivos.
6. Cantidad de falsos negativos.
7. Tasa de Precisión de carving: Coeficiente que surge de dividir la cantidad de archivos válidos sobre el total de archivos recuperados.
8. Tasa de Carving recall: Coeficiente que surge de dividir la cantidad de archivos

técnica estudiada por autores como Richard, Roussev, Marziale y otros [8] [9].

Como parte del desarrollo se implementaron dos soluciones de preprocesamiento, cuatro algoritmos de file carving, dos soluciones de posprocesamiento y un logger de extracción, junto con otros objetos asociados que fueron necesarios para mantener un equilibrio entre el nivel de abstracción deseado en cada parte y la performance final. Es destacable que, si bien se mantuvo un alto grado de abstracción que permite la fácil implementación de algoritmos de carving y componentes de pre y post procesamiento, la performance no tuvo un impacto significativo, y en condiciones similares es posible acercarnos a los valores de la herramienta con mejor performance hoy día que es Scalpel [6].

Los preprocesadores implementados en CIRA permiten excluir bloques del análisis y extracción. Uno de los preprocesadores permite que se excluyan bloques arbitrariamente, definidos como una cadena de texto. Esta característica se implementa a partir de la generación de un archivo de configuración con los rangos de bloques que se desean excluir. El otro preprocesador realiza un análisis estadístico de los bloques disponibles y decide, en base a la media aritmética y la entropía, si los bloques deben excluirse del análisis. Esta técnica permite, por ejemplo, la selección de bloques que contienen datos binarios, excluyendo los datos ASCII usualmente asociados con archivos de texto. Este preprocesador se encuentra en una fase de experimentación y ajustes, que están planeados como parte del trabajo futuro para mejorar sus capacidades de clasificación y selección.

Con respecto a los algoritmos de carving, se implementaron tres variantes de header/footer carving y se realizó una implementación de carving basado en la estructura interna de archivos.

Los algoritmos de header footer carving implementados fueron denominados Single Format Carve, Multiple Format Carve y Maximum Length Carve. Todos son variantes de header footer carving, es decir que generan los archivos desde la ocurrencia de un encabezado de archivo hasta la ocurrencia de una cadena, el footer, que delimita el fin de un archivo. En el orden que fueron presentados, puede considerarse como la evolución de la variante más simple de la técnica de header footer carving hacia su versión más compleja.

Con respecto al algoritmo de carving basado en la estructura interna de los archivos, durante

el trabajo con los validadores de archivos se descubrió que al comenzar el análisis de validez de un archivo determinado, en posiciones arbitrarias de la imagen de disco era posible encontrar y extraer archivos JPG que resultaban problemáticos para el algoritmo de Single Format Carve. Esta experiencia se tomó como base para la implementación de un carver que combina una parte del funcionamiento de Multiple Format Carve y utiliza el Framework de Validación para llevar a cabo la extracción de archivos válidos luego de analizar su estructura.

Finalmente, para la etapa de posprocesamiento se desarrollaron dos posprocesadores, uno que realiza la verificación de los archivos extraídos por medio de un módulo de validación, y otro que calcula los hashes MD5 y SHA-1 de los archivos extraídos. Esta última característica suele utilizarse para verificar la integridad de los archivos extraídos o para compararlos con otras versiones disponibles y excluirlos, como por ejemplo, en el caso de haber recuperado archivos del sistema operativo.

#### 4. Conclusiones y Trabajos Futuros

Partiendo de un proyecto de Investigación "PURI" cuyo objetivo fue la generación de un Proceso Unificado de Recuperación de la Información, se llegó al desarrollo de una solución de file carving CIRA que está a la altura de herramientas ya establecidas, tanto en sus prestaciones, como en el rendimiento obtenido y calidad de los archivos recuperados.

CIRA provee una arquitectura extensible y con grandes posibilidades de desarrollo.

A futuro se prevé implementar otros algoritmos de carving que le brinden mayor potencialidad; optimizar el código crítico para mejorar la performance; agregar nuevos módulos de pre y post procesamiento; adaptar CIRA a entornos distribuidos y por último incorporar técnicas de inteligencia computacional al análisis de imágenes o textos recuperados que permitan discriminar de un conjunto aquellos archivos que contienen un dato en particular.

Queda mucho por hacer y mucho por mejorar. Los autores estamos presentando este trabajo, fruto de la conjunción de un proyecto de investigación y un proyecto final de la carrera de Ingeniería Informática de la Universidad FASTA, a disposición de la comunidad para que pueda utilizarse en el ámbito forense o académico y CIRA pueda ser

conocido, utilizado, y pueda seguir creciendo

Header/Footer Carving es una técnica de recuperación de archivos que trabaja a partir de la búsqueda de un encabezado y un fin de archivo. De esta manera, se busca entre los bloques del dispositivo un header que indique el comienzo de un archivo de determinado tipo y a partir de este se añaden en secuencia los bytes contiguos hasta encontrar el footer que indica que el archivo llegó a su fin.

2 File Structure Based Carving es un algoritmo que se basa en analizar las estructuras internas del tipo de archivo, además de los datos que se encuentran en la cabecera. Es especialmente útil en formatos que guardan sus datos en bloques, como AVI, MP3, JPG, entre otros.

## Referencias

- [1] DI IORIO, Ana et al La recuperación de la información y la informática forense: Una propuesta de proceso unificado, Journal CADI (2012)
- [2] MEROLA A.: Data Carving Concepts, SANS Institute (2008)
- [3] CONSTANZO, Bruno; WAIMANN, Julián El estado actual de las Técnicas de File Carving y la necesidad de Nuevas Tecnologías que implementen Carving Inteligente. Journal CADI (2012)
- [4] POISELY, R., TJOA, S., and TAVOLATO, P.: Advanced File Carving Approaches for Multimedia Files, Journal of Wireless Mobile Networks, Ubiquitous Computing, and Dependable Applications (JoWUA) 01/201
- [5] GARFINKEL, S.: Carving contiguous and fragmented files with fast object validation. Digital Forensics Research Workshop -DFRWS (2007)
- [6] RICHARD, G., ROUSSEV, V.: SCALPEL: A Frugal, High performance File Carver, DFRWS (2005)
- [7] PAL, A., MEMON, N.: The Evolution of File Carving. IEEE Signal Processing Magazine, (2009) 59 –71
- [8] RICHARD, G., ROUSSEC, V., MARZIALE, L.: In-place File Carving. International Federation for Information Processing - IFIP (2007)
- [9] <http://ocfa.sourceforge.net/libcarvpath/> accedido el 10 de Julio de 2013

# Construcción de códigos LDPC con conjuntos de parada de gran tamaño

Salazar Ripoll<sup>1</sup>, Juan Camilo<sup>2</sup> y Barraza, Néstor Rubén<sup>3</sup>

## Resumen

En este trabajo se presenta un nuevo algoritmo para construir códigos LDPC con una distancia de parada grande. Dado que el rendimiento del código es caracterizado por el tamaño del mínimo conjunto de parada, resulta importante encontrar los conjuntos de parada en los códigos LDPC. Si el tamaño mínimo de los conjuntos de parada es grande, se evita que el código quede atrapado en ciclos, especialmente en los canales binarios de borrado. Encontrar el conjunto de parada mínimo no es una tarea fácil, ya que es un problema NP Completo. Consecuentemente, se propone la construcción de un código LDPC con un tamaño de parada grande determinado al momento de su construcción. El rendimiento del código obtenido de esta manera es analizado mediante simulaciones.

**Palabras clave:** LDPC, conjunto de parada, BEC, algoritmo

## Abstract

A new algorithm to construct good LDPC codes with large stopping sets is presented. Since the minimum stopping set characterizes an LDPC code, searching for stopping sets in LDPC codes is an important issue. Large minimum stopping sets avoid the LDPC code to get trapped in cycles specially on the binary erasure channel. Dealing with stopping sets is not an easy task since their discovering is a well known NP hard problem. Conversely, we propose an algorithm in order to construct an LDPC code from a stopping set which is demonstrated to be large. Results of simulations showing the performance of the LDPC code obtained this way are analyzed.

**Keywords:** LDPC, stopping set, BEC, algorithm

## Introducción

Los códigos LDPC han sido una importante rama de estudio en Teoría de Información y Codificación desde que fueron redescubiertos por MacKay y Neal en [1], muchos años más tarde de que fueran introducidos por Gallager en [2]. El avance tecnológico en procesadores y memorias de los últimos años permitió el desarrollo de algoritmos de decodificación de baja

<sup>1</sup>Juan Camilo Salazar Ripoll. Universidad de los Andes. Estudiante de la maestría en Ingeniería Matemática de la Universidad de Buenos Aires. **E mail:** palazar43@gmail.com  
<sup>3</sup>Néstor Rubén Barraza. Profesor Asociado. Universidad de Tres de Febrero. Profesor Adjunto. Facultad de Ingeniería. Universidad de Buenos Aires. **E mail:** nestor.barraza@gmail.com

complejidad como propagación de la verosimilitud o de suma-producto. En el presente, tanto los códigos LDPC como los turbocódigos son dos importantes ramas en teoría de codificación con los cuales se obtiene un rendimiento cercano a la capacidad del canal. Para obtener códigos LDPC de buen rendimiento se deben tener en cuenta varias características, una de ellas es el tamaño del conjunto de parada, a mayor tamaño, mejor rendimiento, ya que conjuntos de parada de gran tamaño evitan que el algoritmo quede atrapado en ciclos y de este modo, se asegura la convergencia, principalmente, cuando se estudia el canal de borrado. Los métodos utilizados usualmente para analizar el rendimiento de códigos LDPC consisten en buscar los conjuntos de paradas existentes, ver por ejemplo [3] y [4]. Este método resulta de difícil aplicación, ya que la búsqueda de conjuntos de parada es un problema NP completo, ver [5]. También se han desarrollado algunos algoritmos para construir códigos LDPC con conjuntos de parada grandes, [6]. Otras técnicas están basadas en grafos coset, [7], y en redes multidimensionales finitas, [8]. En este trabajo, proponemos un nuevo algoritmo para construir códigos LDPC expandiendo un grafo inicial aumentando el grado de los nodos de chequeo para una cintura dada. Este artículo está organizado como sigue: en la sección 2 se hace una descripción de los códigos LDPC. En la sección 3 se hace una descripción detallada del algoritmo. En la sección 4, se analiza el rendimiento del algoritmo a través de un BEC. Se presentan algunas conclusiones en la sección 5.

## Códigos LDPC

Los códigos LDPC son un caso particular de códigos de bloque con la particularidad de que la matriz de chequeo de paridad  $H$  tiene la mayoría de los elementos nulos, de ahí el nombre de baja densidad. Esto permite tener una matriz grande, es decir que el tamaño de bloque del código es grande, reduciendo de esta manera la probabilidad de error del bloque. Esto último es consistente con el teorema de Shannon que demuestra que la probabilidad de error de un código con una tasa menor que la capacidad del canal tiende a cero cuando el tamaño del bloque tiende a infinito. Para una explicación más detallada de los códigos LDPC puede verse [9].

### Representación de códigos LDPC

La decodificación de códigos LDPC es una materia de estudio constante. Existen actualmente algoritmos muy eficientes para decodificar códigos LDPC basados en envío de mensajes, estos algoritmos eran imposibles de implementar en la época de Gallager. Una explicación de estos algoritmos puede verse en [9].

En un código de bloque existen ecuaciones de chequeo de paridad que conectan los bits del mensaje transmitido, por ejemplo en el siguiente código (7,2) donde el mensaje transmitido tiene 7 bits y 5 son de redundancia la matriz de chequeo de paridad es la siguiente:

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

y las ecuaciones de chequeo son las siguientes:

$$\begin{aligned} x_1 + x_3 + x_5 &= 0 \\ x_2 + x_4 + x_6 &= 0 \\ x_4 + x_6 + x_7 &= 0 \\ x_1 + x_3 + x_6 &= 0 \\ x_2 + x_5 + x_7 &= 0 \end{aligned}$$

Las ecuaciones de paridad pueden representarse en un gráfico con dos tipos de nodos, nodos variable y nodos de chequeo. Los nodos variable corresponden a los bits del mensaje, y los nodos de chequeo corresponden a las ecuaciones de paridad. Un nodo variable se conecta a un nodo de chequeo que corresponde a la ecuación de paridad en la que interviene. Esto determina conexiones entre los nodos variable y los nodos

de chequeo. Por ejemplo, el código mencionado anteriormente se ve representado en la figura 1.

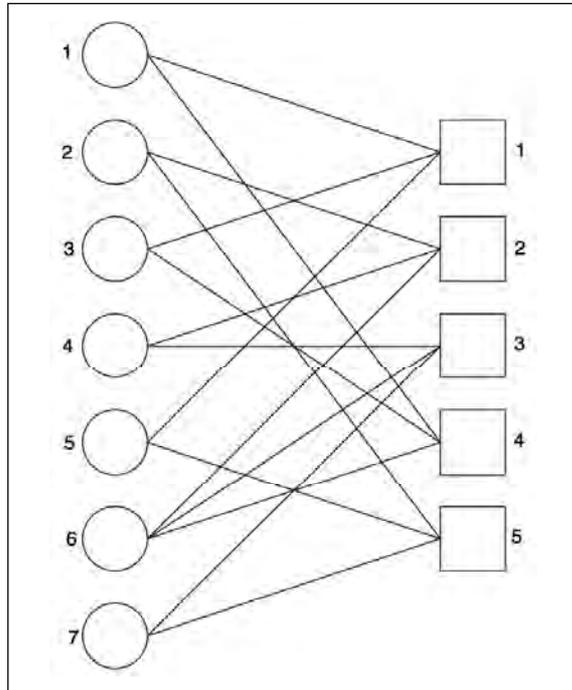


Figura 1. Grafo de Tanner del código (7,2)

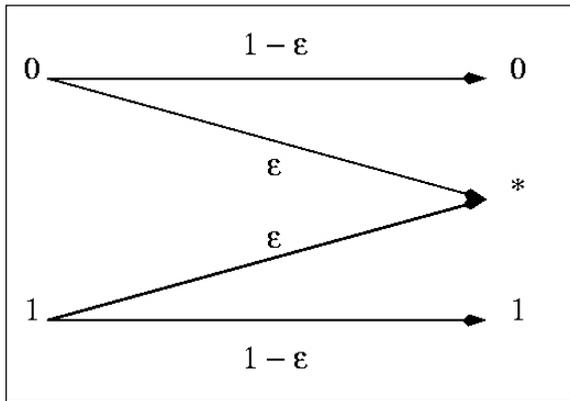
Este gráfico se conoce como grafo de Tanner, tiene la propiedad de que las conexiones se establecen entre el conjunto de nodos variable y el conjunto de nodos de chequeo. Un grafo con esta característica se conoce como grafo bipartito.

Los algoritmos para decodificar códigos LDPC se basan en propagación de la verosimilitud o pase de mensajes. El algoritmo de pase de mensajes consiste en información que es enviada entre los nodos variables que corresponden a los bits transmitidos y los nodos de chequeo que corresponden a las ecuaciones de paridad.

### Canal de borrado binario

Un canal binario es aquel sobre el cual se pueden transmitir solamente dos símbolos, en este caso 1 ó 0. Un canal de borrado binario es aquel que al transmitir un bit (1 o 0), el bit recibido es "borrado" con una probabilidad

Este tipo de canal sugerido inicialmente en 1954 por Elias, encuentra actualmente aplicaciones en internet, donde los paquetes de datos pueden arribar correctamente o perderse debido a superar la capacidad de procesamiento o demasiado retardo.



**Figura 2.** Transmisión de un bit a través de un canal binario de borrado

### Conjuntos de parada

Sea  $X$  el conjunto de los nodos variable y sea  $Y$  el conjunto de los nodos de chequeo. Se dice que un subconjunto  $P$  de  $X$  es un conjunto de parada si los vecinos de  $P$  están conectados a  $P$  al menos 2 veces. En otras palabras, que haya al menos 2 ecuaciones que contengan cada uno de los nodos variable en  $P$ .

Si se considera la matriz cuyas columnas son un subconjunto de las columnas de  $H$ , esta matriz representa un conjunto de parada si las filas que no son nulas tienen al menos dos 1's.

En el código del ejemplo anterior, un conjunto de parada es aquel subconjunto formado por los nodos 2, 4 y 7, como se puede ver en la siguiente submatriz obtenida con las columnas 2, 4 y 7 de la matriz  $H$ :

$$H_P = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

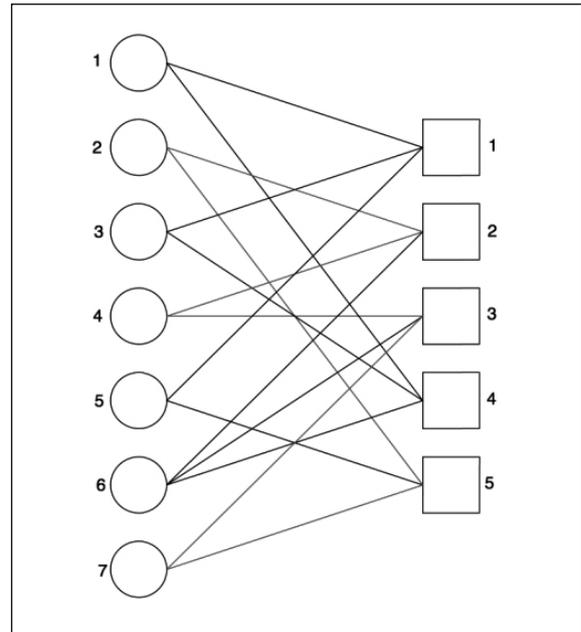
El grafo de Tanner con las conexiones de los nodos dentro del conjunto de parada se muestra en la figura 3.

Cuanto mayor es el conjunto de parada, mejor es el código, ya que permite corregir un mayor número de errores y es menos probable que quede atrapado en ciclos. De ahí la importancia de que los códigos LDPC más eficientes sean los que tengan conjuntos de parada grandes.

### Algoritmo de construcción

#### Construcción a partir de grafos simples

Se va a presentar un método para construir



**Figura 3.** Conjunto de parada en el grafo de Tanner

códigos LDPC con una cintura 24 y con una pequeña variación, la cintura se incrementa hasta 28. La idea es construir un grafo que determine el conjunto de parada mínimo del código; a partir de este grafo se obtiene la matriz de incidencia la cual sería la matriz de paridad del código.

El grafo mencionado se obtiene de la siguiente manera:

1. Sea  $C$  un grafo simple, este grafo va a ser el núcleo.
2. Se realizan  $2|C| + 1$  copias del núcleo, obteniendo así  $2|C| + 2$  subgrafos.
3. Se dividen los subgrafos en 2 conjuntos: un conjunto izquierdo y un conjunto derecho, cada uno con  $|C| + 1$  subgrafos. Se nombran los subgrafos del conjunto izquierdo como  $0, 1, \dots, |C|$  y los subgrafos del conjunto derecho como  $0', 1', \dots, |C|'$ .
4. Se conectan los nodos usando la siguiente regla:
  - a. Se toma el nodo  $i$  del subgrafo  $j$  y se conecta con el nodo  $j$  del subgrafo  $i'$  para  $i \neq j$  con  $1 \leq i, j \leq |C|$ .
  - b. Se conecta el nodo  $i$  del subgrafo  $i$  al nodo  $i$  del subgrafo  $0'$ , en una manera similar, se conecta el nodo  $i$  del subgrafo  $i'$  al nodo  $i$  del subgrafo  $0$ .

Del procedimiento anterior, se obtuvo un



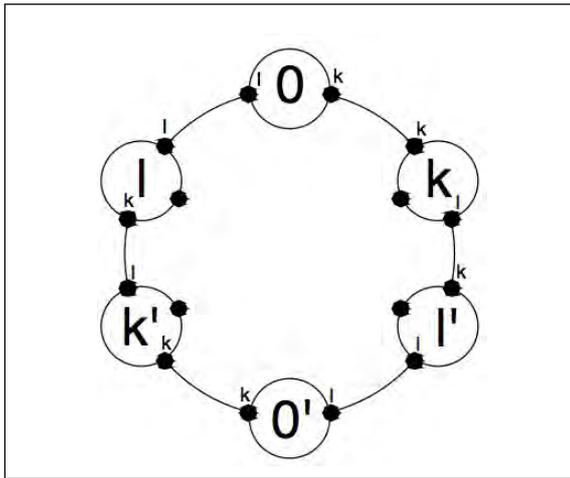


Figura 7. El ciclo más pequeño con vecinos en el núcleo modificado

den a los nodos variable. Los ciclos de longitud  $k$  generan ciclos de longitud  $2k$  en el grafo de Tanner. Por lo anterior, el tamaño del conjunto de parada del código LDPC no va a ser menor a la cintura del grafo, consecuentemente el método garantiza que el tamaño del conjunto de parada no sea pequeño.

Si un grafo regular es escogido como el núcleo y  $dv$  es el grado de cada nodo, entonces el número de arcos dentro del grafo generado es igual a  $(dv + 1) |C| (|C| + 1)$ . La tasa del código LDPC generado por este método es  $R = \frac{1}{dv + 1}$ .

### Resultados

Para nuestra simulación, escogimos un anillo de tamaño 22 como el núcleo. Este anillo es simple regular de cintura 22. Para hacer el renombramiento de los nodos en los subgrafos  $0$  y  $0'$ , usamos una fórmula simple:  $i := i * 5 \text{ mod } (22)$ . Para el caso del ejemplo considerado, la permutación resulta:  $[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22] \rightarrow [9, 18, 5, 14, 1, 10, 19, 6, 15, 2, 11, 20, 7, 16, 3, 12, 21, 8, 17, 4, 13, 22]$ .

El grafo generado tiene  $2(22)(23) = 1012$  nodos y  $3(22)(23) = 1518$  arcos, por lo tanto, la matriz de paridad  $H$  tiene tamaño  $1012 \times 1518$ , donde cada columna tiene exactamente dos 1's.

El rendimiento del código LDPC obtenido sobre un canal binario de borrado se muestra en la figura 8.

### Conclusiones

Se ha presentado un nuevo algoritmo para

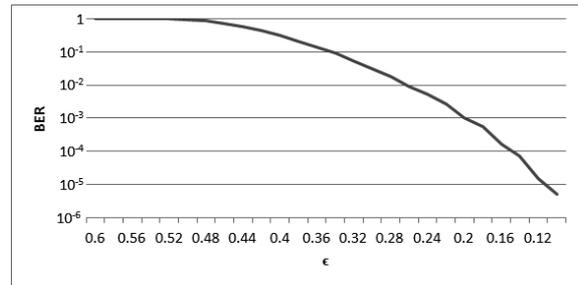


Figura 8. Rendimiento del código en un BEC ( $R=1/3, n=1518$ )

construir códigos LDPC partiendo de la generación de un grafo. Este grafo se genera como copias de un núcleo dado. Debido a que el conjunto de parada de un código LDPC está relacionado a la cintura del grafo, se obtiene un conjunto de parada de tamaño grande. La matriz de chequeo de paridad es muy dispersa, lo que resulta en una rápida convergencia del algoritmo. Las simulaciones muestran que se obtiene un código LDPC con buen rendimiento. También se debe tener en cuenta que es posible generar códigos más grandes utilizando el grafo obtenido como un nuevo núcleo.

### Referencias

- [1] MACKAY, D. J. C. y NEAL, R. M. (1996). Near Shannon limit performance of low density parity check codes, *Electronics Letters*, 32 (18):1645–1646
- [2] GALLAGER, R. G. (1962). Low-density parity-check codes, *IRE Transactions on Information Theory*, 8(1):21–28, Jan. 1962.
- [3] RICHTER, G. (2006). Finding small stopping sets in the tanner graphs of ldpc codes, in *4th International Symposium on Turbo Codes and Related Topics*.
- [4] ROSNES, E. y YTREHUS, O. (2009). "An efficient algorithm to find all small-size stopping sets of low-density paritycheck matrices," *IEEE Trans. Inf. Theor.*, 55(9):4167–4178. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1109/TIT.2009.2025573>
- [5] KRISHNAN, K. M. and SHANKAR, P., "On the complexity of finding stopping distance in tanner graphs," *CoRR*, vol. abs/cs/0512101, 2005.
- [6] RICHTER, G. and HOF, A. (2006). On a construction method of irregular ldpc codes without small stopping sets. In *ICC. IEEE*, pp. 1119–1124.

[7] LAURI, J. and TJHAI, C.J. (2011). Coset graphs for low density parity check codes: performance on the binary erasure channel, *IET Comm.*, 5(5):719–727.

[8] CRADDOCK, J., FLANAGAN M. F., REDMOND S. J., and FAGAN A. D., “Construction of girth 8 ldpc codes based on multidimensional finite lattices.” in *ISCC. IEEE*, 2007, pp. 655–659.

[9] WASSINGER, N., LIBERATORi, M., and MOREIRA, J. C. (2013) Variación de la performance de decodificadores ldpc de distancia euclidiana con la base logarítmica utilizada, *Revista Argentina de Ingeniería*, 1(1):75–83.

# Barra salada nutricionalmente equilibrada: influencia de las variables del proceso de secado

## Resumen

Se desarrolló una barra salada a base de amaranto, nutricionalmente equilibrada, con importante aporte de proteínas y calcio en la dieta, utilizando un ligante no convencional. Se determinó la influencia de las variables temperatura y tiempo de secado en la calidad final del producto. En las condiciones experimentales estudiadas la temperatura y el tiempo de secado no evidenciaron cambios significativos en la composición nutricional. El descenso de la temperatura de proceso causó endurecimiento y aumentó el desgranamiento del producto.

**Palabras claves:** Amaranto, aglutinante, nutricionalmente equilibrada, variables de secado

## Abstract

a nutritionally equilibrated salt bar including amaranth was developed, with important supply of protein and calcium in the diet, using a binder unconventional. The influence of both variables, the temperature and the drying time were determined in the final product quality. In the experimental conditions of temperature and drying time showed no significant changes in the nutritional composition. The drop of the process temperature caused hardening and shelling of product.

## Introducción

Una dieta equilibrada debe proveer las calorías suficientes requeridas por el individuo para su crecimiento, mantenimiento metabólico y desarrollo de actividades. De las kilocalorías aportadas por los diferentes grupos de alimentos, entre el 55-65 % de las mismas deben provenir de glúcidos, en tanto que 20-25 % de lípidos y un 10-15 % de proteínas [1]. Una de las deficiencias en la dieta observadas en Argentina a partir de la agudización de la crisis económica es la carencia de proteínas en general, de alta calidad en particular, lo que queda evidenciado en estimaciones de índices antropométricos [2] [3] [4]. En este sentido el amaranto posee propiedades nutricionales, agronómicas e industriales, que lo

Zaniolo, Stella Maris<sup>1</sup>; Malka, María Teresa<sup>2</sup>; Batlle, Teresa Adriana<sup>3</sup>; Balmaceda, María Luciana<sup>4</sup> y Giannuzzi, Leda<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Stella Maris Zaniolo. Ingeniero Químico-Magíster en Gestión y Auditorías Ambientales. Cargo: Profesor Adjunto. Universidad Nacional de San Luis, Facultad de Ingeniería y Ciencias Económico Sociales, Villa Mercedes, San Luis. Dirección postal: Campus Universitario Ruta 55. Tel: +(54)2657531000 Int: 7025. Fax: 02657-430980. **E-mail:** smzaniolo@gmail.com.ar

<sup>2</sup>María Teresa Malka. Ingeniero Químico-Especialista en Educación Superior. Cargo: Profesor Asociado. Universidad Nacional de San Luis, Facultad de Ingeniería y Ciencias Económico Sociales, Villa Mercedes, San Luis. Dirección postal: Campus Universitario Ruta 55. Tel: +(54)2657531000 Int: 7025. Fax: 02657-430980. **E-mail:** tmalka@fices.unsl.edu.ar

<sup>3</sup>Teresa Adriana Batlle. Ingeniero Químico. Cargo: Profesor Adjunto. Universidad Nacional de San Luis, Facultad de Ingeniería y Ciencias Económico Sociales, Villa Mercedes, San Luis. Dirección postal: Campus Universitario Ruta 55. Tel: +(54)2657531000 Int: 7025. Fax: 02657-430980. **E-mail:** teresa.batlle@yahoo.com.ar

<sup>4</sup>María Luciana Balmaceda. Ingeniero Químico. Cargo: Auxiliar de primera. Universidad Nacional de San Luis, Facultad de Ingeniería y Ciencias Económico Sociales, Villa Mercedes, San Luis. Dirección postal: Campus Universitario Ruta 55. Tel: +(54)2657531000 Int: 7025. Fax: 02657-430980. **E-mail:** balmacedaml@yahoo.com.ar

<sup>5</sup>Giannuzzi Leda. Doctora en Ciencias Químicas. Cargo: Profesora Adjunta, Investigador Principal CONICET. Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata. Calle 47 y 116 (1900), La Plata. TE- FAX: 0221-4254853. **E-mail:** leda@biol.unlp.edu.ar

convierte en el “mejor alimento de origen vegetal para el consumo humano”, designación otorgada por la Academia Nacional de Ciencias de los EE UU y por la FAO, en 1979 [5]. Esta categorización se debe a la alta calidad de sus proteínas, por su perfil de aminoácidos esenciales y a sus carbohidratos asimilables, vitaminas, minerales, además de su excelente relación costo-beneficio, en términos nutricionales [5]. El amaranto no es un cereal a pesar que se consume como tal,

contiene más lisina, triptófano y aminoácidos azufrados que el resto de los cereales [6]. Las proteínas de amaranto son consideradas una excelente alternativa o complemento de los cereales y legumbres debido a su composición bien balanceada de aminoácidos esenciales. El patrón de aminoácidos de la proteína de amaranto es similar al del patrón propuesto por la FAO/OMS lo que sugiere que es una proteína de alto valor nutritivo [7] [8]. Una de las características importantes de las proteínas de amaranto es que han sido utilizadas en dietas para personas con la enfermedad celíaca. El amaranto ha sido utilizado para obtener concentrados y aislados proteicos. [8] [9] [10]. Las altas concentraciones de calcio, fósforo, hierro, potasio, zinc, vitaminas E y del complejo B, como así también los bajos niveles de factores antinutricionales, hacen de este grano un producto de interés en la elaboración de nuevos alimentos [11]. El almidón representa el principal componente del grano y juega un papel importante en las aplicaciones en productos, tales como: espesantes para sopas, sustitutos de grasa, salsas, cereales para el desayuno, galletas, aperitivos, pastas y alimentos saludables [12].

En los últimos años, uno de los productos alimenticios que ha registrado mayor crecimiento en el consumo de la población son las barras de cereales. Estas responden a formulaciones formadas por cereales de distintos tipos, en algunos casos con tratamientos previos, que forman una masa con la adición de un ligante apropiado, moldeándose para obtener el tamaño y la forma deseada. Algunas barras también incluyen semillas, trozos de fruta, miel, chocolate, yogurt y otros. Existen diversas formulaciones en el mercado, orientadas al consumo de deportistas, otras bajas en calorías, glúcidos y grasas y/o enriquecidas con fibras y proteínas, algunas diseñadas para el paladar del público adulto y otras diseñadas para los más jóvenes. Los principales componentes de las barras de cereales son hidratos de carbono y fibra alimentaria. Permiten obtener calorías con una ración pequeña y sin requerir un gran esfuerzo digestivo [13].

Debido a la calidad nutricional de las semillas de amaranto se han desarrollado estudios para incorporarlas en productos alimenticios que mejoren la calidad de vida de la población y la conviertan en una opción agropecuaria e industrial. Además, en la actualidad no existen en el mercado barras de sabor salado que contemplen un balance equilibrado de nutrientes, por lo que

en el marco de este proyecto se ha desarrollado un nuevo producto a base de amaranto utilizando tecnologías de secado. Para la formulación de las barras se empleó *Amaranthus cruentus* variedad candil de cultivares de la Universidad Nacional de Río IV. Los granos de amaranto se expusieron a un tratamiento térmico mediante calor seco para su popeado, proceso conocido también como reventado o pochocleado. El almidón se convierte en dextrina y el agua interior se volatiliza aumentando la presión interna de la semilla, hasta que la corteza de esta revienta. Este proceso conlleva varios propósitos: obtener sabor, color y aromas agradables, mejorar la relación de eficiencia proteínica (PER), así como la digestibilidad y la destrucción de factores antinutricionales, lo que hace más nutritiva a la semilla [14].

Con el objetivo de mejorar el perfil nutricional de las barras también se utilizaron como ingredientes para la elaboración de las mismas otros cereales tales como avena laminada, copos de maíz, arroz inflado, salvado extruído y semillas de sésamo. En este sentido, diversos estudios indican que usando amaranto procesado térmicamente se ha establecido biológicamente el efecto complementario proteínico con harina de trigo y avena laminada. Con trigo se observó un incremento lineal en calidad proteica respecto al nivel de amaranto. La calidad proteica de amaranto/avena fue similar para todas las combinaciones [6].

El objetivo del presente trabajo es obtener un nuevo producto, nutricionalmente equilibrado de sabor salado, utilizando amaranto, principal ingrediente, como fuente de proteínas y calcio, mediante procedimientos de secado controlado, estudiando la incidencia de las variables de este proceso en la calidad nutricional y organoléptica.

## Materiales y métodos

### Materias Primas

Se utilizaron los siguientes ingredientes: semillas de *Amaranthus cruentus* popeadas, arroz inflado, flakes de maíz, salvado de trigo extruído, avena arrollada, semillas de sésamo y cloruro de sodio, adquiridos en el mercado local de productos con marcas registradas.

### Formulación de las barras

El criterio asumido para establecer la formulación del producto se basó en el objetivo de desarrollar barras de cereales saladas que aporten

una fracción importante de los requerimientos nutricionales diarios, utilizando las materias primas mencionadas previamente como fuentes de proteínas y de calcio. Para aglutinar estos ingredientes se utilizó almidón pregelatinizado disuelto en leche

### Elaboración del Popeado de Amaranto

La semillas de amaranto se popearon utilizando técnicas por contacto directo, distribuidas en una capa delgada en placa calefactora de acero inoxidable de doble pared a temperaturas entre 87-90°C, medidas con termómetro infrarrojo digital, durante intervalos de tiempo de 4s.

### Preparación de las Barras

Se preparó una fase seca, formada por una mezcla de los ingredientes en las proporciones mostradas en la Tabla 1, a la que se le adicionó la fase húmeda ligante, moldeándose para formar las barras

**Tabla 1.** Composición porcentual fase seca

Ingrediente	%	Ingrediente	%
Amaranto popeado	30.0	Salvado extruido	12.6
Avena arrollada	20.4	Copos de maíz	12.3
Semilla de sésamo	13.2	Arroz inflado	10.3
Cloruro de sodio	1.2		

### Secado de la formulación

Las formulaciones se secaron para garantizar buena conservación y desarrollar los siguientes atributos: color pardo, aroma característico a amaranto tostado, textura crocante y bajo desgranamiento en la barra. El secado se realizó en un horno eléctrico O.R.L., que posee bandejas de malla de acero inoxidable y opera con circulación forzada de aire a 1,4 m/s. Se diseñaron diferentes experiencias estudiando la incidencia de las variables: tiempo y temperatura, para obtener una barra que respondiera a las características nutricionales y de palatabilidad previamente propuestas.

Los ensayos de secado se realizaron a temperaturas de 70, 80 y 100°C, a distintos tiempos de exposición, para alcanzar la misma humedad final del producto.

Las barras se prepararon por duplicado y se sometieron a los distintos tiempos de secado

programados para el estudio, realizando tres repeticiones para cada tiempo. Una muestra se utilizó para medir la actividad acuosa y la otra para determinar la humedad en base seca. La actividad acuosa (aw) se midió con equipo AquaLab Series 3TE. La humedad en base seca se determinó gravimétricamente, secando la barra de cereales a 105°C durante 2hs. en estufa convencional. Con los datos obtenidos se realizaron las curvas de secado y las isoterms de desorción.

### Balance nutricional del producto

A las barras obtenidas a distintas temperaturas de secado se les determinó: humedad según técnica AOAC 24.002 [15], proteína AOAC 24.027 [15], grasas totales. AOAC 24.005 [15], cenizas AOAC 24.009 [15] y carbohidratos por diferencia.

El contenido de calcio se estimó a partir de las especificaciones de los ingredientes.

### Evaluación de los atributos de la barra

Los atributos del producto se evaluaron mediante análisis descriptivo cualitativo realizado por un panel entrenado de diez evaluadores.

Primero, cada evaluador desarrolló los descriptores en forma individual completando una planilla donde se plasmó con palabras las sensaciones percibidas luego de observar y probar las muestras, destacando las apariencias y diferencias entre las mismas. Luego se realizó una discusión grupal para obtener consenso en los descriptores y sus definiciones.

Para el desarrollo del perfil de la barra los atributos evaluados fueron: color, aroma, sabor, textura y desgranamiento. Los evaluadores se entrenaron con la definición y modo de evaluación de cada descriptor. El desgranamiento también se midió gravimétricamente cuantificando la proporción de granos desprendidos durante el proceso de secado y al trozar manualmente las barras en dos porciones.

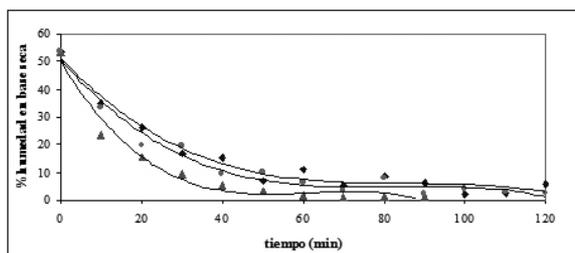
### Estudio de aceptabilidad

Se realizó la evaluación de aceptabilidad mediante una prueba del tipo de escala Hedónica estructurada de 9 puntos, con extremos 1 = me disgusta mucho y 9 = me gusta mucho, y donde el puntaje intermedio 5 corresponde a la descripción "me es indiferente", empleando un panel no entrenado de 100 evaluadores [16].

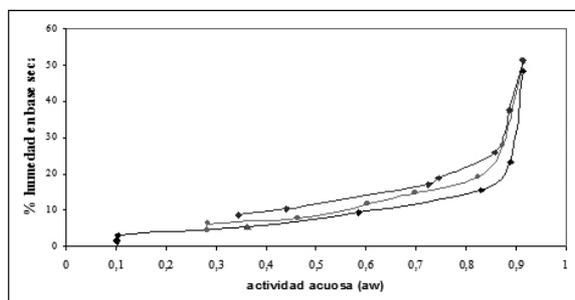
## Resultados y discusión

Los productos obtenidos presentaron buen aspecto con color pardo claro, aroma agradable característico del amaranto tostado y textura crocante.

Los mejores atributos se lograron exponiendo las barras a 100°C durante 45 min., resultando una  $a_w$  de 0,28, un desgranamiento inferior al 0,5% en peso y 4% de humedad en base seca. Secando a 70 y 80°C se requirió de tiempos de residencia de 115 y 105 min. respectivamente, para la misma humedad final y  $a_w$  similar, como puede observarse en las Figuras 1 y 2.



**Figura 1.** Curvas experimentales de secado de las barras de cereales a distintas temperaturas, con circulación de aire a una velocidad de 1,4 m/s. (♦) 70°C, (●) 80°C y (▲) 100°C



**Figura 2.** Isotherma de desorción de las barras de cereal a distintas temperaturas (♦) 70°C, (●) 80°C y (▲) 100°C

Este resultado garantizó la estabilidad del producto. Para estos valores de  $a_w$ , el agua presente está unida a grupos polares, no disponible para reacciones químicas ni microbiológicas.

Como resultado del análisis descriptivo de las barras se obtuvo una carta de identidad precisa y reproducible. Las barras expuestas a mayores tiempos de secado presentaron mayor endurecimiento, defecto común en alimentos deshidratados [17] y además, pudo observarse que aumentó la proporción de granos desprendidos.

El estudio de aceptabilidad global de las barras presentó un puntaje de 8, valor superior a

6, límite comercial en una escala Hedónica de 9 puntos, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 2. Se logró alta aceptación de la barra con el 80% de los evaluadores.

Muestra	Aceptabilidad global	Sabor global	Dureza	Cohesión
Barra (70°C)	6,1	7,4	9,0	6,7
Barra (80°C)	6,9	7,7	8,5	7,4
Barra (100°C)	8,0	8,1	7,9	8,6

**Tabla 2.** Análisis sensorial, puntaje global obtenido para cada una de las características medidas en las barras secadas a 70, 80 y 100°C.

La composición nutricional por 100gr. de producto, secando a: 100°C – 45min., 80°C- 105 min. y 70°C-115 min. se muestra en la Tabla 3.

Variables de secado	100°C 45 min.	80°C 105 min.	70°C 115 min.
Valor energético (Kcal)	408	415	394
Carbohidratos (g)	57,83	60,63	60,21
Proteínas (g)	21,01	19,84	18,78
Grasas totales (g)	10,32	11,46	9,98
Calcio (mg)	284,70	284,70	284,70

**Tabla 3.** Información nutricional, por porción de 100g (tres barras)

Secando a las temperaturas y tiempos mostrados, los productos obtenidos resultaron nutricionalmente equilibrados, su composición respondió a los rangos aceptables de distribución de macronutrientes para dietas saludables, establecidos por el Consejo de Alimentación y Nutrición de EEUU en el año 2002 [1].

A partir del balance nutricional se encontró que el producto presenta un contenido estimado de calcio de 284,7 mg. por porción de 100g, considerando que este mineral no es afectado en las condiciones experimentales en que se ha realizado el secado de las barras. Este valor es similar al reportado para amaranto tostado que presenta un contenido en calcio de 2877.26 mg/kg [18]. Los valores de Calcio presentes en las barras no cubren el requerimiento diario recomendado, DDR: 1000 a 1200 mg [1], no obstante resultan un aporte significativo como complemento para una dieta saludable.

Las barras obtenidas se distinguieron por su contenido proteico de la mayoría de los productos comerciales que presentan un contenido promedio de proteínas de tan sólo el 5,5%, con

calidad proteica pobre en la medida que provienen principalmente de cereales (arroz, avena, maíz), como lo afirman otros autores [13] [19] haciendo referencia a barras dulces, empleando otros aglutinantes, no encontrándose registros para contrastar con las barras saladas.

Pudo observarse que los tratamientos térmicos a las distintas temperaturas y tiempos de secado ensayados afectaron poco, alrededor del uno por ciento, en términos cuantitativos, el contenido proteico de las barras. No habiéndose realizado, en el marco de este proyecto, determinaciones para evaluar la calidad de las mismas. No obstante, otros autores han realizado estudios del efecto de varios procesos, tales como expandidos, laminado, cocción húmeda y extrusión, sobre la calidad de la proteína de amaranto, observándose en todos los casos un aumento sobre el valor nutritivo de la misma [6].

### Conclusiones

En las condiciones experimentales estudiadas, la temperatura y el tiempo de secado no evidenciaron cambios importantes en la composición nutricional de las barras.

El descenso de la temperatura de proceso causa endurecimiento y aumenta el desgranamiento del producto.

### Agradecimientos

Los autores agradecen al Ing. Guillermo Peiretti de la Universidad Nacional de Río IV por proveer las semillas de amaranto.

### Bibliografía

- [1]Hernandez Triana, Manuel.(2004). Recomendaciones nutricionales para el ser humano. Rev Cubana Invest Biomed: 23(4):266-92
- [2]Aguirre Patricia. (2007). Que puede decirnos una Antropóloga sobre alimentación. Hablando sobre gustos, cuerpos, mercados y genes. FAC. Federación Argentina de Cardiología. 5º Congreso Virtual de Cardiología
- [3]Duran Pablo, Mangialavori Guadalupe, Biglieri Ana, Kogan Laura, Abeya Gilardon Enrique. (2009). Estudio descriptivo de la situación nutricional en niños de 6-72 meses de la República Argentina. Resultados de la Encuesta Nacional de Nutrición y Salud (EN-NyS). Archivos Argentinos de Pediatría; 107

(5):397-404

[4]FAO (2001). Perfiles nutricionales por países: Argentina. Disponible en la Web: <ftp.fao.org/es/esn/nutrition/ncp/ARGmap.pdf>

[5]Manrique de Lara Benito (2006).FAO: Explotación estratégica del recurso Amaranto en México. Disponible en la Web: [http://www.sanmiguel.com.mx/index.php?option=com\\_docman&task=cat\\_view&gid=24&Itemid=49](http://www.sanmiguel.com.mx/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=24&Itemid=49)

[6]Bressani, Ricardo. (2006). Estudios sobre la industrialización del grano de amaranto: caracterización química y nutricional de productos intermedios y finales del procesamiento. Proyecto FODECYT N° 23-2002 Universidad del Valle de Guatemala. Guatemala.

[7]Becker, Robert. (1989). Preparation, composition, and nutritional implications of amaranth seed oil. Cereal Foods World. v. 34, n.11, p. 950-953

[8]Marcone, Massimo F. y Yada, Rickey. Y. (1991). Isolation, Purification, and Characterization of the Oligomeric Seed Globulin from *Amaranthus hypochondriacus*. Agricultural and Biology Chemistry. v. 55, n. 9, p. 2281-2289.

[9]Martínez, Nora y Añón, Maria. C. (1996). Composition and structural characterization of amaranth protein isolates. An electrophoretic and calorimetric study. Journal of Agricultural and Food Chemistry. Chicago. v. 44, n. 9, p. 2423-2430.

[10]Salcedo-Chávez, Beatriz; Osuna-Castro Juan A.; Guevara- Lara Fidel; Domínguez-Domínguez Jorge y Paredes-López Octavio. (2002). Optimization of the isoelectric precipitation method to obtain protein isolates from Amaranth (*Amaranthus cruentus*) seeds. Journal of Agricultural and Food Chemistry. V. 50, p. 6515-6520.

[11]Mujica Sánchez Angel, Izquierdo Juan y Berti Díaz, Marisol (1997). El Cultivo del Amaranto (*Amaranthus spp.*), Producción, mejoramiento genético y utilización, Capítulo VII, Nutrición y composición química. Disponible en la Web: [www.rlc.fao.org/es/agricultura/produ/cdrom/contenido/libro01/home1.htm](http://www.rlc.fao.org/es/agricultura/produ/cdrom/contenido/libro01/home1.htm)

[12]Armada, Margarita y Burgos, Verónica. (2011). Evaluación de propiedades funcionales: harina de amaranto (*amaranthus cruentus*) y harinas comerciales. XIII Congreso CYTAL – AATA. XIII Congreso Argentino de Ciencia y Tecnología de Alimentos- 19-21 de Octubre de 2011. Buenos Aires, Argentina.

[13]INTI. Instituto Nacional de Tecnología Industrial (2011). Informe Nº15 Barritas de cereal.

[14]Bressani, Ricardo, Sanchez-Marroquin, Alfredo, Morales, Enrique. (1992). Chemical composition of grain amaranth cultivars and effects of processing on their nutritional quality. *Foods Reviews International*, 8(1), 23-49

[15]AOAC 1984. Official Methods of Analysis 14th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington D.C. pag. 431, 432 y 434

[16]Meilgaard, Morten, Civille, Gail V. and Carr, Thomas. (1991). Sensory evaluation techniques. CRC Press, Florida, USA

[17] Barbosa Canovas Gustavo, Vega Mercado Humberto 2000. Deshidratación de alimentos. Zaragoza (España): Ed Acribia, S.A.

[18]Contreras López, Elizabeth, Jaimez Ordaz, Judith, Porras Martínez, Griselda, Juárez Santillán, Luis, Añorve Morga, Javier y Villanueva Rodríguez, Socorro . (2010) Propiedades fisicoquímicas y sensoriales de harinas para preparar atole de amaranto. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición ALAN* v.60 n.2 Caracas jun. 2010

[19] Olivera, Margarita; Ferreira, Verónica; Giacomino, Silvia; Curia, Ana; Pellegrino, Néstor; Fournier, Martín; Apro, Nicolás. (2012). Desarrollo de barras de cereales nutritivas y efecto del procesado en la calidad proteica. *Rev Chil Nutr* Vol. 39, N°3, Septiembre 2012, págs.: 18-25

# Competividad e innovación a través del desarrollo de productos en una pyme de la industria de implantes, prótesis e instrumental para cirugía ortopédica y traumatológica

Díaz, Daiana V.<sup>1</sup>, González, Natalia L.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Industria -Universidad Nacional de General Sarmiento. J. M. Gutiérrez 1150 - Los Polvorines.

**E-mail:** ddiaz@ungs.edu.ar

<sup>2</sup> **E-mail:** ngonzale@ungs.edu.ar

## Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo analizar el proceso de innovación relacionado con el desarrollo de productos, así como también la forma y el contexto en que se han realizado, en una pyme industrial argentina líder latinoamericana en diseño y fabricación de implantes, prótesis e instrumental quirúrgico. Se observan, específicamente, las acciones relacionadas con el proceso de innovación que ha llevado a cabo para posicionarse competitivamente en el mercado.

La metodología implica un estudio de caso en profundidad. Para ello se ha seleccionado una empresa que ha logrado llevar adelante proceso de innovación exitosos. Se privilegió como instrumento de recolección de información la entrevista en profundidad a informantes clave.

La estructura que guía las entrevistas abarca aspectos de distintas perspectivas teóricas sobre innovación. Dicha información fue complementada con fuentes secundarias tales como documentos informativos, catálogos e información general de la empresa

El nudo del trabajo se divide en cuatro secciones. En la primera sección se presenta una breve revisión teórica sobre competitividad, procesos y modelos de innovación. Se enunciarán algunas consideraciones sobre el proceso de innovación en pymes argentinas y del sector industrial de implantes y prótesis quirúrgicas.

El segundo apartado describe la metodología utilizada. Los resultados obtenidos a partir del análisis de caso se esbozan en la tercera sección; y finalmente en la cuarta sección se presentan las principales conclusiones.

**Palabras Claves:** proceso de innovación – pymes – estrategia competitiva – empresa familiar

## Introducción

El objetivo principal de este trabajo es analizar el proceso de innovación teniendo en cuenta las fases del mismo, la forma y en contexto en que se realiza y específicamente el desarrollo de productos. La organización escogida como estudio de caso es una empresa pyme argentina de base familiar con una antigüedad de treinta y cinco años, que se dedica a la fabricación de

implantes, prótesis e instrumental para cirugía ortopédica. Luego de 20 años de trabajo con esa sociedad, el fundador se separa de la misma y decide crear una nueva empresa. Así cambia su visión del negocio y las determinaciones técnicas de cómo fabricar un producto y comienza como pionero en la fundición de cromo cobalto en Argentina. De esta manera, ya por la década del 70, comenzó a fundir rodillas e implantes de rodillas. Con la nueva empresa en marcha, en el año 97 aproximadamente, continúa con este proyecto el yerno del fundador, quien actualmente es el presidente de la empresa.

En los últimos años la empresa ha experimentado un importante crecimiento gracias a su política de calidad y constante mejora y desarrollo de nuevos productos, logrando igualar y superar los estándares en relación a los productos de los fabricantes líderes extranjeros. Actualmente la empresa cuenta con una dotación aproximada de ciento veinte empleados, opera en el mercado nacional e internacional y es número uno en América Latina en su rubro.

Y si consideramos que la competitividad y el desempeño económico de las empresas están influenciados por la capacidad de innovación y se

ve posibilitada u obstaculizada por la interacción de distintos factores determinantes que incluyen la estrategia, estructura y rivalidad de la empresa, las condiciones de la demanda, las condiciones de los factores, los sectores conexos y de apoyo, la casualidad y el gobierno; nuestro trabajo intenta dar cuenta de la interrelación de la competitividad y la innovación en el desarrollo de productos en una pyme argentina de origen familiar.

## 2. Revisión teórica

### 2.1. Sobre Innovación y competitividad

Los recursos por sí mismos no explican el desempeño; ellos requieren procesos como el desarrollo de nuevos productos para que las habilidades y el conocimiento sean transformados en innovaciones [1].

Existen diversas definiciones en la literatura sobre innovación. La innovación es el uso de nuevo conocimiento tecnológico y de mercado para ofrecer un producto o servicio nuevo a los clientes [2]. Éste entiende al nuevo conocimiento como el que no se ha utilizado antes para ofrecer el producto o servicio de que se trate, es decir que incluye el conocimiento que nunca existió, pero no se limita sólo a él. En este sentido, el conocimiento tecnológico es conocimiento de componentes, vinculaciones entre componentes, métodos, procesos y técnicas que son parte de un producto o servicio. El conocimiento de mercado es conocimiento de canales de distribución, aplicaciones del producto y expectativas, preferencias, necesidades y deseos del cliente. El producto o servicio es nuevo en que su costo es inferior, sus atributos son mejorados, ahora tiene nuevos atributos que antes no tuvo, o nunca existió en ese mercado.

En la misma línea se hace referencia a la innovación como la utilización de conocimiento nuevo para ofrecer un nuevo producto o servicio que desean los clientes. Es invención + comercialización [3].

Para otros autores la innovación es entendida como un proceso evolutivo y sistémico que implica procesos de aprendizaje para la organización. En este marco, “la innovación concierne a la búsqueda, al descubrimiento, experimentación, desarrollo, imitación y adopción de nuevos productos, nuevos procesos y nuevas formas organizacionales” [4].

El proceso de innovación ha dejado de ser una invención para ser una práctica sistémica que se

logra a través de un trabajo sistemático de análisis de mercado y de la organización. Significa explorar distintas áreas consideradas fuentes de oportunidades para innovar. Así, distingue entre fuentes que se manifiestan dentro de un comercio, una industria, un mercado y que pueden ser síntomas de cambios externos económicos, sociales y científicos pero que aparecen dentro de la empresa (lo inesperado, lo incongruente, las necesidades de un proceso, el desmoronamiento –cambio de estructura de la industria o de mercado-); y fuentes fuera de la empresa dadas por los cambios en el medio social, filosófico, político e intelectual (cambios en la población, en la percepción, modalidad y significados, nuevos conocimientos científicos y no científicos) [5].

En relación a las fuentes de la innovación, Von Hippel propone la metodología del usuario líder como medio para sacar a la luz oportunidades de desarrollo de productos que no son obvias de inmediato a través de métodos tradicionales. Dicha metodología permite un adecuado pronóstico de las oportunidades de mercado, haciendo uso de la base de conocimientos y experiencia de usuarios principales: aquellas personas o firmas que experimentan necesidades anticipándose al segmento de mercado en el que operan [6].

Haciendo un recorrido por los distintos enfoques sobre procesos de innovación desarrollados durante los últimos veinticinco años se pueden clasificar en cinco generaciones de pensamiento [7]:

La primera, predominante durante los años 50 y 60 en Estados Unidos como legado de la segunda guerra mundial; asume que la innovación es un proceso lineal, comenzando con un descubrimiento científico, pasando a través de la invención, ingeniería y actividades de manufacturas y terminando con la comercialización de un nuevo producto o proceso.

En este modelo no hay formas de retroalimentación, se aplica en industrias basadas en la ciencia y el reto de gestión consiste en la inversión en I+D.

Desde mediados de los 60 un segundo modelo lineal de innovación fue adoptado por los responsables de políticas públicas y directivos industriales en las economías capitalistas avanzadas. Este modelo, demand-pull, invierte los términos del modelo anterior, girando la innovación en torno a las demandas del mercado. Exige que la organización responda, las innovaciones son inducidas

por departamentos que tratan directamente con los clientes, quienes indican problemas con el diseño o sugieren posibles nuevas áreas de investigación y las soluciones a los problemas planteados son dadas por el departamento de investigación. Este enfoque refleja las prácticas corporativas de la época que hizo hincapié en la planificación y la creación de grandes departamentos centralizados de planificación, creyendo ser capaces de predecir las necesidades futuras. En este modelo el desafío consiste en conocer el mercado (patrones de consumo, usuarios, etc.) y la llave del proceso de innovación la constituye la inversión en marketing.

La tercera generación, de comienzos de la década del 80, es una idea de modelo integrado que tiene en cuenta la primera generación, pero también se vincula con las demandas del mercado. Existe una relación de causalidad circular siguiendo un proceso interactivo, secuencial pero no necesariamente continuo. Hay interacción entre las distintas etapas y bucles de retroalimentación. El reto de gestión de este proceso implica importantes inversiones en comunicación organizacional e integración.

La cuarta generación, de mediados de la década del 80, se refiere a un modelo colaborativo o “encadenado” con alto nivel de integración entre diversos elementos de la empresa, que marca una distinción con los modelos anteriores en el sentido de que la secuencia es similar a la tercera generación pero se incorporan algunos dispositivos para facilitar algunos procesos (herramientas tecnológicas y organizacionales—por ejemplo cad/cam) como así también la aparición de nuevos actores en el proceso de innovación: equipos interfuncionales, alianzas de investigación, mercado, clientes y proveedores. De este modo la innovación se convierte en un proceso complejo de interrelación y retroalimentación dentro y fuera de la empresa. Este modelo requiere un amplio compromiso de recursos.

La quinta generación es una suerte de ideal. No existen desarrollos cien por ciento en base a este modelo. Consiste en un proceso guiado por la estrategia de la innovación en donde existen vínculos bidireccionales y un alto nivel de integración organizacional y tecnológica. Idea de modelo fluido: “piense, juegue, haga”. Las actividades de creación de valor de la empresa están vinculadas con proveedores y clientes y todas las actividades tecnológicas se dirigen cada vez más por coherentes y efectivas estrategias de innovación. La

integración estratégica entre las empresas es cada vez más global y se produce a través de áreas tecnológicas, de mercado y financieras. El desafío en este modelo consiste en gestionar altos niveles de riesgo e incertidumbre.

## 2.2. Innovación en Pymes

El debate sobre quien tiene mayores probabilidades de hacer innovaciones se remonta, al menos, hasta Schumpeter, quien fue el primero en señalar que las pequeñas compañías emprendedoras eran las fuentes de la mayoría de las innovaciones. Posteriormente varió su criterio y sugirió que, por varias razones, las grandes compañías con cierto grado de poder monopólico tenían las mayores probabilidades para ser las fuentes de una innovación tecnológica. Afirmó que las grandes compañías tienen la producción y otros activos complementarios que son necesarias para comercializar una invención; poseen las dimensiones en tamaño para explotar las economías de escala que predominan en la investigación y desarrollo; son más diversificadas y, por tanto, están más dispuestas a correr la clase de riesgo que es inherente en proyectos de investigación y desarrollo; tienen mayor acceso al capital que las compañías pequeñas y, como monopolistas, no tienen competidores dispuestos a imitar sus innovaciones y, por consiguiente, su probabilidad de invertir en ellas es mayor [2].

En lo que refiere a las actividades de innovación, un estudio reciente aporta evidencias acerca de cierto aumento de la importancia asignada a las actividades “innovativas” en las Pymes argentinas (implementación de sistemas de calidad, desarrollo y mejora de productos y procesos, cambios organizacionales, nuevas formas de vinculación con el mercado). Se trata en general de actividades de tipo incremental y de alto grado de informalidad, aunque con relativa estabilidad y continuidad de los equipos de trabajo [8].

3. Características y especificidades del sector, la industria de implantes e instrumental para cirugía ortopédica en Argentina

La industria de implantes destinados a cirugía ortopédica y traumatológica opera dentro del sector de insumos y equipamiento médico. Este último comprende la fabricación de productos vinculados a los tratamientos médicos y al cuidado hospitalario, excluyendo a los productos farmacéuticos y de laboratorios.

En el mercado de insumos y equipamiento

médico coexisten una amplia variedad de productos, que pueden ser clasificados según el nivel de tecnología incorporada en:

- Bienes intensivos en tecnología: son producidos por las empresas con mayor capacidad de I+D. Los principales productos son los equipos y accesorios para diagnóstico por imágenes, neonatología, neumología, anestesiología, oxigenoterapia y diagnóstico clínico y diversas clases de implantes.
- Productos de tecnología madura: no necesitan de constante innovación y, por lo tanto, demandan menores niveles de financiamiento orientado a ese tipo de inversiones. Los principales productos de este segmento son las agujas y jeringas, la indumentaria, el mobiliario hospitalario y el equipamiento para pesar y medir.

Las fuentes actuales de información son sumamente limitadas para una evaluación de este sector productivo en el país. La desinformación es importante no solo en los aspectos cuantitativos (montos reales de ventas, inversión en bienes de capital, rentabilidad, integración del capital, etc.), sino también cualitativos (estrategias de desarrollo empresario, planes de desarrollo a largo plazo, actitud para la integración regional, etc.). Los registros cuentan con datos muy globales y su clasificación no permite una identificación del perfil de este sector industrial médico.

El área de salud, al menos en Latinoamérica, ha transitado muy raramente este tema. Las veces que lo hizo, por lo general, fue en relación a la demanda y uso de tecnologías médicas de alta complejidad (ritmo de incorporación de equipos al mercado local, grado y eficiencia en su utilización, etc.), con una ausencia casi total de investigaciones que vinculen los procesos de innovación, producción y comercialización con esta demanda y uso final.

El sector está compuesto mayormente por Pymes de intensidad tecnológica variada. Las empresas nacionales adaptan e incorporan con rapidez las innovaciones de productos, tecnológicas y de diseño, desarrollados por las firmas multinacionales. Ello les permite insertarse en nichos dinámicos del mercado mundial, donde la competencia se determina vía diferenciación de producto y calidad.

Puede afirmarse que se trata de un sector industrial más bien pequeño, muy diversificado por tamaño y rubros de producción y, por ende,

difícilmente cuantificable. Es un sector compuesto por numerosas empresas artesanales, monoproductoras y hasta unipersonales. Como contrapartida, existen otras de mucha mayor envergadura, algunas situadas en forma exclusiva en el campo médico y otras (fundamentalmente en el campo de los insumos) cuya línea principal de fabricación no es médica, si bien producen algunos dispositivos para este último campo.

La línea de productos ofrecida al mercado es muy amplia y heterogénea, lo que es natural ya que se trata de un sector en el cual se incluyen dispositivos para muy distintos usos.

Si bien no es fácil caracterizar este sector a nivel micro, se pueden destacar, sin embargo, algunos aspectos centrales.

En primer término, se puede evaluar esta industria de reciente desarrollo como un sector que crece en respuesta a demandas muy distintas. En algunos rubros existe una demanda estandarizada y sostenida (el caso de algunos equipos, elementos descartables, etc.), pero en otros, por ciertas características artesanales o semiartesanales requeridas por el usuario (algunos elementos de instrumental, prótesis y órtesis), la oferta seguirá dependiendo esencialmente de grupos o preferencias cambiantes.

En segundo lugar, la demanda presenta condiciones de discontinuidad. El volumen de producción depende, con frecuencia, de las ventas realizadas a través de acuerdos bilaterales con el sector externo o de licitaciones provenientes del sector público, dando lugar a una expansión o retracción episódica de la mano de obra.

En tercer término, y de acuerdo con el origen de las empresas, se advierte que algunas de ellas surgen de una necesidad artesanal y continúan en este primer estadio evolutivo, que se puede denominar genéricamente "el taller", por tiempo indefinido. En el extremo opuesto, otras empresas requieren desde su inicio una planta industrial y una inversión de bienes de capital importante con un grado de riesgo empresarial mayor.

En cuarto lugar, es notorio que la industria de equipos y materiales médicos en la Argentina se ha afianzado en buena medida a través de cuatro mecanismos: fabricación basada en la experiencia de mantenimiento de equipos similares importados, copia de productos foráneos, tecnología aportada por profesionales y técnicos extranjeros radicados en el país o de re-radicación de nacionales y diseños y rediseños originados a

partir de la petición de los profesionales usuarios. Enmarcando las características enunciadas precedentemente en el contexto mundial, específicamente en lo que respecta al mercado mundial de implantes destinados a cirugía ortopédica y traumatología; dicho mercado ha experimentado durante los últimos años un fuerte periodo de expansión, ligado en buena medida al desarrollo de nuevos productos y al incremento del gasto sanitario en los principales países desarrollados.

#### 4. Metodología

La metodología aplicada en este trabajo consiste en el análisis de caso. El estudio de casos es una investigación empírica que estudia un fenómeno contemporáneo dentro de su contexto real, en la que los límites entre el fenómeno y el contexto no son claramente visibles, y en la que se utilizan distintas fuentes de evidencia. Su desarrollo puede implicar el uso tanto de datos cualitativos como cuantitativos, por lo que se utiliza una importante variedad de técnicas de recolección de datos, tales como la observación, las entrevistas, los cuestionarios, el análisis de documentos, entre otros. [9].

En este trabajo, se analiza un único caso, una empresa que cumple con los parámetros establecidos en la definición generada, en cuanto a que haya logrado llevar adelante proceso de innovación exitosos, de manera de observar en la misma las acciones relacionadas con los conceptos fundamentales de innovación que se han llevado a cabo para consolidar dicho proceso y de qué forma se ha realizado.

La herramienta de recolección de información consistió en entrevistas semi estructuradas en profundidad, basadas en los lineamientos del marco conceptual establecido. La estructura que guía las entrevistas abarca aspectos de distintas perspectivas teóricas sobre innovación. Se entrevistó al presidente de la empresa, el gerente de recursos humanos y al responsable del departamento de investigación y desarrollo.

Dicha información fue complementada con fuentes secundarias provistas por la página web de la empresa (documentos informativos, catálogos, información general de la empresa).

#### 5. Resultados

##### 5.1. Análisis del caso: características del sector

Teniendo en cuenta el marco conceptual de

innovación y emprendedorismo en ingeniería

Porter comenzaremos por analizar las características del sector en el que actúa la empresa y las relaciones entre los principales actores del mismo, a fin de determinar cuáles son los factores que fomentan o entorpecen la generación de ventajas competitiva y dar cuenta del contexto en que la empresa realiza sus acciones de innovación. [10].

##### (1) Condiciones de los factores

- Desventaja relativa en recursos humanos y recursos de conocimiento: No existe todavía en la nación ninguna carrera universitaria ni curso específico que pueda formar recursos humanos para la fabricación de implantes. Dichos conocimientos se desarrollan a través del aprendizaje y la capacitación a medida, partiendo de una base profesional de recursos humanos diversificada (técnicos, médicos, ingenieros). Los mecanismos creadores de conocimientos lo constituyen algunos organismos de investigación como Invap<sup>1</sup>, Anmat (Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica), Inti e Iram. Sin embargo, los esfuerzos en investigación y desarrollo son muy limitados y aun en aquellos campos donde se encuentra suficiente capacidad innovativa subsiste el problema de la deficiente vinculación entre sectores científicos y empresariales.
- Desventaja en recursos de capital: Las dificultades para conseguir financiamiento en una característica de las pymes en argentina. La empresa ha experimentado dificultades en el acceso a créditos y varios procesos de desarrollo se vieron retrasados por la falta de recursos de capital.

##### (2) Condiciones de la demanda

- Ventaja: La demanda del sector se encuentra en continua expansión debido al creciente aumento del gasto en salud, la ampliación en la cobertura de servicios de los sistemas de salud pública y al incremento en la esperanza de vida. Los clientes entendidos y exigentes presionan a las empresas en relación al mejoramiento de la calidad, características y servicio de los productos. Existe gran cantidad de compradores, la demanda no está concentrada en unos pocos clientes.
- Desventaja: Posicionamiento que poseen

las empresas extranjeras en el mercado nacional. El cliente toma sus decisiones de compra partiendo de la idea instalada en el mercado de que los productos extranjeros son de mayor calidad y confiabilidad.

### (3) Sectores conexos y de apoyo

La nación no cuenta con sectores proveedores o sectores conexos que sean internacionalmente competitivos relacionados con la industria bajo análisis. Argentina no produce la materia prima esencial para la fabricación. En Argentina no hay fundición de acero inoxidable desde que quebró

Aceros Santa Rosa que era el único proveedor. Los metales, principalmente el acero, cromo cobalto y titanio son importados de España, Alemania, Francia y Estados Unidos. Los plásticos especiales son importados desde Inglaterra. Dependiendo de proveedores extranjeros constituye una desventaja en costo, disponibilidad y tiempos de aprovisionamiento.

### (4) Estrategia, estructura y rivalidad de la empresa

1 INVAP es una empresa argentina dedicada al desarrollo de tecnología de avanzada en diversos campos, con una trayectoria de 30 años en el ámbito nacional e internacional. Sus áreas de acción son la nuclear, la espacial, la industrial y el desarrollo de equipamiento médico, y actualmente emplea a más de 600 personas, de las cuales un 80% son profesionales y técnicos altamente especializados.

**Ventaja:** El sector se compone mayormente de empresas pymes de base familiar que cuentan con una estructura flexible y se manejan con alto grado de informalidad. Particularmente, en la empresa bajo análisis se observan diversas fortalezas respecto a las prácticas y enfoques de organización y gestión: trabajo en equipo, capacitación, cultura hacia la calidad y mejora continua, participación en la toma de decisiones, coordinación entre funciones y relaciones fuertes con los clientes.

En lo que respecta a la rivalidad competitiva, es importante mencionar que se trata de un mercado no saturado, en crecimiento y que Argentina es un fuerte consumidor

pero relativamente un débil productor para la satisfacción de la demanda interior. Ello se explica por la baja capacidad de planta del sector para abastecer al mercado interno.

**Desventaja:** Si bien la presencia de varios competidores desleales que no están habilitados ni cumplen con las normas de fabricación no representa una amenaza en cuanto a calidad y diferenciación, sí lo hacen en cuanto a precio de mercado. Por otro lado los competidores internacionales ejercen un poder importante en el mercado nacional debido a la sólida ventaja competitiva por la reputación en la calidad de sus productos. En este marco, la empresa apuesta a penetrar mercados a través de la diferenciación e innovación a través de el desarrollo de productos.

### (5) Casualidad

La empresa experimentó varias crisis que en su mayoría no tuvieron causas vinculadas con cuestiones internas de la empresa. En este sentido las que más impacto provocaron fueron:

- Crisis 2001: el proceso de sustitución de importaciones afectó por el cambio monetario, teniendo que afrontar un aumento del triple en los costos.
- La crisis financiera de 2008 modificó las condiciones de pago de los clientes (principalmente obras sociales) extendiendo sus plazos de manera que afectó el circuito financiero de la empresa, generando dificultades para cumplir con los proveedores y con los sueldos del personal de la empresa. La primera medida tomada fue replantear la estructura comercial y mantener estable la planta de personal. Estas medidas permitieron aumentar la capacidad comercial de la empresa y comenzar una etapa de crecimiento
- Principios de 2009: Como consecuencia de la complicada situación financiera que vivía la empresa, con el objetivo de que la empresa sobreviviera y sin perder de vista que se debía soportar las presiones ejercidas por el gremio; se tomó la medida de suspender el pago de un mes de trabajo a la totalidad de los empleados. La decisión

tomada por parte de los directivos fue comunicada en forma directa con exposición de motivos al personal que supo comprender la situación de la empresa. El entrevistado destaca que este acontecimiento logró unir y fortalecer al grupo de trabajo y compartir un objetivo claro. El segundo punto positivo logrado dentro de esta crisis, tuvo que ver con el diseño y desarrollo de un nuevo producto, una rodilla, que revolucionará el mercado. En este sentido, el contexto de trabajo y las características de la situación en la que se encontraba la empresa motivaron la dedicación a este desarrollo.

- 2010: Otra de las consecuencias negativas generadas por la crisis financiera referida anteriormente, fue la caída de las exportaciones dada la imposibilidad de continuar financiando con cartas de crédito. Las acciones llevadas a cabo para revertir esta situación y retomar las negociaciones internacionales permitieron abrir nuevos mercados y generar nuevos clientes en el exterior. Actualmente la empresa exporta a 22 países.

La empresa afrontó y superó los acontecimientos a través del trabajo constante y de la innovación (diseño y desarrollo de nuevos productos). El presidente manifiesta que no temen a ninguna crisis. Por el contrario, para la empresa toda crisis presenta una oportunidad.

#### (6) Gobierno

La inestabilidad y fragilidad de muchas de las medidas relacionadas con aspectos de carácter económico y financiero (aranceles de importación, regímenes de protección, programas de subsidios a la exportación, incentivos fiscales, crediticios, etc.) condicionan en buen grado la capacidad de desarrollo del sector.

Se necesitan políticas de estado a largo plazo que posibiliten el desarrollo y crecimiento de las industrias de manera sustentable. En el rubro, son precarias las políticas para ayudar a las empresas a seguir creciendo. No hay materia prima en el país y los impuestos son elevados. No hay controles efectivos para evitar la competencia desleal.

## 5.2 Análisis del caso: El proceso de desarrollo de nuevos productos

Analizaremos el proceso de innovación para el desarrollo de nuevos productos (desde la idea hasta la puesta en el mercado) teniendo en cuenta las distintas etapas atravesadas por la empresa, según el siguiente cuadro:

### Etapas acciones

#### 1. Generación de ideas

- Alcance del producto y del mercado y objetivos del producto

- Esfuerzo que se dedicará a desarrollar productos que representen adelantos importantes, a modificar productos existentes y a copiar productos de los competidores

- Fuentes

#### 2. Depuración de ideas

- Examinar las ideas

- Desechar ideas deficientes

- Analizar ideas según distintos criterios: satisfacción de necesidad, valor superior, conocimientos, capital necesario, volumen de ventas, crecimiento de ventas y utilidades esperadas.

Generación de ideas: Antes de analizar las fuentes de ideas para la innovación, es preciso describir algunas características de la empresa que son relevantes en este proceso.

Guiados por su visión de crecimiento y de ser el referente local más confiable para los profesionales y pacientes, garantizando la provisión de productos de calidad internacional; la empresa trabaja con algunos pilares estratégicos claves: calidad, mejora continua e innovación a través del desarrollo de productos a fin alcanzar dichos objetivos.

Los fundadores asumen una responsabilidad personal por la innovación y han fomentado una cultura que anima a buscar formas nuevas de mejorar la producción, los productos y los servicios. Los entrevistados consideran que la clave es el trabajo constante, buscar cosas nuevas, no quedarse quietos.

El rol de los fundadores en la creación de un entorno que impulsa a los gerentes a arriesgarse, participar y crear nuevas oportunidades de crecimiento ha sido fundamental para el logro de los principales desarrollos. Esto es reflejado en la capacidad de gestión de los gerentes y por la capacidad de trabajo desarrollada a lo largo de

ETAPAS	ACCIONES
<b>1. Generación de ideas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alcance del producto y del mercado y objetivos del producto</li> <li>- Esfuerzo que se dedicará a desarrollar productos que representen adelantos importantes, a modificar productos existentes y a copiar productos de los competidores</li> <li>- Fuentes</li> </ul>
<b>2. Depuración de ideas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Examinar las ideas</li> <li>- Desechar ideas deficientes</li> <li>- Analizar ideas según distintos criterios: satisfacción de necesidad, valor superior, conocimientos, capital necesario, volumen de ventas, crecimiento de ventas y utilidades esperadas.</li> </ul>
<b>3. Desarrollo del concepto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Refinar ideas: conceptos de producto.</li> <li>- Determinar usuario del producto, beneficios, momento de consumo.</li> </ul>
<b>4. Desarrollo de estrategia</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Plan estratégico introducción del producto: tamaño del mercado meta, estructura y comportamiento; posicionamiento; y metas en cuanto a ventas, participación de mercado y utilidades en los primeros años. planes en cuanto a precio, distribución y marketing. metas en cuanto a ventas y utilidades a largo plazo y mezcla de marketing.</li> </ul>
<b>5. Análisis de negocio</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Evaluar la propuesta como negocio.</li> <li>- Proyecciones de ventas, costos y utilidades para determinar si satisfacen los objetivos de la empresa.</li> </ul>
<b>6. Desarrollo del producto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El concepto pasa a investigación y desarrollo/ ingeniería para convertirse en un producto físico.</li> <li>- Traducción de la idea en un producto técnica y comercialmente factible.</li> <li>- Decisiones de inversión</li> <li>- Someter los prototipos a pruebas funcionales y pruebas de cliente. Ver su desempeño. Grupo de clientes que usará el prototipo y proporcionará retroalimentación sobre sus experiencias.</li> </ul>
<b>7. Prueba de mercado</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nombre de marca y presentación.</li> <li>- Introducción del producto en una situación auténtica para determinar tamaño del mercado y reacción de los consumidores y distribuidores al manejo, uso y recompra del producto.</li> </ul>
<b>8. Comercialización</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fabricar, construir o alquilar una planta a gran escala.</li> <li>- Publicidad y promoción.</li> <li>- Varias decisiones: <ul style="list-style-type: none"> <li>Cuándo: momento de ingreso al mercado.</li> <li>Dónde: estrategia geográfica.</li> <li>A quién: mercado meta.</li> <li>Cómo: Estrategia introductoria.</li> </ul> </li> </ul>

Cuadro 1. Fuente: Elaboración propia (adaptado) [11].

la historia de la empresa en donde cada persona sabe el rol que debe cumplir y la importancia que representa su trabajo para la empresa.

Partiendo de las políticas mencionadas, existen diversas y variadas fuentes de las que la empresa se nutre a fin de recabar información que dará surgimiento a ideas de desarrollo. Estableciendo una jerarquía entre las fuentes identificadas podríamos mencionar las siguientes: necesidades del mercado, participación en cámaras, trazabilidad, competidores.

#### **a. Necesidades del mercado**

Estas necesidades están representadas por diversos actores y mayormente son recabadas por medio de los vendedores y distribuidores, así como por medio de representantes comerciales de la empresa en el exterior. Estos grupos están expuestos directamente a los clientes y con frecuencia son los primeros en enterarse de adelantos competitivos.

Así, los principales clientes son las fuentes más valiosas de información para la generación de ideas innovadoras. La cartera de clientes de la empresa está compuesta por prepagas, obras sociales, hospitales y pacientes particulares que deciden comprar los productos.

Si bien la fuente de inspiración para pensar nuevos diseños y mejoras de productos son los consumidores finales, es decir los potenciales pacientes, para los que la empresa busca cubrir nuevas patologías y mejorar su calidad de vida; éstos no proporcionan información relevante para estos procesos. Generalmente el consumidor final no tiene mayores conocimientos sobre las características de los productos, su calidad y funcionalidad. En este sentido se limita a confiar en las recomendaciones que su médico cirujano le proporciona sobre los productos que se implantan. De este modo, el rol de los usuarios líderes en este proceso es clave: son los médicos cirujanos que implantan las prótesis los que proporcionan la información más valiosa para el surgimiento de nuevas ideas y mejoras. Ellos son los primeros en detectar oportunidades de mejora y a través de su trabajo y conocimiento tienen la posibilidad de reconocer nuevas necesidades para el mercado.

#### **b. Participación en cámaras industriales y otras instituciones**

La participación del presidente en cámaras industriales y otras instituciones constituye tam-

bién una importante fuente para la innovación. En este sentido el presidente considera que de esa manera se nutre de información del mercado, aprende y adquiere conocimientos de otras personas relacionadas al rubro. El presidente participa activamente en varias instituciones como Iram, Cadiem (Cámara de importadores y exportadores de productos médicos), Asociación de Ortopedia y Traumatología Argentina.

#### **c. Trazabilidad**

La trazabilidad del producto permite obtener información de todos los pasos recorridos por el producto desde el proceso de fabricación hasta después de colocado en el mercado. La principal finalidad está dada por la identificación y control del destino y evolución del producto. Es importante destacar que la empresa tiene especial interés en la sistematización y control rigurosos de este tipo de información ya que la especificidad de la industria lo requiere por tratarse de productos implantados en el cuerpo humano. Para tales fines la empresa obtiene el feedback por medio de su equipo especializado de técnicos quirúrgicos que asisten a las operaciones y regresan con la información (edad del paciente, técnica utilizada, institución, cirujano que intervino, etc.) que luego es cargada en el sistema informático. Estos datos se obtienen para la totalidad de los productos vendidos, aún si se trata de operaciones realizadas en el exterior. Este proceso permite identificar los motivos de posibles fallas en los productos, en su colocación, en la técnica quirúrgica utilizada, entre otros motivos y fundamentalmente constituyen fuentes de mejoras.

#### **d. Competidores**

La competencia está constituida por empresas extranjeras y del interior del país. Entre estas últimas se pueden diferenciar empresas que compiten de igual a igual por calidad y precio y otras que representan una competencia desleal, empresas muy pequeñas que fabrican en talleres domiciliarios sin tener en cuenta ni acatar los estándares internacionales de fabricación.

En este marco, las empresas extranjeras, principalmente de Europa y EEUU, líderes en innovación y desarrollo y pioneras en el rubro, representan un punto de comparación importante brindando información sobre los últimos avances tecnológicos y las tendencias del mer-

cado. Ellas constituyen una fuente de ideas para la innovación de producto y de proceso. En este sentido el entrevistado manifiesta que no copian exactamente los mismos procesos utilizados por sus competidores líderes, sino que basta con saber que se puede realizar de una manera determinada y a partir de allí desarrollan sus propios métodos.

Las publicaciones de los estudios de laboratorio realizados por otras empresas constituyen otra fuente de aprendizaje.

#### **Depuración de ideas y Desarrollo del concepto:**

Estas etapas se dan casi en simultáneo, las ideas se presentan en las reuniones de desarrollo de producto y en algunos casos los vendedores comunican informalmente por anticipado al presidente sobre las mismas. De este modo, las decisiones sobre desarrollo de nuevos productos y mejora de los productos existentes son tomadas mediante reuniones en las que participan el equipo de diseño junto con el equipo comercial y el presidente de la empresa. La empresa posee un fuerte importante en lo estratégico dado por el diseño y desarrollo de nuevos productos y es en esas reuniones en donde se abre paso la creatividad, se vuelcan las ideas sobre la mesa y surgen nuevos diseños. Es entonces en esas reuniones donde se analizan las ideas expuestas teniendo en consideración las principales ventajas que presenta en términos de funcionalidad, beneficios que proporciona, destinatario del producto, diferenciación, novedad, potencialidad de mercado, viabilidad técnica (si la empresa cuenta con los conocimientos, tecnología y capital necesarios), y tiempos estimados de desarrollo.

#### **Desarrollo de la estrategia y análisis del negocio:**

Una vez que se ha refinado el concepto y definidas las alternativas propuestas, el presidente establece reuniones con los gerentes de otras áreas funcionales (finanzas, compras, operaciones, recursos humanos, ventas, planta) a fin de comunicar las propuestas y analizar con más detalle su viabilidad y operacionalización. El entrevistado manifiesta que no se toman decisiones unilaterales, cada gerente plantea problemas y soluciones que se enriquecen mediante la escucha, el debate y la deliberación. A partir de allí comienza la etapa de planificación en base a la identificación de necesidades y confección de presupuestos y se esbozan los primeros planes de

acción en los que se especifican las tareas concretas que se deben llevar a cabo y los responsables de conducirlas para comenzar con el desarrollo.

En esta etapa no se confeccionan planes formales de marketing, las ideas sobre introducción del producto en el mercado, mercado meta, posicionamiento, precio y distribución están implícitas en la definición del concepto. Por el contrario, estas actividades se desarrollan sobre la marcha y generalmente se van desarrollando durante las etapas de prueba de mercado y comercialización.

#### **Desarrollo del producto:**

Confección de prototipos: La empresa cuenta con una cartera de productos muy amplia y variada, posee una familia de casi 1500 productos de los cuales muchos de ellos fueron diseñados y desarrollados por la propia empresa. Si bien el entrevistado manifiesta que el fuerte de la empresa son las prótesis de rodilla, han conseguido desarrollar otros productos como prótesis de codo única en el mundo, un nuevo cotilo no cementado con recubrimiento fibrilar que representa una mejora sustancial con respecto a los cotilos existentes, tutores tubulares, hemosuctores y muchos otros. La mayoría de estos desarrollos constituyen mejoras de productos existentes y representan innovaciones para la industria Argentina y otros como la prótesis de codo representa una innovación para el mundo.

La gran mayoría de los desarrollos se han llevado a cabo dentro de la propia empresa a través de su departamento de investigación y desarrollo, y en otros casos han establecido vínculos con instituciones de investigación a través de la contratación de servicios especializados y alianzas para la innovación. Los tiempos de desarrollo varían en función del producto de que se trate. Muchas veces el proceso se obstaculiza por factores económicos financieros, y tecnológicos. El entrevistado manifiesta que para muchos de ellos han invertido un trabajo constante de entre 4 y 6 años.

Para el caso de los productos desarrollados internamente, la empresa se vale de la experiencia adquirida a través de años de trabajo e investigación propia y los conocimientos desarrollados internamente en estos procesos. En este sentido, el proceso de desarrollo comienza con la intervención de personas clave con años de trayectoria en el rubro y fuertes conocimientos sobre los materiales y productos. Así, el dueño y responsable del departamento de investiga-

ción y desarrollo, un médico que trabaja para la empresa y que posee fuertes conocimientos sobre el funcionamiento del cuerpo humano y el presidente de la empresa son los despliegan su creatividad para materializar la idea.

De este modo el proceso de desarrollo se vuelve casi artesanal, plasmando las ideas a modo de prueba y error y sorteando las dificultades a través de la investigación en fuentes bibliográficas especializadas e internet y adquiriendo conocimientos a través de la capacitación del personal de acuerdo a las necesidades que van surgiendo.

En cuanto a la bibliografía especializada, el presidente se nutre de libros extranjeros (adquiridos en sus viajes, en la ASPM-Órgano certificador de normas americano)

El presidente manifiesta que no existe todavía en el mundo ninguna carrera universitaria específica en estos temas que pueda formar recursos humanos para la fabricación de estos tipos de productos.

De hecho, al igual que en las empresas extranjeras líderes en este rubro, el diseño y la fabricación lo realizan los ingenieros, técnicos metalúrgicos, etc. que utilizan su inventiva y creatividad para diseñar de manera artesanal un nuevo producto, una pieza, etc.

Es por ello que la empresa cuenta con profesionales formados en distintas áreas (ingenieros y técnicos) y busca capacitarlos y especializarlos a medida mediante los cursos existentes relacionados con la actividad. Así, por ejemplo, toman cursos de esterilización, de implantes, de dispositivos médicos, etc., dictados en su mayoría en Iram y Anmat (Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica)

En otros casos, como el desarrollo de una pieza para la pelvis (Cotilo no cementado con recubrimiento fibrilar), la empresa ha establecido vínculos con instituciones de investigación a través de la contratación de servicios especializados y alianzas para la innovación. En un trabajo en conjunto con el INVAP lograron desarrollar GOOD FIBER, asegurando un acetábulo no cementado de mayor durabilidad, resistencia y confiabilidad en respuesta a los desafíos constantes que se presentan, y que requieren de cotilos que garanticen mejor resistencia a los esfuerzos mecánicos a los que está sometido, la correcta inserción del liner al Shell, aumentar el rango de oseointegración en la mayor superficie posible del acetábulo y una mayor biointegración comprobada.

La experiencia de IMECO sumada al aporte de INVAP en el desarrollo del recubrimiento fibrilar ha sido la clave de un logro impensado en la industria Argentina de implantes. La tecnología de punta aplicada en conjunto con innumerables horas de investigación y ensayo dieron como resultado un producto de vanguardia en el mercado local, lo que les ha abierto las puertas y el reconocimiento a nivel mundial.

**Testeo- Pruebas funcionales:** Una vez que están listos los prototipos, se los somete a pruebas funcionales para evaluar cómo se desempeña el producto y obtener retroalimentación acerca de la experiencia. Constituye una de las etapas de mayor inversión en el proceso de innovación.

En esta industria, el desarrollo de productos se realiza a partir de distintos procesos, normas, procedimientos y reglas aprobados, pero cada empresa debe realizar sus propios testeos antes del lanzamiento al mercado.

Generalmente, estas pruebas se realizan a través de estudios clínicos y estudios de laboratorio a través de experimentos con animales.

Los estudios clínicos consisten en implantar el producto en personas (aproximadamente una muestra de 20 personas) y luego realizar un seguimiento y evaluar su evolución. Estos estudios se realizan con menor asiduidad por el alto costo que implican.

Los estudios de laboratorio llevan el mismo procedimiento y generalmente se realizan con cerdos y ovejas.

Para el desarrollo del cotilo no cementado, la empresa ha invertido en tecnología que le permite realizar recubrimiento de plasmaespray, un recubrimiento que en Argentina todavía no existía. La empresa tuvo que afrontar los costos de tener inactivas dichas maquinarias durante cuatro años porque no existe todavía en Argentina una institución (Inti y Conea no poseen las herramientas para el testeo) que realice ensayos sobre desprendimiento de materiales. Como alternativa, la empresa realizó una alianza con el Hospital Fernández para realizar estudios de laboratorio con ovejas. Así, con la participación de reconocidos cirujanos y veterinarios se logró implantar 2 prototipos distintos de cotilos a 30 ovejas. Se dejaron crecer las mismas y luego de un año, se fueron matando a fin de evaluar la oseointegración del cotilo.

Los resultados fueron exitosos y dicho test se publicará y se presentará en la Organización

Mundial de la Salud como antecedente de investigación y desarrollo en la Argentina.

**Prueba de mercado y comercialización:** Las pruebas de mercado se dan junto con la comercialización del nuevo producto. El conocimiento del mercado y del rubro les permite saber que el nuevo desarrollo se venderá. La decisión de la introducción del nuevo producto se realiza luego de haber realizado las distintas pruebas y de haber patentado el desarrollo.

En principio la estrategia introductoria y geográfica del nuevo producto está dirigida al mercado nacional, a través de los canales de distribución con los que la empresa trabaja habitualmente. A medida que van adquiriendo mayores destrezas en la fabricación del nuevo producto y pueden producirlo con mayor eficiencia, menor tiempo y menores costos, se va expandiendo la distribución del producto tanto en mercados nacionales como internacionales. Dependiendo del producto que se trate, esto permite desarrollar nuevos mercados y lograr mayor penetración en mercados existentes. De este modo, cuando se trata de productos existentes que las empresas extranjeras comercializan en nuestro país, la empresa bajo análisis tiene la posibilidad de capturar los clientes de la competencia. En cuanto a la competencia nacional, la empresa corre con ventajas dado que fue la primera en desarrollar varios productos que le permitieron acaparar distribuidores y clientes claves y ganar el liderazgo en reputación.

Las acciones de marketing para dar a conocer los nuevos desarrollos se realizan a través de congresos, muestreo de resultados de laboratorio, publicaciones en revistas médicas, talleres de capacitación a médicos y distribuidores sobre la utilización del producto y a través de líderes de opinión, principalmente desde médicos cirujanos hacia médicos residentes.

## 6. Conclusiones

Si bien la mayor parte de los determinantes estructurales de la ventaja nacional en el sector no presentan características favorables para contribuir a la generación de ventajas competitivas, la empresa ha logrado ser competitiva en su sector y líder en Latinoamérica en la fabricación de implantes.

Ello se explica fundamentalmente por las fortalezas alcanzadas en materia de calidad, inversión tecnológica, mejora continua, enfoque estratégico de diferenciación y desarrollo de capacidades internas que han permitido un crecimiento sostenido mediante el despliegue

de diversos procesos de innovación relacionados con el desarrollo de nuevos productos.

Determinadas desventajas en los factores han estimulado a la empresa a buscar soluciones nuevas, han influido en la estrategia y la innovación, contribuyendo al éxito competitivo continuado. Las desventajas relativas en la condición de los factores que presenta la nación, son superadas gracias a la eficiencia y efectividad con que se despliegan los recursos. Así, la empresa ha hecho énfasis en los factores avanzados (personal altamente especializado, institutos de investigación) para conseguir ventajas competitivas de orden superior, tales como productos diferenciados y tecnología de producción propia.

El potencial de expansión de este sector depende en gran medida de políticas y regulaciones gubernamentales que impacten de manera positiva en el resto de los determinantes de la ventaja competitiva nacional.

Del análisis de las etapas para el desarrollo de nuevos productos, (desde la generación de la idea, hasta la puesta en el mercado), surge que el proceso presenta características de la tercera y la cuarta generación de los procesos de innovación, es decir, una especie de mezcla entre un modelo integrado y colaborativo.

Los procesos de innovación desarrollados por la empresa, mayormente comprenden innovaciones incrementales que se relacionan con mejoras de productos existentes. Existen variadas fuentes de información (necesidades del mercado, competidores, cámaras industriales y otras instituciones, etc.) de las que la empresa se nutre para gatillar los procesos de innovación; pero el rol de los usuarios líderes cumple el papel más importante en la generación de ideas.

Dichos procesos se enmarcan dentro de los modelos estáticos de innovación: Desde el punto de vista de las capacidades técnicas y de mercado, la gran mayoría de los productos desarrollados se identificaron con innovaciones regulares.

Desde el punto de vista de los conceptos centrales del producto y de los vínculos entre éstos y sus componentes, se identificaron innovaciones de tipo arquitecturales.

## 7. Referencias bibliográficas

- [1] EISENHARDT, K. M.; MARTIN, J. A. (2000) "Dynamic capabilities: What are they?", *Strategic Management Journal*, 21(10-11), 1105-1121.

[2] AFUAH, A. (1999). La dinámica de la innovación organizacional. Oxford University Press, México D.F.

[3] FREEMAN, C (1982) "The Economics of Industrial Innovation". Mit Press. Citado en: AFUAH, A.

(1999) La dinámica de la innovación organizacional. Oxford University Press, México D.F

[4] DOSI, G. (1988) "The Nature of the Innovative Process". En: Technical Change And Economic Theory. Pinter Publisher, 221-238

[5] DRUCKER, P. (1991) La innovación y el empresario innovador. Barcelona: Edhasa.

[6] VON HIPPEL, E. (1976) "The dominant role of users in the scientific instrument innovation process". Research Policy, 5: 212-239

[7] DODGSON, A.; GANN, M & SALTER D. (2008) The management of technological. Oxford innovation University Press.

[8] BOSCHERINI F. y YOGUEL G. (1995), "Procesos innovativos en Pymes: algunas reflexiones sobre el caso argentino", mimeo.

[9] YIN, R. (1994) "Case study research. Design and methods". Sage Publications

[10] PORTER, M. (1991). La ventaja competitiva de las naciones. Buenos Aires. Javier Vergara Editor.

[11] KOTLER, P. (2001) Dirección de Marketing, Pearson Educación, México.

Área temática: Gestión de las organizaciones  
Código C-019

