



Rumbos Tecnológicos



**Publicación de la Secretaría de
Ciencia, Tecnología y Posgrado**

Volumen 13 - Octubre 2021

ISSN: 1852-7701



Rumbos Tecnológicos

Publicación de la Secretaría de Ciencia, Tecnología y Posgrado
Volumen 13 - Octubre de 2021



Publicación de la Secretaría de Ciencia, Tecnología y Posgrado

Volumen 13 - Octubre de 2021
ISSN (Versión en línea): 1852-7701
Registro de la Propiedad Intelectual: En trámite.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

RECTOR

Ing. Héctor Eduardo Aiassa

DECANO

Ing. Jorge Omar Del Gener

**SECRETARIO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA
Y POSGRADO**

Mgtr. Ing. Lucas Gabriel Giménez

RUMBOS TECNOLÓGICOS

Director

Mgtr. Ing. Lucas Gabriel Giménez

Coordinación General

Sra. Graciela Armenia Martínez

Comité editorial

Ph.Dr. Roberto Carlos Salvarezza

Ph.Dr. Eduardo N. Dvorkin

Ph. Dra. Leticia Verónica Bentancor

Dr. Hugo Oscar Rolón.

Mgtr. Adriana Beatriz García

Colaboración técnica

Sra. Victoria Senia

Coordinación gráfica y diseño web

Débora Galun

Propietarios

Facultad Regional Avellaneda

Av. Mitre 750 (CP 1870)

Avellaneda

Provincia de Buenos Aires

Argentina

*Toda información, opinión o juicio vertidos en los trabajos publicados en
Rumbos Tecnológicos es responsabilidad de sus autores y no constituye
toma de posición por parte de la Facultad Regional Avellaneda.
Se permite la reproducción parcial de los contenidos de esta
publicación, citando debidamente a las fuentes.*

ÍNDICE

EDITORIAL	VI
Ing. Jorge Omar Del Gener, Decano de la Facultad Regional Avellaneda.	

EDITORIAL	VII
Mgtr. Ing. Lucas Gabriel Giménez, Director de Rumbos Tecnológicos.	

ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

UN ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS MOTIVACIONES PARA IMPLEMENTAR PRÁCTICAS DE CALIDAD EN DISTINTOS TIPOS DE ORGANIZACIONES	1
--	----------

Autores: Javier Meretta; Carlos Gómez.

REFUERZO DE COLUMNAS DE H° A° CON ARMADURA DE ESTRIBOS DEFICIENTE UTILIZANDO PRFC	23
--	-----------

Autores: Viviana C. Rougier; Federico A. González; Miqueas C. Denardi.

BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS CRÓNICAMENTE CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS POR LA CEPA AUTÓCTONA <i>Pseudomonas sp. MT1A3</i>	37
---	-----------

Autores: Debora Conde Molina; Franco Liporace; Carla V. Quevedo.

ESTUDIO COMPARADO DE LOS ESTILOS DE APRENDIZAJE EN ESTUDIANTES DE INGENIERÍA EN CONTEXTO DE VIRTUALIDAD FORZADA POR COVID-19	51
---	-----------

Autores: María Cristina Kanobel; Débora Mirta Chan; Roxana Guadalupe Ramírez.

H2 DENTRO DE SWNTs	67
---------------------------	-----------

Autores: Eduardo Ariel Crespo; Juan Manuel Gonzalez; Eduardo Marcial Bringa.

EVALUACIÓN DE FACTORES DE ÉXITO PARA LA COMPETITIVIDAD DE LAS PyMES DEL SECTOR METALMECANICO DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA	75
--	-----------

Autores: Ariel Miropolsky; Marcelo Tavella; Roxana Manera; Demián Tavella.

REPORTES DE CASO

- ESTUDIO DE LA VIABILIDAD AMBIENTAL, TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL RECICLADO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS EN EL DEPARTAMENTO DE SAN RAFAEL, PROVINCIA DE MENDOZA** 91

Autores: Carlos Llorente; Bruno Romani; María Labanca; Pedro Nuñez; Carlos Ferro; Dardo Gallardo; Marcelo Barros; Cristian Montes; Fabián Yañez.

- FILTRACIÓN DE CONCENTRADOS DE SULFUROS DE COBRE CON FORMACIÓN DE TORTA: DISEÑO EXPERIMENTAL Y OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO** 99

Autores: Facundo Arnaudo; Ana Maria Celeda; Jorge Pablo de Celis.

- ANÁLISIS DE AGLOMERACIONES INDUSTRIALES. CASO DE LOS PARQUES INDUSTRIALES DE LA COSTA DEL RÍO URUGUAY, PROVINCIA DE ENTRE RÍOS** 117

Autores: Rafael Blanc; Daniel Hegglin; Leandro Lepratte; Leonardo Ruhl; Damian Ratto.

NOTAS TÉCNICAS

- DESARROLLO CON FINES DIDÁCTICOS DE LA CAPA DE COMUNICACIÓN, ADQUISICIÓN DE DATOS Y EJECUCIÓN DE COMANDO DE CONTROL DE UNA MICRORRED ELÉCTRICA IMPLEMENTADA CON HARDWARE Y SOFTWARE LIBRE** 137

Autores: Gustavo Real; María Florencia Jauré; Amado Vitali; Gonzalo Ribera.

- CALCULO DE LA TRANSMISION DE CALOR A TRAVES DE CAMARAS DE AIRE NO VENTILADAS EN MUROS DOBLES VERTICALES, UTILIZANDO DOS METODOS DIFERENTES DE CÁLCULO Y FINALMENTE COMPARACION DE ESTOS VALORES CON LA ALTERNATIVA DE COLOCAR EN ESA MISMA CAMARA UN AISLANTE TERMICO DE LANA DE VIDRIO** 155

Autor: Horacio Edmundo López.

ANÁLISIS DEL IMPACTO DEL REEMPLAZO DE EQUIPOS DE COCCIÓN Y CALEFACCIÓN DE GAS NATURAL POR ELECTRODOMÉSTICOS EN UNA RED DE POTENCIA ADAPTADA 167

Autores: Marcos Cea; Ulises Manassero; Pablo Marelli; Diego López1; Irene Steinmann.

ARTÍCULOS DE DIFUSIÓN

LOS CONTRATOS VIALES DE PARTICIPACION PÚBLICO-PRIVADA EN ARGENTINA. ANÁLISIS CRÍTICO DEL MODELO Y DE SU IMPLEMENTACIÓN. COMPARATIVA CON OTROS PAÍSES DE LA REGIÓN Y CON ESPAÑA 193

Autor: Hugo Daniel Bianchetto.

LA FORMACION POR EL ENFOQUE DE COMPETENCIAS EN LA UTN 213

Autor: Eugenio F. Dattilo

EDITORIAL

Ya vislumbrando el camino de salida de este evento que padeció toda la humanidad llamado Pandemia, debemos reflexionar sobre el rol del Estado nacional en la implementación de políticas científicas para el desarrollo del país.

Durante el año que hemos vivido en pandemia, el Estado nacional generó mecanismos de soporte y ayuda económica fortaleciendo grupos de investigación, básicamente en los temas que hacen a la búsqueda de soluciones ingenieriles, sanitarias, biológicas, farmacológicas, etc. Este aporte, concretado a través de llamados a presentación de Proyectos de Innovación Tecnológica promovió, además, la relación universidad-industria. Muchas empresas necesitaron del conocimiento desarrollado en los ámbitos académicos y de investigación, tanto para mejorar su producción como para reconvertirla, adaptándola a las necesidades del momento. Este movimiento del Estado nacional generó y generará nuevas oportunidades, consolidando el desarrollo industrial, relacionando conocimiento con innovación productiva.

Todo este trabajo conjunto de nuestros investigadores, tecnólogos, graduados, en una interacción necesaria, nos permitirá abrir nuevos escenarios de vinculación con el medio productivo nacional, valorando así la importancia económica que tiene el conocimiento científico-tecnológico para el desarrollo del país.

Rumbos Tecnológicos, publicación de la Secretaría de Ciencia, Tecnología y Posgrado aporta, a través de cada uno de los autores, su grano de arena en este proceso, resaltando en esta oportunidad, el valor del ACCESO ABIERTO a la información, universalizando el conocimiento, liberando las fronteras que limitan el crecimiento.

Ing. Jorge Omar Del Gener
Decano
Facultad Regional Avellaneda – UTN

EDITORIAL

Pandemia, según la definición de la Real Academia, “Enfermedad epidémica que se extiende a muchos países o que ataca a casi todos los individuos de una localidad o región.” En Pandemia hemos vivido desde Marzo de 2020. Hoy, gracias al plan de vacunación implementado por el Gobierno Nacional, estamos saliendo de este tiempo inédito para todos.

Mientras tanto, al navegar por el portal web del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Nación, nos recibe con este enunciado: “Financiamos la investigación, proveemos infraestructura, promovemos el vínculo armónico entre los sistemas académico y productivo y divulgamos los conocimientos producidos por el quehacer científico-tecnológico y sus aplicaciones en la sociedad”. Para corroborar esta enunciación, en las páginas de esta web, encontramos la siguiente invitación: “**Elegí tu usuario para navegar por nuestro portal: Curioso, Científico, Emprendedor, Desarrollador informático, Periodista, Gobierno**”. Cada uno de estos usuarios nos brinda información sobre Proyectos, Grupos, Publicaciones, etc. Por ejemplo, hoy el portal informa que son **100,089 las publicaciones de acceso abierto**, disponibles para toda la comunidad científica, tecnológica, para toda la comunidad.

Rumbos Tecnológicos es una publicación de Acceso Abierto a toda la comunidad y brinda un espacio para que el conocimiento sea difundido.

La pandemia no frenó el trabajo de nuestros docentes, de nuestros investigadores, tecnólogos, estudiantes, personal no docente, todos los que han puesto y siguen poniendo su esfuerzo y trabajo para reconstruir los espacios de crecimiento de la sociedad toda.

Mgrt. Lucas Gabriel Giménez
Director Rumbos Tecnológicos
Facultad Regional Avellaneda – UTN

**ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN
CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA**

UN ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS MOTIVACIONES PARA IMPLEMENTAR PRÁCTICAS DE CALIDAD EN DISTINTOS TIPOS DE ORGANIZACIONES

Recibido: 29 de Mayo, 2021 • Aceptado: 04 de Agosto, 2021

Autores:

Javier Meretta* ¹

 <https://orcid.org/0000-0003-3763-0009>

Carlos Gómez ²

 <https://orcid.org/0000-0002-7574-0973>

^{1,2.} Grupo de Investigación en Tecnología de las Organizaciones GITO. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Nicolás. Colón 332. (2900) San Nicolás, Buenos Aires, Argentina.

Contacto:

**Autor a quien la correspondencia debe ser dirigida: jmeretta@frsn.utn.edu.ar*

Roles autorales:

Conceptualización: Javier Meretta, Carlos Gómez.

Curaduría de Datos: Javier Meretta, Carlos Gómez.

Análisis formal: Javier Meretta.

Investigación: Javier Meretta, Carlos Gómez.

Supervisión: Carlos Gómez.

Redacción – Borrador original: Javier Meretta.

Escritura – Revisión y Edición: Javier Meretta, Carlos Gómez.

Cómo citar este artículo:

Meretta, J., Gómez, C. Un estudio comparativo de las motivaciones para implementar prácticas de calidad en distintos tipos de organizaciones. Revista Rumbos Tecnológicos, Volumen 13, 2021, pp. 01-21. Secretaría de Ciencia, Tecnología y Posgrado, Facultad Regional Avellaneda, Universidad Tecnológica Nacional. <http://rumbostecnologicos.utnfrainvestigacionyposgrado.com/tipo-de-articulo/articulos/un-estudio-comparativo-de-las-motivaciones-para-implementar-practicas-de-calidad-en-distintos-tipos-de-organizaciones>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

RESUMEN

El presente trabajo contiene información provisional de una tesis doctoral en desarrollo que estudia el proceso de institucionalización de prácticas de calidad, específicamente la norma ISO 9001 en distintos tipos de organizaciones de la región Económica Local San Nicolás, con el objetivo de facilitar el proceso de implementación de un sistema de gestión de la calidad en las organizaciones y lograr su sustentabilidad en el tiempo. El conjunto de casos presentados está compuesto por una institución de gobierno, una empresa de servicios y una de manufactura.

En el presente artículo se muestra un análisis de los factores que inducen a las organizaciones a incorporar estas prácticas de calidad y la incidencia del ambiente externo en la motivación para hacerlo.

Este contexto o ambiente externo, que rodea a las organizaciones es una combinación de ambientes técnicos e institucionales, donde las características distintivas presentes en estos ambientes, consisten en que los elementos institucionales abarcan a los factores más simbólicos y culturales que afectan a las organizaciones; mientras que los elementos técnicos comprenden a las características más materialistas basadas en recursos.

Palabras Claves: Gestión de calidad, Institucionalismo, Cambio organizacional

ABSTRACT

This work contains partial information on a doctoral thesis that studies the process of institutionalization of quality practices, specifically the ISO 9001 standard in different kind of organization of the San Nicolás Local Economic Region, with the aim of facilitating the process of implementation of a management system quality in organizations and achieve their sustainability over time. The set of cases presented is made up of a government institution, a service company and a manufacturing company.

This article shows an analysis of the factors that induce organizations to incorporate these quality practices and the impact of the external environment on the motivation to do so.

This context or external environment that surrounds organizations is a combination of technical and institutional environments, where the distinctive characteristics present in these environments consist in that the institutional elements encompass the most symbolic and cultural factors that affect organizations; while the technical elements comprise the more materialistic resource-based characteristics.

Key-words: Quality management, Institutionalism, Organizational change

INTRODUCCIÓN

Se utilizan en el presente trabajo algunas bases conceptuales de la teoría y el análisis organizacional, principalmente aquellas perspectivas denominadas institucionales o neoinstitucionales, que brindan algunas herramientas útiles para entender y explicar de manera comparativa como las reformas y los cambios en las organizaciones públicas y privadas son afectadas por diferentes entornos que pueden impulsar y a su vez problematizar la acción organizativa.

Para obtener y presentar la información en este trabajo, se han consultado tanto fuentes secundarias, básicamente acceso a documentación pública, y entrevistas cualitativas a aquellas personas consideradas relevantes como informantes calificados por haber sido partícipes importantes de las experiencias de reforma organizativa aquí descritas. Se ha centrado el relevamiento en identificar a los actores principales de estos casos, intentando exponer en lo posible sus puntos de vista para explicar las tensiones detectadas al analizar toda la información disponible.

El punto de partida ha sido la idea de que ninguna organización es autosuficiente, ya que deben realizar un intercambio con el ambiente en el que se encuentran inmersas, este ambiente está conformado por las organizaciones que actúan en la misma área, que se identifican por la similitud de sus productos o servicios, y por las organizaciones que influyen en su desempeño como proveedores, clientes, reguladores, competidores y fuentes de financiamiento. A su vez el ambiente está compuesto también por el estado, reglas, legislación, tecnología y elementos simbólicos entre otros.

A su vez, estos entornos podrían condicionar la utilización de ciertas prácticas organizativas, luego estos contextos podrían ser significativos para poder explicar la adopción y el grado de implantación de ciertas herramientas de gestión, en este caso particular, las prácticas de calidad.

Siguiendo los señalamientos de Scott (1998) se podrían identificar dos tipos de entornos que condicionan de alguna forma a las organizaciones: entornos de naturaleza técnica y entornos de naturaleza institucional. Cómo estos entornos influyen sobre las organizaciones y las variaciones que se producen en la adopción de prácticas de calidad, constituyen elementos importantes para entender como éstas son incorporadas en las organizaciones.

Tradicionalmente los enfoques más habituales acerca de la influencia del entorno sobre las organizaciones sostenían que estas eran afectadas en dos aspectos centrales: por sus posibilidades para acceder a un stock de recursos o en su defecto por sus posibilidades de acceso a información, entendidos ambos factores como dos "recursos" que generan un importante foco de dependencia para las organizaciones. Si bien este planteo es real en tanto que ilustra claramente la dependencia y la incertidumbre que pueden generar las dificultades de acceso a estos recursos claves, no explica de manera totalmente consistente como el entorno condiciona las decisiones de innovación e incorporación de prácticas organizativas.

En otro plano de análisis diferente pero cercano para explicar el problema, las escuelas sociológicas más recientes, los antropólogos y los psicólogos cognitivos han reparado especialmente en los factores cognitivos y culturales que condicionan las acciones de las organizaciones. Este reconocimiento de diferentes elementos que constituyen el denominado ambiente organizacional, permitió de alguna manera ampliar el marco de conocimiento sobre las organizaciones superando la un tanto restringida idea de considerarlos sistemas exclusivamente técnicos, para verlos también como sistemas humanos, políticos, sociales, y culturales, por lo tanto el impulso o el fracaso de determinadas prácticas tiene determinantes no exclusivamente técnicos, entendido el sentido

de “técnico” en términos amplios, como todos los aspectos del medio que son potencialmente relevantes para la fijación y el logro de metas, pero normalmente se restringen a las fuentes de insumos, los mercados de productos y los competidores. Los directivos son identificados como las personas responsables de lograr un adecuado aprovisionamiento de recursos en un mercado, diseñar sistemas eficientes de organización del trabajo, y coordinar y controlar actividades técnicas, afectadas fundamentalmente por las regulaciones y la competencia, por lo tanto, son imperativos de naturaleza técnica los que mueven e impulsan a los decisores de las organizaciones.

Estos puntos de vista no son muy habituales en los trabajos de ingeniería industrial, centradas habitualmente en los problemas eminentemente técnicos y endógenos que se producen al incorporar las prácticas y su implementación en las organizaciones, por lo tanto, este trabajo pretende cubrir un aspecto poco tratado en nuestra disciplina, habitualmente acostumbrada a tratar la implementación de prácticas de calidad como un problema de naturaleza básicamente técnica a resolver.

DESARROLLO

En anteriores proyectos de investigación se han relevado diferentes casos de implementación de prácticas de calidad, las diferencias en la intensidad de su implementación, consistencia, y persistencia en el tiempo, sugirieron que no solo son condicionantes de naturaleza técnica los que inciden en la utilización de estas herramientas de gestión; esta intuición es la que ha llevado a los autores a la certidumbre de que una adecuada presentación y selección de casos de investigación debían contemplar los diferentes entornos en que estas empresas se desempeñan, ponderando por lo tanto las características de cada uno de estos casos con su contexto específico.

Desde la perspectiva de la teoría de la organización se ha hecho referencia al concepto de “campo organizacional” (Di Maggio and Powell, 1983) para demarcar al conjunto o a la comunidad de empresas u organizaciones que comparten un sistema de significados similar e interactúan habitualmente con más frecuencia entre sí, constituyendo de alguna forma un conjunto de jugadores críticos que comparten actividades y prácticas que son consideradas apropiadas para un mejor desempeño entre los actores de un conjunto o sector de organizaciones relevantes.

El ambiente técnico, es aquel donde se produce e intercambia un producto o servicio en un mercado, siendo las organizaciones recompensadas al presentar un control efectivo de sus sistemas de producción, constituyendo un ambiente altamente competitivo.

En el ambiente institucional se reconoce que en cierta medida las organizaciones son moldeadas por marcos políticos y legales, por las reglas de mercado y un sistema general de creencias. Se puede afirmar que las pautas culturales adquieren valor en ambientes institucionales bajo la idea de que las organizaciones cuentan con patrones y reglas institucionalizadas, que son el resultado de los grupos profesionales, el estado y la opinión pública tomando la forma de mitos racionales. El aporte más significativo de esta teoría consiste en reconocer, que las organizaciones no son solo sistemas técnicos sino también sistemas humanos, políticos, culturales y sociales; considerando que ambos ambientes deben coexistir ya que las consideraciones técnicas dependen de arreglos institucionales.

La coexistencia de estos ambientes sugiere que en el trabajo empírico no se encontrarán organizaciones en un ambiente puro sino en una mezcla de ambos con un posible predominio de un ambiente sobre otro.

Es necesario aquí introducir algunos conceptos. Una institución es un concepto central en sociología del cual existen muchas definiciones, pero al que no estamos acostumbrados en el campo de la ingeniería, donde se asocia el concepto de institución a un organismo, público o privado, el cual desempeña una labor cultural, científica, política o social. En sociología el término representa a un procedimiento organizado y establecido que frecuentemente representa las reglas que componen la sociedad; como afirma Jepperson (1991), una institución representa un orden social o patrón que ha alcanzado un cierto estado o propiedad y revela un particular proceso de reproducción. Por otro lado, Barley y Tolbert (1997) definen a las instituciones como reglas compartidas que identifican las categorías de actores sociales y sus actividades y relaciones apropiadas.

Se puede mencionar en este punto una definición más reciente de institución como la de Zilber (2002), quien expresa que las instituciones son procedimientos, prácticas y significados compartidos que las acompañan, promulgados y percibidos por los miembros de la organización.

Entendemos entonces por institución a una especie de convención que sirve de punto de referencia y conduce a las personas a pensar y actuar de forma determinada; a modelos o patrones de acción, dados por supuestos dentro de un campo organizacional. Para el presente trabajo, un sistema de gestión de la calidad constituye una institución que ha sido difundida en el campo organizacional de la región y presenta una particularidad local en cuanto la alta cantidad de empresas que cuentan con un sistema de esta naturaleza.

Esta definición de institución adoptada puede reforzarse con la idea planteada por Scott (1994), quien afirma que las instituciones son “normas culturales” que proporcionan recursos y valores compartidos a las actividades; son unos sistemas simbólicos, que constituyen formas de ordenar la realidad. Este autor describe a estas instituciones como patrones de comportamiento que pueden ser reforzados por procesos reguladores de tipo formal o informal como sanciones o castigos.

Es necesario para el análisis, introducir el concepto de legitimidad, incorporado por Meyer y Rowan (1977) y central en la teoría institucional. El mismo implica la conformidad de la organización a las prácticas y reglas institucionalizadas con el objetivo de incrementar sus posibilidades de supervivencia y éxito, independientemente de la eficacia y eficiencia de estas prácticas. El rol central de este concepto radica en que las organizaciones necesitan ser aceptadas y recibir apoyo social en sus campos organizacionales y este se obtendrá como resultado de la congruencia entre la organización y su entorno. Una organización legítima será aquella cuyos valores y acciones están apareados con los valores sociales de su entorno y lo que este espera de ella (Galaskiewicz & Wasserman, 1989); es decir las organizaciones actúan de determinada forma porque es lo que su entorno espera de ellas, es hacer lo correcto o socialmente aceptado. De esta forma, las organizaciones ganan legitimidad incorporando prácticas, técnicas, procesos o valores difundidos en su campo organizacional. Meyer y Rowan (1977) concluyen que la legitimidad es lo que conduce a la adopción de políticas o estructuras; por otro lado, Scott (1995) la define como la condición que refleja el alineamiento social.

En base a lo antedicho se ha buscado comprender las motivaciones de las organizaciones en estudio, comprendidas por una institución de gobierno, una empresa de servicios y una de manufactura, para incorporar prácticas de calidad.

METODOLOGÍA

Para el estudio se ha optado por una metodología cualitativa como es el estudio de casos múltiples, metodología ésta que presenta muchas posibilidades a la ingeniería industrial (Meretta, Gómez, 2018); siendo el instrumento de recolección de datos la entrevista en profundidad.

La complejidad hace a un objeto apropiado para ser estudiado con métodos cualitativos (Rut Vieytes, 2009), un objeto es complejo porque se presenta en un ambiente de turbulencia, desequilibrio e imprevisibilidad y por estar en proceso de transformación súbita, constituido por elementos aleatorios, cambios de decisión, interacciones y retroacciones. De acuerdo a la autora captar en alguna medida la complejidad subjetiva del proceso es un desafío que se enfrenta de manera privilegiada con la investigación cualitativa; mencionando entre los ejemplos posibles, a los procesos de cambio organizacional.

El estudio de caso consiste en la exploración profunda y pormenorizada de un fenómeno contemporáneo en su contexto real de existencia (Yin R., 1994). Los interrogantes del tipo ¿Qué?, ¿Cómo? y ¿Por qué? Encuentran en esta metodología la herramienta apropiada para su satisfacción, siendo las respuestas a los mismos las teorías fundadas en los datos de casos que el investigador elabora. No son estas teorías generalizables ni tampoco es ésta la pretensión del investigador. En cuanto a lo metodológico, el caso puede ser construido por el investigador en función de los datos que surgen de la misma investigación, o también puede ser derivado de constructos teóricos que aparecen en el estudio de acontecimientos similares. Así las unidades de análisis pueden ser organizaciones de carácter público o privadas, tipos de sujetos, documentos o el proceso de certificación ISO 9001 de una organización (Rut Vieytes, 2009).

De acuerdo con Marradi et al. (2010) el conjunto de los casos seleccionados no es considerado como una muestra estadística representativa de una población de donde se infieren generalizaciones. Por el contrario, cada caso es estudiado y comprendido en su especificidad para luego proceder a la comparación entre ellos, dando lugar a la comprensión de una clase mayor de casos. La búsqueda no se orienta solo a las características que tienen en común sino también hacia sus diferencias.

De acuerdo con la perspectiva teórica y los objetivos de la investigación, la unidad de análisis serán las pequeñas y medianas organizaciones de la región denominada como Área Económica Local San Nicolás. No se tienen en cuenta para el estudio las dos grandes corporaciones que rigen el mercado laboral y de bienes de la región (Acindar y Siderar). La característica común es la de tener implementado un sistema de gestión de calidad con la norma ISO 9001 que debe ser formal, es decir que está certificado y con al menos tres años de haberlo obtenido.

Nuevamente de acuerdo con Marradi et al. (2010) la selección del caso nunca se realiza por azar como en los métodos estadísticos, el proceso de selección está basado en criterios teóricos, en experiencias de observación y en las expectativas depositadas en la unidad seleccionada, en términos de su potencialidad para proveer una base empírica relevante para la interpretación y comprensión del fenómeno estudiado. Además de la posibilidad de maximizar lo que potencialmente cada caso pudiera aportar, debíamos tener en cuenta su accesibilidad (Stake, 1995), algo corroborado en el transcurso de anteriores investigaciones: no todas las organizaciones están dispuestas a colaborar con la investigación.

Para obtener y presentar la información, se ha recurrido a fuentes secundarias, básicamente acceso a documentación pública, entrevistas a aquellas personas consideradas relevantes como

informantes calificados por haber sido participes importantes de la experiencia de reforma organizativa que aquí se estudia. En el presente trabajo se seleccionaron casos representativos de los cuadrantes límites planteados por Scott, primero la prevalencia del ambiente institucional por sobre el técnico y segundo la prevalencia del ambiente técnico por sobre el institucional.

Para el predominio del ambiente institucional por sobre el ambiente técnico se ha seleccionado a un organismo de la administración pública: el Honorable Concejo Deliberante de la ciudad de San Nicolás de los Arroyos, de aquí en más HCD. Este organismo constituye una experiencia pionera en la implementación de prácticas de calidad iniciada en el año 2001 y extendida hasta la actualidad, con el reconocimiento de haber sido el segundo concejo deliberante del país en obtener la certificación ISO 9001.

Para el predominio del ambiente técnico por sobre el institucional se han seleccionado dos empresas, una de manufactura y otra de servicios. En proyectos anteriores se han notado ciertas diferencias en la aplicación de herramientas de calidad, entre empresas de manufactura y de servicios, razón por la cual se ha decidido incorporar ambas opciones en este estudio de mayor complejidad.

La entrevista semi estructurada ha permitido desarrollar una conversación entre entrevistado y entrevistador para obtener información relevante para el estudio. Estos encuentros se llevaron a cabo, con alguna excepción, en los lugares habituales de trabajo, lo que ha permitido observar las características propias del entorno laboral. Por otra parte, la guía elaborada para la entrevista ha suministrado áreas temáticas e interrogantes que han servido de directriz para la misma y ha contenido algunas preguntas y un listado de control de temas a abordar. El objetivo principal de la guía ha sido el de asegurar que la misma información básica fuese obtenida de todos los entrevistados.

ANÁLISIS DE LOS CASOS

Predominio de Ambiente Institucional: El Honorable Concejo Deliberante de la ciudad de San Nicolas.

El HCD representaba un caso muy interesante para estudiar, una organización pública con certificación de calidad, la única en la región y el segundo Concejo Deliberante del país en obtener el certificado.

El HCD si bien constituye el poder legislativo en la ciudad, comparte edificio con el poder ejecutivo, es decir la Municipalidad de San Nicolás. Esta relación de proximidad es muy estrecha, los miembros del personal son empleados municipales y además de la oficina de recursos humanos, se comparte el área de hacienda para compras y contrataciones, entre otras dependencias.

La entrevista se realizó con el responsable del sistema de gestión de la calidad, en adelante RC, en su oficina y en su horario habitual de trabajo; fue grabada y luego transcrita.

Su percepción de la calidad en el HCD era más bien técnica, asociada al concepto de trazabilidad, haciendo referencia a una necesidad de orden interno:

“...antes se buscaba un documento y andábamos con un cuadernito, y el que se olvidaba anotar en el cuadernito lo perdía directamente. Desde que se implementó hay diferentes formas de registrar y llevar un documento, que ahora no se pierde, si no lo encontramos en un lado va a saltar en otro.”

RC manifestaba una clara necesidad de orden y una búsqueda de eficiencia, en sus palabras de personal técnico – burocrático alejado de las decisiones y especulaciones propias de la política,

esta eficiencia llegaba de la mano de la mejora de los procesos:

“Por un lado fue el tema de los registros, por otro lado, era especificar los puestos del personal, armar un organigrama que no teníamos, o sea éramos todos polifuncional acá adentro. Un día estábamos acá un día estábamos allá, yo estuve en sistemas, estuve en mesa de entrada, digamos por todos lados.

Con el manual de calidad vino el organigrama y las funciones específicas de cada uno. Y los perfiles de puestos con las misiones y funciones, entonces cada cual supo lo que tenía que hacer.”

Las manifestaciones de RC hacían referencia a un tema de gran importancia para el personal. Los empleados del HCD eran una docena de personas de los cuales muy pocos tenían una función estable, la mayoría rotaba por distintos puestos y funciones, en un lugar donde no estaban definidos los perfiles de puesto ni las funciones; y no estaban claros los límites de las responsabilidades. Este esquema de trabajo se complicaba aún más ante una característica particular del cuerpo legislativo, cada dos años se renuevan autoridades. Como en cualquier organismo público sometido a cambios periódicos de autoridades, que no necesariamente son del mismo signo político o incluso de la misma línea dentro de un partido político, los empleados están expuestos a cambios producto de favoritismos, del albedrío de las autoridades y a presuntas ideas “innovadoras” de quienes asumen los cargos directivos. El sistema de gestión de la calidad aportó un orden interno que era no solo necesario para el funcionamiento del organismo sino para la convivencia del personal. Con funciones específicas y jerarquías establecidas en la división del trabajo, quedaron establecidos los límites de responsabilidades individuales con una clara mejora del clima laboral.

El entrevistado, desde su función técnica, hacía alusión a la transparencia adquirida con el nuevo sistema y buscada por la ciudadanía:

“La imagen también, incluso al principio medio que se deformó el tema, porque cuando uno habla de concejo deliberante todos nos acordamos de los concejales, normalmente no nos acordamos bien, esa es la verdad...”

“...si mejoró bastante, incluso también el acceso a la información se mejoró muchísimo, desde que implementamos la página web, que eso tampoco estaba en ese entonces o había una muy vieja que quería iniciarse, hoy por hoy, termina la sesión y en quince minutos está el audio de toda la sesión en la web para escucharlo en la casa si uno quiere.”

La percepción acerca del sistema de gestión de la calidad de RC era eminentemente técnica, enunciaba mejoras obtenidas que seguramente eran necesidades latentes de la organización que fueron satisfechas. Estas necesidades de eficiencia pueden haber constituido presiones del ambiente técnico, aunque RC manifestó no conocer los motivos que llevaron a las autoridades del momento a implementar calidad en el HCD, recordaba historias que le habían contado sus compañeros de trabajo sobre aquella época. El color de algunas de esas historias nos motivó a indagar un poco más y realizamos una visita a la hemeroteca del Museo de la Casa del Acuerdo de San Nicolás de los Arroyos; en el lugar pudimos recorrer los diarios de aquellos años.

Conocíamos algunas historias que se asemejaban a mitos urbanos, que relataban el momento particular que se vivía en la ciudad y en la municipalidad, cuando se originó la idea de implementar dichas prácticas de calidad. Estas historias eran contadas como anécdotas entre los empleados de mayor antigüedad que habían vivido la crisis institucional y económica del año 2001. Crisis que tuvo un impacto muy acentuado en la ciudad de San Nicolás. Muchos meses antes de que se produzca el estallido social del mes de diciembre que terminara con la presidencia de Fernando de la Rúa, la ciudad estaba sumida en una profunda crisis económica y de empleo nunca vista con

anterioridad.

El sector siderometalúrgico estaba sumido en una recesión que llevaba algo más de tres años y las portadas y notas del diario El Norte, el diario de la ciudad, relataban un panorama social muy complejo. El 22 de septiembre de 2001, el diario detallaba un 39% de desocupación y subocupación en la ciudad, el número más alto de la provincia de Buenos Aires, seguido por Mar del Plata, Tandil y luego el Conurbano. En este contexto se producían reclamos frente a los supermercados donde los manifestantes pedían bolsones de alimentos, que terminaban en violentos enfrentamientos con la policía.

En este contexto se producen las elecciones legislativas, donde gana la oposición en la ciudad mediante un poco disimulado “voto bronca”. El 30 de noviembre asumen las nuevas autoridades del Honorable Concejo Deliberante (HCD). El clima de tensión no cesa, y el 22 de abril el Movimiento de Desocupados toma la Oficina Municipal de Desarrollo Sustentable que se encontraba a escasos metros del palacio municipal, el histórico edificio donde funciona la municipalidad y el Concejo Deliberante.

Algunos días después, el 26 de abril, el Movimiento de Desocupados toma el palacio municipal. Ingresaron con mujeres y niños que acamparon en las galerías del edificio y en algunas oficinas. La toma duró ocho días y generó gran cantidad de anécdotas entre los empleados municipales, quienes tuvieron que convivir en sus labores cotidianas con los eventuales ocupantes del edificio que vivían en condiciones de indigencia. La historia de mayor color y que forma parte del folclore municipal, cuenta que los ocupantes se comieron los peces de la pileta del jardín japonés que estaba en el patio del palacio.

El Movimiento desocupó el palacio municipal luego de tensas negociaciones con el ejecutivo, que fueron moderadas por las autoridades del HCD con mayor trayectoria y experiencia política que el intendente y su gabinete. Al momento de entrevistarlo, quien fuera presidente del HCD expresaba que debían ayudar a la gente que lo necesitaba y al intendente a terminar su mandato por el bien de la ciudad y de sus habitantes, veían una elección accesible y para ser el próximo gobierno debían terminar este en tiempo y forma. En el mes de junio se efectivizó el primer cobro de planes Jefes de Hogar en San Nicolás con 11.000 beneficiarios. En este contexto de crisis institucional, ¡¡¡recordada época del “que se vayan todos!!!”, las autoridades del HCD deciden incorporar un sistema de gestión de la calidad.

Luego de recorrer los diarios de la época y recordando las charlas informales con algunos empleados del HCD, se decidió entrevistar a quien fuera en ese momento el presidente del HCD y promotor de la idea de incorporar esta innovación en el organismo. En la entrevista el expresidente no solo brindó detalles de esos momentos, sino que aportó documentación en papel y audios.

La decisión de implementar un sistema de gestión de calidad, de acuerdo a sus declaraciones y lo reflejado en los documentos analizados, han sido originadas en la interpretación de los reclamos populares, es decir ciertas presiones por parte de los ciudadanos para obtener de las entidades públicas una mayor cantidad y variación de prestaciones, bienes y servicios públicos; las demandas de la sociedad en esos momentos no eran solo de eficiencia sino de transparencia. El famoso grito: “que se vayan todos!!!” que estaba presente en plazas y manifestaciones, revelaba una bronca contenida contra las instituciones, las cuales habían caído en un profundo descreimiento. Para superar la conflictividad y el deterioro de la imagen social de las instituciones públicas se había supuesto una reorientación de la gestión pública a través de la adopción de una filosofía de gestión orientada al ciudadano, que pasaba a ser considerado como usuario activo y no como un

mero receptor de los servicios públicos. Así las autoridades del HCD declaraban en el año 2003 (Informe de Gestión del HCD 2001- 2003) en relación con la pérdida de confianza en la institución:

“...Tiempos estos en los cuales un creciente desencanto parece minar la creencia popular en las virtudes de las instituciones de la democracia”

Es en este difícil contexto donde las autoridades deciden incorporar una lógica de modernización y mejora de la gestión pública, sustentada en la aplicación de prácticas de gestión de calidad. Esta idea fue asumida por muchos gobiernos locales en los años sucesivos, con la intención declarada de mejorar sus procedimientos de trabajo y la calidad de los servicios públicos, y así poder lograr una imagen de eficiencia y transparencia en la gestión.

Una particularidad relevante del caso que analizamos es que supone un precedente en la implementación de nuevas prácticas de gestión impulsadas por actores institucionales no tradicionales, ya que son pocos los casos en que se pueden registrar, al menos en la Argentina, de intervenciones directas de empresas privadas orientadas a modificar sistemas de gestión en organizaciones públicas. En el caso que describimos la empresa multinacional Techint de origen argentino, cumplió un papel activo por medio de la fundación Sophia, organización con fuertes vínculos con esta empresa y con otras del mercado argentino. Es en el contexto descripto, en el cual las autoridades de una organización con fuerte impronta política como el Honorable Concejo Deliberante (HCD), desbordados por lo que percibían como una pérdida de legitimidad y debilidad política, deciden recurrir al grupo Techint para implementar cambios que suponían podrían hacerle recuperar credibilidad social. A su vez el grupo empresarial encontraba una oportunidad para una acción social y política que podría ser percibida como una forma de colaboración con las instituciones y la sociedad en tiempos de crisis. Así se instrumentó un paquete de ayuda económica que la organización Techint, a través de Siderar, empresa radicada en la zona y principal motor de la economía de la región; daba al gobierno local, encomendando entonces el proyecto de reforma administrativa a la consultora denominada Grupo Sophia.

Así en algunos extractos de los considerandos del acuerdo firmado el 11 de diciembre del 2006 por decreto 76/06 entre el HCD y el grupo Sophia se declara lo siguiente:

“Que los cambios generados en la sociedad argentina en el último quinquenio, como consecuencia de la carencia material y la falta de contención social, desembocaron en un lógico y masivo descreimiento de las instituciones”.....“Que la necesidad de estar –y mantenerse- a la altura de las nuevas demandas sociales para con el gobierno municipal, obligan a continuar con la modernización del Honorable Concejo Deliberante.”

“Que es en este contexto que el objetivo del proyecto de reforma y modernización del Honorable Cuerpo, en dirección a su fortalecimiento institucional, es gestionar con calidad, desarrollar la habilidad de acercarse más a la comunidad, mejorar su capacidad de gestión legislativa y brindar al mismo tiempo la mayor transparencia” “Que es un objetivo compartido por el personal administrativo, funcionarios y concejales, el lograr el fortalecimiento institucional del Honorable Concejo Deliberante de San Nicolás de los Arroyos; con los ejes estratégicos de calidad, participación y transparencia, que se impuso a si mismo al sancionar su “Política de Calidad”, en el marco del proceso de certificación de su “Sistema de Gestión de la Calidad”, bajo las Normas ISO 9000 que está en trámite actualmente”.

“Que, en esa dirección, la empresa Ternium Siderar –que financiara el “Proyecto de Modernización” llevado a cabo en los años 2002 y 2003- entendió que el mismo debía ser llevado a cabo por la misma consultora que actuó en aquella oportunidad; es decir, por la Fundación Grupo Sophia”

Entonces, en este contexto de fuerte crisis de legitimidad institucional, descreimiento popular en los partidos políticos y sus representantes que ambos actores, privado y público, comienzan a trabajar en un proyecto de certificación de calidad bajo normas ISO en el HCD de la ciudad de San Nicolás de los Arroyos. Esta certificación tiene por objeto consolidar un sistema de gestión por procesos, salvaguardándolo de los avatares que los sucesivos cambios de conducción en la institución pudieran provocar. Por lo tanto, supone un intento de separar la gestión de los “avatares” de la política con un sentido de permanencia en el tiempo. Como explica el entrevistado:

“...la decisión fue en realidad fortalecer la gestión del gobierno, que en ese momento se veía en una posición bastante endeble, se necesitaba de la salvaguarda institucional y la organización Techint vio que era una manera de aportar a la sociedad una forma de garantizar el trabajo interno y externo.”

Parece bastante clara la necesidad de las autoridades del HCD de buscar legitimidad a través de la incorporación de nuevas prácticas de gestión, centradas en la incorporación de un ideario de “calidad, participación y transparencia” de doble vía, ya que quizá son tan importantes o más que las prácticas que se pretenden incorporar, quienes son sus impulsores y ejecutores, en este caso la empresa Techint y el grupo Sophia. Del texto del acuerdo se desprende que las autoridades políticas necesitaban “otra institución” con credibilidad social que pueda hacerse cargo de la implementación para dotarla de soporte y credibilidad, y estas instituciones eran las óptimas.

Se recurre una vez más a la literatura para comprender esta dualidad técnico institucional. Un autor particularmente pertinente para explicar algunas de las tensiones surgidas en estas experiencias es Philip Selznick (1957), quien explica que la acción simbólica, útil para definir los propósitos y para dotar de significado a la vida organizativa, influye sobre la función de la organización. La tarea de definir valores y propósitos, mientras simultáneamente se atienden imperativos técnicos, es quizá uno de los desafíos más importantes para las organizaciones, sobre todo en escenarios complejos con valores conflictivos. Así, todas las organizaciones formales son moldeadas e influidas por fuerzas tangenciales a su estructura racionalmente ordenada, y a sus objetivos declarados. Como consecuencia de ello, una organización puede ser vista como una estructura adaptativa frente a los problemas que surgen en su entorno institucional. Por lo tanto, Selznick destaca por una parte, la inherente tensión entre los aspectos políticos, culturales y de valores de la vida organizativa, a los que etiqueta bajo el concepto de “institucionales”, y por otro, a aquellos de naturaleza más específicamente “técnica” donde se impone la racionalidad y la eficiencia.

Parece claro que las decisiones de los responsables del legislativo recogidas de manera textual en el Informe de Gestión 2001-2005, reflejan de manera compleja las presiones de naturaleza institucional más caras a las perspectivas de Selznick, en el cual se articulan de manera simultánea ciertas determinaciones de naturaleza técnica (apelaciones a la eficiencia):

“...una creciente y justificada insatisfacción social ha comenzado a cuestionar abierta o solapadamente (las instituciones) y a asociarlas a la ineficiencia cuando no a la corrupción”

De naturaleza cultural y valorativa (un cierto orden moral e integridad insoslayable) que obligaría a las instituciones a actuar en respuesta a las demandas:

“...dando testimonio permanente y constante de trabajo fecundo, responsabilidad en la gestión y transparencia en cada uno de sus actos, protagonismo y compromiso”

Y por último de naturaleza política (necesidades de supervivencia política actuando estratégicamente), como expresaba un concejal del equipo de gobierno elegido en el mismo informe de gestión citado anteriormente:

“...no reconocerlo (la pérdida de legitimidad) claramente desde la política nos acercaría al autis-

mo o lo que es peor aún, a la estupidez...”

En el análisis de la información recogida resultaba claro que las presiones institucionales ejercidas por la ciudadanía sobre el HCD, habían sido la principal motivación para buscar legitimidad mediante la implementación de un sistema de gestión de la calidad; consecuentemente con la idea de que la incorporación de elementos institucionalizados protege a la organización de que se dude de su conducta (Scott y Lyman, 1968), luego la organización se hace legítima y usa tal legitimidad para fortalecer su apoyo y asegurar su supervivencia.

Por otro lado, se podría afirmar entonces que las organizaciones que omiten elementos de estructura legitimados ambientalmente son más vulnerables a acusaciones de negligencia, de ser irracionales o peor aún innecesarias; cosa que las autoridades del HCD querían evitar.

Predominio de Ambiente Técnico: Empresas del sector manufacturero y de servicios

Luego de la experiencia en el sector público, con claro predominio del ambiente institucional, se comenzó a trabajar en las entrevistas en una empresa de manufactura y otra de servicios, donde la competencia por los recursos y los elementos técnicos ejercían un predominio por sobre el ambiente institucional.

Transitada la experiencia en el sector público, donde las presiones institucionales son muy fuertes y son ejercidas por la ciudadanía, los medios de comunicación y otras instituciones como las cámaras empresariales, sindicatos, partidos políticos, etc. En esta oportunidad se trabajaría con empresas inmersas en un ambiente predominantemente técnico, donde las presiones serían ejercidas por otras organizaciones y estarían mayormente centradas en los recursos. La idea de eficiencia y competitividad surgía como un elemento central. Calidad y competitividad se encuentran íntimamente relacionadas al punto tal, que parece ser la primera un requisito indispensable para obtener la segunda.

La relación entre la gestión de la calidad y la competitividad en las organizaciones ha motivado importantes trabajos de investigación. Se puede mencionar la sugerencia de que la habilidad de desarrollar diferentes ventajas competitivas se puede alcanzar a través del desarrollo de una infraestructura de prácticas basadas en el diseño, el control y la mejora continua de procesos para producir productos de alta calidad (Schroeder y Flynn, 2001). Para una implementación exitosa de un sistema de gestión de la calidad se deben incorporar en la organización, algunas prácticas de la gestión de calidad tales como: el enfoque al cliente, el enfoque a procesos, el compromiso de la alta dirección, el involucramiento de los actores de la cadena de suministros, etc., (Flynn et al., 1995). Vale aclarar que estas prácticas pueden estar comprendidas dentro de un sistema de gestión de la calidad bajo la Norma ISO 9001. Por otro lado, estas prácticas están asociadas a ventajas competitivas como, por ejemplo: reducción de costos de manufactura, flexibilidad a cambios en la mezcla de productos, flexibilidad ante cambios de volumen de producción, etc.; estos sumados a los ya mencionados aumentos de la cuota de mercado, velocidad en el lanzamiento de nuevos productos, etc.

Con estos conceptos surgidos del análisis de la literatura se dio inicio al trabajo de campo en empresas inmersas en un entorno técnico. La primera entrevista se llevó a cabo en una organización manufacturera.

La empresa de manufactura

La empresa de manufactura seleccionada tiene una larga trayectoria en el mercado de algo más

de 50 años, abastece a empresas proveedoras de la industria automotriz y de máquinas para el agro, y consumidores de acero en general. La producción de la firma, de acuerdo a sus descripciones, consiste en el aplanado y corte a medida de laminados planos de acero, el conformado de tubos con costura, la fabricación de perfiles conformados en frío y la comercialización de productos siderúrgicos varios.

La empresa ha atravesado un proceso de transformación mediante el cual ha pasado de ser una pequeña empresa familiar a ser una PyME profesionalizada, en este proceso de cambio ha incorporado a la calidad como elemento fundamental para diferenciarse de la competencia y acceder a proveedores altamente exigentes. El proceso de crecimiento se ve plasmado también en su estructura física con una amplia y moderna planta en uno de los accesos a la ciudad.

La empresa ofrece productos en el mercado interno y externo, brindando una amplia gama de servicios. Entregas programadas just in time, asesoramiento sobre usos y calidades del acero, entre otros. La página web de la firma expresa sus objetivos de elaborar productos de alta calidad, lograr eficiencia en el abastecimiento y mantener la capacidad operativa respetando su Política de Calidad.

Se realizó una entrevista con el jefe de calidad de la empresa; JC de aquí en más, estaba a cargo de todas las actividades de planificación del sistema de gestión de calidad y tenía, además, una pequeña unidad técnica que cumplía la función de asistir técnicamente al área. Paralelamente, fuera del organigrama formal de la empresa, era el representante de la dirección en el sistema de gestión de la calidad. Tenía una antigüedad de 15 años en la organización, coincidiendo su incorporación a la misma desde el establecimiento de esta planta en la ciudad de San Nicolás; es decir en pleno proceso de expansión y transformación, pasando de una pequeña empresa a una PyME profesionalizada.

En sus orígenes esta empresa familiar funcionaba realizando compra y venta de chapa, experimentaron con recuperación de metales, fabricación de arandelas y actividades similares; luego en la década de 1990 en una coyuntura económica que favorecía la importación, se incorporaron máquinas y bienes para formar una estructura moderna de producción.

La idea de incorporar un sistema de gestión de la calidad surge como una exigencia del mercado, una clara alusión a la presión ejercida por el entorno técnico de la organización, que le permitiría satisfacer la demanda de grandes clientes como las empresas fabricantes de auto partes y de maquinaria agrícola. Así lo manifestaba JC:

“Cuando empezamos a trabajar con el tema de calidad, se entendía como una necesidad debida a que en aquel momento el mercado exigía en gran medida eso. Nosotros teníamos la expectativa en ese momento de abastecer empresas tales como las automotrices, agropartistas, o sea, apuntamos a ese mercado en aquel momento, con este equipamiento tan moderno”.

La búsqueda de eficiencia fue un gran impulsor del cambio, una primera etapa donde la empresa incorporó equipamiento moderno y contrató a una consultora que la asesore en este proceso de cambio de empresa familiar a empresa profesionalizada.

La competencia con otras empresas, que tenían acceso a los mismos recursos, exigía una diferenciación que la empresa buscó en primer lugar a través de la incorporación de equipamiento moderno, es decir, a través de la calidad del producto, y en segunda instancia a través de la implementación de un sistema de gestión de la calidad. Las presiones de tipo técnico son exógenas, queda expuesta la necesidad de diferenciarse de la competencia en un mercado altamente exigente:

“En la primera etapa había una necesidad de diferenciarse de la competencia y después de llegar a proveedores que se sabía que eran altamente exigentes”.

En las palabras de JC surgen las referencias a la búsqueda de eficiencia relacionada a la incorporación de nuevo equipamiento tecnológico:

“...Cuando se decide levantar esta planta, se hizo con el convencimiento que el disponer de un equipamiento principalmente de última generación, iba a permitir diferenciarnos claramente de la competencia y ganar mercado con calidad”.

En el caso de esta empresa de manufactura la competencia con otras empresas no se manifiesta en la puja por materias primas ya que el proveedor puede satisfacer las demandas y la calidad de esta es igual para todos; la rivalidad se presenta en el mercado comprador, donde las empresas compiten por los clientes. A igualdad de recursos materiales, la diferenciación se produce a través de la calidad de los productos elaborados, luego un moderno equipamiento tecnológico puede establecer una ventaja competitiva. En este sentido la idea de calidad en la organización estaba orientada a la calidad del producto.

“... en algún momento se pensó en la calidad como fruto más bien de un equipamiento moderno, no tanto de una gestión”.

En esta etapa el sistema de gestión de la calidad era considerado en la organización como un elemento secundario, era necesario contar con él para satisfacer las presiones institucionales del entorno. Así entendido, el sistema de gestión de la calidad otorgaba legitimidad frente a grandes clientes que exigían una certificación de calidad:

“... entonces se tomó de alguna manera la gestión de calidad como un complemento necesario porque el cliente lo pedía, porque se sabía que, si había que ir a una automotriz, había que tener certificado; si había que ir a alguna empresa como una agropartista de aquellos momentos como puede ser Mainero, como puede ser Vassalli en aquel momento, había que tener certificado”.

La tensión existente entre las presiones técnicas e institucionales se hacen visibles en una relación entre la necesidad de certificar como elemento de legitimidad, y la necesidad de eficiencia para ser competitivos, esta situación llega a un punto de inflexión en la crisis del año 2001. En este momento se presentan en la empresa dos situaciones de gran importancia, por un lado, una caída muy acentuada en las ventas, como manifiesta JC:

“... la empresa de alguna manera tuvo que rediseñarse en sí misma para enfrentar una situación de crisis. De vender como se vendía en el año '98, 220.000 toneladas en un año, tuvimos que pasar a vender en el año 2001 creo que fueron en total 90 o 95 toneladas, una cosa muy abrupta”.

Por otro lado, la incorporación en forma activa de las nuevas generaciones de la familia propietaria de la firma:

“El directorio está conformado por un presidente, que es una persona de mi edad, de mi generación y otros dos directores, uno que está avocado a todo lo que es la parte administrativa contable, específicamente recursos humanos y otro que está avocado a la parte comercial. Ya a esta altura, en el directorio se fueron sumando a estas tres personas que son todas contemporáneas, de mi generación; se fueron sumando sus hijos”.

Un comentario aparte merece la incorporación de la segunda generación de la familia, lo cual no es un dato menor, un proceso sucesorio es generalmente un gran problema en las empresas familiares; la incorporación de las nuevas generaciones que suelen tener nuevas ideas innovadoras, puede ser un elemento disruptivo en la empresa. En este caso los hijos tuvieron la libertad para expresar sus ideas. Las nuevas incorporaciones aportaron una visión:

“... uno de ellos se puso a investigar un poco sobre la norma ISO, se interesó un poco por los cambios, los motivos de los cambios, el hecho de que se pregonara en la norma el enfoque al cliente, la búsqueda de la mejora continua y la superación, y bueno lo discutieron internamente y dijeron “esto es lo que queremos””.

La percepción acerca de la calidad de este nuevo miembro del directorio, constituyó el principal impulso endógeno para la implementación de un sistema de gestión de la calidad. La comprensión, en un contexto de crisis, de la coincidencia entre los valores que pregonaban en la organización y los principios de calidad, rectores de la Norma ISO 9001, fue lo que indujo a los miembros de la junta a adoptar a la gestión de la calidad como elemento distintivo. Esto representaba un claro avance de la calidad de producto a un concepto mucho más amplio, la gestión de la calidad.

Luego, mientras la crisis producía importantes cambios estructurales en la empresa, cambios significativos y necesarios:

“La crisis del 2001 significó la pérdida de una importante cantidad de puestos de trabajo, se hizo necesario todo un repaso de los procedimientos porque estaban siguiendo una mecánica de trabajo que ya no existía porque hubo funciones que desaparecieron, hubo que reordenar tareas...”

Desde la alta dirección el mensaje contenía conceptos de competitividad fuertemente asociados a la gestión de calidad: enfoque al cliente, reducción de costos, y una búsqueda de mejora no solo asociada al producto:

“...Entonces el mensaje fue empezar a trabajar con calidad y utilizar el sistema para atender al cliente, diferenciarnos de la competencia, mejorar costos, buscar la mejora; eso fue un poco el mensaje del director”.

Se presentaba en este momento una situación particular, la motivación para implementar un sistema de gestión de la calidad que inicialmente respondía a presiones de tipo técnico asociadas a la competitividad, y presiones de tipo institucional asociadas a cuestiones de legitimidad, ambas de tipo exógeno; encuentra un fuerte estímulo endógeno sustentado en la comprensión por parte de la dirección de la empresa de las ventajas que otorgaba el sistema. Así la gestión de la calidad se tornó en un baluarte de la organización en búsqueda de diferenciación.

“... estas son las palabras que yo escuché, me las dijo el mismo director comercial: “Cuando esto pase, nosotros queremos estar preparados y ser los primeros en arrancar””.

La visión estratégica de la organización consistió en estar preparados para el momento de salida de la crisis y obtener una mejor posición en un mercado altamente competitivo, la gestión de calidad se convirtió en un elemento estratégico en la organización.

La empresa de servicios

La empresa, una organización de servicios de mediano tamaño, fue pensada y diseñada para brindar soluciones técnicas a grandes empresas. Ubicada dentro del Parque Industrial COMIRSA, se especializa en desarrollos técnicos que pertenecen a la cadena de valor en el área de movimiento de materiales dentro de empresas de grandes dimensiones, en atención a las necesidades de desarrollos técnicos personalizados o servicios temporarios en los mercados Mineros, Industrial, Portuarios, entre otros, prestando servicio de “Outsourcing In-Company” tales como: movimentación general y calificada, alquiler de maquinarias con y sin chofer, mecánica especializada, capacitaciones y reingeniería de “Lay in – Lay out” entre otros.

La organización responde a todos los criterios fundamentales que determinan un ambiente predominantemente técnico: se desarrolla en un ambiente competitivo, fuertemente técnico, con una

marcada dependencia de recursos y fuerte control técnico de sus procesos, buscando ganar y mantener una posición consolidada en el mercado. Esta idea se expresa claramente en la misión de la empresa, explicitada en su página web:

“Nos proponemos brindar un servicio profesional dedicado a atender las necesidades de grandes empresas en Movimentación Outsourcing In – Company. Ofrecer la más alta calidad de prestación en asesoramiento y alquiler de equipos moto-móviles con y sin chofer para el traslado de material pesado y manipuleo de materias primas e insumos”.

La empresa tiene su origen durante el proceso de privatización de la Sociedad Mixta Siderúrgica Argentina (SOMISA), que fue una empresa siderúrgica estatal argentina creada en 1947 tras la aprobación del Plan Siderúrgico Nacional, impulsado por el General Manuel Savio. La empresa, privatizada en 1991 en un complejo proceso, fue adquirida en un 80% por un grupo económico y el 20% restante pasó a manos de los trabajadores mediante el denominado “Programa de Propiedad Participada” (PPP); este constituyó un elemento primordial para conseguir el acompañamiento del proceso de privatización por parte de los sindicatos (Zaiat, 2011). Los nuevos propietarios realizaron un plan de tercerización de tareas donde el sindicato también intervendría. Muchas actividades fueron concesionadas a nuevas empresas formadas por los mismos trabajadores que venían desarrollando esos trabajos. Así surge esta empresa de servicios que con el transcurso del tiempo se afianzó y consolidó en pocos socios de los originales, el control de las operaciones.

Se entrevistó al director de la firma, DS de aquí en más. La implementación de un sistema de gestión de la calidad en la empresa era para él una cuestión lógica. Su experiencia y formación le indicaban que la eficiencia estaba asociada a la calidad del servicio, y esta calidad debía estar asociada a un sistema de gestión. Pragmático, DS afirmaba:

“Entonces me financié la capacitación para dirección de empresas, fui accediendo y fui viendo. La primera experiencia que me quedó es que tenes que tener un sistema para todo...”

De las palabras del director surgía claramente la idea de un impulso de eficiencia como motor de la implementación del sistema de gestión de la calidad, el predominio de las presiones técnicas de búsqueda de eficiencia se hacía evidente en las acciones llevadas a cabo para adecuar la estructura de la empresa desde su nacimiento. El entrevistado, ideólogo de la implementación de calidad en la organización, había creado, según sus expresiones, a la empresa en base a un sistema de gestión de calidad:

“La gestión de la empresa yo traté de centralizarla a través del sistema de gestión de calidad, o sea, la descripción de puestos, procedimientos, los métodos y todo está sustentado en la pirámide de calidad.”

La descripción de puestos de trabajo fue un primer paso en la recopilación de los requisitos y calificaciones necesarias en el personal para el cumplimiento de las tareas, junto al manual de procedimientos constituirían un gran paso en una pequeña organización en busca de competitividad. No es habitual encontrar estos elementos en una pequeña empresa. La gestión de la calidad en la organización era una decisión estratégica:

“La misma pirámide de sistema de gestión de calidad empieza con la política, los procedimientos generales, los procedimientos específicos y todo lo que sea la parte documental o registros, de la misma manera que está implementado el sistema de gestión de calidad...”

De esta forma la idea de eficiencia de la organización estaba basada en el sistema de gestión de calidad, una denominada eficiencia técnica de la organización planteada convencionalmente como fuente de éxito y supervivencia. Esta idea, está en línea con los conceptos de Meyer y Rowan (1991) que las organizaciones que incorporan elementos socialmente legitimados y racionalizados

en sus estructuras formales maximizan su legitimidad y aumentan sus recursos y capacidad de supervivencia. Cómo si los hubiera leído, DS unía su experiencia con la teoría:

“El sistema devuelve cosas para la competitividad de la empresa, para transformar en eficiencia y eficacia para que la empresa pueda seguir viviendo.”

Las presiones institucionales también se encontraban en las palabras del director, como se ha mencionado las grandes organizaciones exigían la certificación de calidad. Las presiones de los clientes para obtener la certificación son evidentes en un sistema de calificación de proveedores que permite a los estamentos más altos del ranking acceder a mejores contratos; aún así el director consideraba que las posibilidades de éxito serían mayores si el sistema de gestión de calidad era comprendido en la organización, razón por la cual se tomaron el tiempo necesario:

“Se empieza a hablar de calidad desde el primer día. Desde el diseño, en el '96. Y recién certificamos 8 años después. Pero como siempre trabajé en industrias que le dan mucha importancia a la certificación, como viste en toda la historia de clientes, siempre estuve seducido por certificar antes, pero hasta no estar bien seguro de que funcionaba en todos los estamentos de la empresa, prefería estar como un proveedor 'B' que tiene sistema de calidad, pero no está certificado, a estar certificado y que realmente el sistema no fuera sustentable.”

La tensión entre lo institucional y lo técnico, expresada en la visión del gerente de la empresa, se manifestaba por un lado en la necesidad de certificar calidad para conseguir mejores contratos en base a un sistema de calificación de proveedores (presiones de tipo institucional):

“Entonces cuando ahora Siderar nos dice algo, sacamos los papeles. Es decir, valoran el sistema de gestión, eso es fundamental.”

Por otro lado, quien califica también exige un bajo precio (presiones de tipo técnico):

“... en definitiva aparte de todo, el sistema de gestión es muy bueno pero no es el negocio. Nadie te va a contratar porque vos tengas calidad o tengas unos procedimientos hermosos y los chicos no se accidenten. A la larga o la corta, te contratan por pesos. Nadie te contrata si sos un 5% más caro. O sea que aparte de todo tiene que traducirse en el precio.”

“Uno de los grandes problemas del argentino es que te contratan por el precio”.

La comprensión de esta dualidad resulta fundamental para cualquier organización. En primer lugar, se podría plantear desde los aspectos institucionales, que la incorporación de elementos institucionalizados protege a la organización de que se dude de su conducta, luego la organización se hace legítima y usa tal legitimidad para fortalecer su apoyo y asegurar su supervivencia. Podría pensarse en este marco, que las organizaciones que no implementan un sistema de gestión de calidad podrían ser consideradas negligentes por parte de algunas facciones gerenciales, proveedores, clientes, etc. El costo de ilegitimidad en términos de pérdidas de contratos, ventas o disminución de la categoría de proveedor se torna muy real, en palabras de DS:

“...estar como un proveedor 'B' que tiene sistema de calidad pero no está certificado.”

Por otro lado, puede suceder que las organizaciones no perciban los beneficios de carácter técnico que brinda la norma. Se puede plantear aquí, lo que Boiral y Roy (2007), plantean como una paradoja de la certificación de calidad, donde la presión externa para adoptar el estándar de calidad no está emparejada con la intensidad de las motivaciones internas para lograrlo. Esto ocurre cuando las presiones de clientes para obtener la certificación no van acompañadas de una búsqueda de eficiencia asociada a la gestión de la calidad en términos internos de la empresa.

En este sentido, si las presiones institucionales son muy fuertes pueden convertirse en la principal motivación para implementar un sistema de gestión de la calidad certificado, dejando de lado el genuino impulso de eficiencia de las organizaciones. Esta forma de incorporación de prácticas

de calidad conlleva a una aplicación ceremonial y sin sustancia de estas prácticas que terminan siendo laxas en su funcionamiento. De esta forma se desaprovechan los potenciales beneficios del sistema, en este caso la certificación podría pasar a ser un fin en sí mismo en lugar de ser una herramienta de la gerencia para promover prácticas de calidad.

En el caso de la empresa de servicios el director manifestaba conocer el impacto del sistema de gestión en la competitividad de la organización:

“Inclusive después, viene la parte linda del sistema de gestión de calidad cuando vos lo vivenciás unos cuantos años y empezás a tener datos estadísticos donde vos podés conocer consumos específicos, podés evaluar máquinas, podés conocer lo que surge de haber tenido esa trazabilidad, esos sistemas de gestión donde todos esos registros que vos tomás, los ponés en un sistema y los podés ir realimentando”.

En este caso la búsqueda de eficiencia emparejaba a la búsqueda de legitimidad, respondiendo a las presiones institucionales para su implementación:

“... el sistema de gestión de calidad tiene que pasar a ser el idioma de la empresa o sino no es nada, no sirve, es como la chapita de IRAM que colgás en la pared y decís que es calidad, pero en realidad gastás un montón de plata y no te sirve en absoluto”.

El director se refería con estas palabras a aquellas organizaciones donde el sistema de gestión se aplica en forma ceremonial, pero no está incorporado en la vida cotidiana de la organización. Este tipo de aplicación lleva a la coexistencia de dos sistemas en paralelo: uno real, que responde a la forma habitual de hacer las cosas y otro ceremonial que se ajusta para las auditorías. Este doble trabajo resulta estresante y desalentador para quienes deben realizarlo y muy perjudicial para la organización, esto el director lo sabía y utilizó un ejemplo para graficar la situación:

“Una empresa puede tener una contabilidad ordenada si tiene una sola contabilidad, últimamente hay un error: una empresa tiene una contabilidad para el banco, otra contabilidad interna, y así”.

La referencia a la aplicación ceremonial de la gestión de calidad era clara, en otros proyectos de investigación, muchos habían manifestado que el trabajo para mantener el sistema funcionando era mucho, o significaba un costo elevado para la organización. Nuestro entrevistado resumió en pocas palabras la idea de que una innovación de esta magnitud en una organización no producía cambios muy bruscos:

“Lo que pasa es que, si vos lo hacías para cumplir una formalidad, era mucho. Ahora, si vos lo vivís, no es mucho”.

A esta altura quedaba claro que la principal motivación para implementar un sistema de gestión de la calidad era de tipo endógena, la búsqueda de eficiencia y competitividad y en menor medida el cumplimiento de presiones institucionales para adoptar el estándar.

CONCLUSIONES

La experiencia recogida en estas tres organizaciones confirmaba lo visto en la literatura, había una coexistencia de presiones, o fuerzas, de tipos técnicos e institucionales.

La idea surgida de los planteos de Selznick (1949), donde afirmaba que la visión del sociólogo Max Weber de las organizaciones como sistemas técnicos racionales estaba incompleta, e incorpora la idea de que las organizaciones son también un sistema institucional donde los valores, los sistemas sociales, las jerarquías y las normas informales emergen dentro de la organización.

Tal como afirma la literatura, en estas empresas relevadas al igual que en grandes empresas ins-

titucionalizadas, ciertos procesos técnicos deben desarrollarse en la forma esperada, las máquinas deben funcionar correctamente, los tiempos de producción y despacho deben ser respetados, los costos deben estar dentro de los parámetros establecidos, etc. En forma simultánea tienen lugar los procesos institucionales como las preocupaciones relativas a la imagen de la organización, intereses de distintos grupos de presión, los intereses personales, ciertas estructuras de poder informal, los intereses comunes de la organización, etc.

En esta tensión constante, los encargados de tomar decisiones lo harán algunas veces basados en elementos racionales eminentemente técnicos, mientras que en otras oportunidades lo harán fundados en elementos institucionales, pudiendo afectar a la estructura racional o incluso establecer normas y procedimientos. Algunas de estas normas o procedimientos pueden afectar a la cultura y la estructura de la organización, llegando en algunos casos a causar ciertas molestias, pero ser realizadas sin mayores protestas.

Se ha mencionado que las presiones institucionales pueden forzar a que los decisores de la organización adopten acciones simbólicas para definir el propósito de ésta, darle significado a la vida organizacional, y de esta forma se influencia notoriamente al funcionamiento técnico de la organización.

En este sentido se podría pensar como una acción simbólica a la búsqueda de legitimidad mediante la incorporación del estándar de calidad en una organización. En el caso del HCD la búsqueda de legitimidad política a través de la implementación de un sistema de gestión de la calidad, constituyó una acción simbólica que pretendía mejorar la imagen del cuerpo ante la ciudadanía, imagen asociada a la transparencia, honestidad y credibilidad. Al mismo tiempo, la incorporación de la gestión de la calidad tuvo, al menos en la percepción de los responsables, un impacto en la estructura técnica haciendo más eficientes algunos procesos.

La acción simbólica en las empresas analizadas también se encuentra presente como una búsqueda de legitimidad. En estos casos las presiones institucionales para tener un sistema de gestión de la calidad certificado han llevado a los decisores a implementarlo porque hacerlo era lo correcto. Las pérdidas de credibilidad o de imagen, complementadas con pérdidas monetarias reales para las empresas, asociadas a mejores contratos, han sido una gran motivación para hacerlo. Las tensiones entre las fuerzas institucionales y las técnicas han estado presentes en todo momento, en mayor o menor medida. Ambas organizaciones han reconocido la existencia de estas presiones y la necesidad de contar con la certificación de calidad para satisfacerlas.

Se ha revisado y acordado, con el planteo que afirma que las estructuras organizacionales buscan adaptarse, guiadas no solamente por los requerimientos de un medio ambiente económico o técnico, sino por aquellos establecidos por un contexto institucional del que se derivan presiones. Estas presiones institucionales, manifiestas en diferentes grados en las expresiones de los entrevistados, y ejercidas por las grandes organizaciones motoras de la economía de la región sobre sus proveedores para adoptar el estándar ISO, podrían constituirse en un efecto de coerción que se convierta en la principal motivación para implementar un sistema de gestión de la calidad certificado, dejando de lado el genuino impulso de eficiencia de las organizaciones.

Estos requerimientos pueden no cuadrar con las necesidades internas, la cultura, el estilo de gerenciamiento o el tamaño de las organizaciones, dando lugar a la adopción de la ISO 9001 como una especie de moda gerencial basada en la retórica más que en la internalización de nuevas prácticas (Abrahamson, 1991). Esta forma de incorporación de prácticas de calidad conlleva a una aplicación ceremonial y sin sustancia de las mismas que terminan siendo laxas en su funciona-

miento. De esta forma se desaprovechan los potenciales beneficios internos del sistema, en este caso la certificación podría pasar a ser un fin en sí mismo en lugar de ser una valiosa herramienta. En los casos estudiados, esta aplicación ceremonial de la gestión de calidad parece haber estado presente, en cierta forma, desde las primeras etapas de su implementación en el HCD; aquí las mejoras en los procesos asociadas a la calidad, no han podido equiparar al costo político de perder la certificación, constituyéndose este último en el principal sostén del sistema.

Por otra parte, en los casos correspondientes a las empresas, este fenómeno no ha sido observado, ya sea desde el principio como en la empresa de servicios o en etapas más avanzadas como en la empresa de manufactura, los beneficios internos del sistema de gestión de la calidad asociados a la eficiencia han estado presentes.

Con respecto a las presiones del ambiente técnico, las dos empresas relevadas han estado en la búsqueda permanente de eficiencia, en la empresa de manufactura la búsqueda de competitividad fue originalmente de tipo técnico, a través de equipamiento moderno y posteriormente mediante la incorporación del ideario de calidad, con mejora continua y luego la gestión de calidad.

En la empresa de servicios, esta búsqueda de competitividad ha estado desde el inicio asociada a la gestión de la calidad, si bien ha existido una presión del cliente para adoptar un sistema de gestión de la calidad, ha sido el convencimiento del director de la empresa, en base a su experiencia personal, el principal impulso. En ambos casos se ha notado un cierto equilibrio entre las presiones institucionales y las presiones técnicas al adoptar un sistema de gestión de la calidad.

Se podría afirmar que el sistema de gestión de la calidad ha sido el factor de equilibrio entre las presiones del ambiente técnico y las presiones del ambiente institucional. Ambas empresas han reconocido recibir presiones institucionales para adoptar un estándar certificado como la norma ISO 9001, al hacerlo han obtenido la legitimidad buscada. Al mismo tiempo la implementación de un sistema de gestión de la calidad como acción simbólica, ha influenciado fuertemente el funcionamiento técnico de la empresa otorgándole una mayor eficiencia y mejorando su competitividad.

REFERENCIAS

DI MAGGIO and POWELL. 1983. The Iron Cage Revisited: Institutional Isomorphism and Collective Rationality in Organizational Fields. *American Sociological Review* Vol. 48, No. 2

BARLEY, S. R., & TOLBERT, P. S. (1997). Institutionalization and Structuration: Studying the Link between Action and Institution. *Organization Studies*, 18, 93-117.

BOIRAL, O.; ROY, M.J.; 2007. "ISO 9000: Integration Rationales and Organizational impacts". *International Journal of Operations & Production Management*. Vol. 27 N° 2 pp. 226-247.

FLYNN B., SCHROEDER R., SAKAKIBARA S. (1995) "The Impact of Quality Management Practices on Performance and Competitive Advantage" *Decision Sciences* Vol 26, N°5 pps 659-691.

Galaskiewicz, J., & Wasserman, S. 1989. Mimetic and normative processes within an interorganizational field: An empirical test. *Administrative Science Quarterly*, 34: 454-479.

Honorable Concejo Deliberante (HCD) de San Nicolás, (2005). Informe de Gestión 2001-2005.

JEPPEPERSON, R. (1991). "Institutions, institutional effects and institutionalism" *The new institutionalism in organizational analysis*, 1991. 6: p. 143-163.

MARRADIA, ARCHENTI N, PIOVANI J.; (2010). "Metodología de las ciencias sociales". Buenos Aires, Cengage Learning.

MERETTA, J. GÓMEZ, C. (2018). "Pertinencia de la metodología cualitativa en los estudios de gestión de la calidad". *Memorias del XI Congreso Argentino de Ingeniería Industrial COINI 2018*. Mendoza, Argentina. Pps 117 – 125. ISBN 978-987-4998-05-7

MEYER, J. W., & ROWAN, B. 1977. Institutionalized organizations: Formal structure as myth and ceremony. *American Journal of Sociology*, 83: 340-363.

MEYER, J. W., & ROWAN, B. (1991). Institutionalized organizations: formal structure as myth and ceremony. In P. J. DiMaggio, & W. W. (Eds.), *The new institutionalism in organizational analysis* (pp. 41–62). Chicago: The University of Chicago Press.

SCOTT, W. 1998. Organizations: Rational, Natural and Open Systems. *Canadian Journal of Sociology / Cahiers canadiens de sociologie* • January 1998.

SCOTT, M. AND LYMAN, M. (1968) "Accounts". *American Sociological Review*. Vol. 33, No. 1 , pp. 46-62.

SCOTT, W. R., & MEYER, J. W. (Eds.). 1994. *Institutional environments and organizations*. Thousand Oaks, CA: Sage.

SCHROEDER R., FLYNN B. (2001) "High Performance Manufacturing : Global Perspectives". *Wiley Operations Management Series for Professionals*. Wiley & Sons, Incorporated, John.

SELZNICK, P. 1949. *TVA and the grass roots; a study in the sociology of formal organization*. Berkeley, CA: Univ. of California Press.

STAKE, R. (1995). *The art of case study research*. Thousand Oaks, CA: Sage.

VIEYTES, R. (2009) "Campos de aplicación y decisiones de diseño en la investigación cualitativa; Investigación cualitativa en ciencias sociales, temas, problemas y aplicaciones". Buenos Aires. Cengage Learning.

YIN, R. (1994). "Case study research design and methods". Sage publications T. Oaks CA.

ZAIAT, A. (24/04/2011) "El grupoT" *Diario Página 12* <https://www.pagina12.com.ar/imprimir/diario/economia/2-166915-2011-04-24.html>

ZILBER, T. B. (2002) "Institutionalization as an interplay between actions, meanings and actors: the case of a rape crisis center in Israel". *Academy of Management Journal*, Vol. 45, N°1, pp. 234-254.

REFUERZO DE COLUMNAS DE H° A° CON ARMADURA DE ESTRIBOS DEFICIENTE UTILIZANDO PRFC

Recibido: 26 de Mayo, 2021 • Aceptado: 5 de Julio, 2021

Autores:

Viviana C. Rougier ¹

 <http://orcid.org/0000-0003-2252-4350>

Federico A. González * ¹

 <http://orcid.org/0000-0002-0665-9258>

Miqueas C. Denardi ²

¹ Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Concepción del Uruguay, 3260, Concepción del Uruguay, Entre Ríos, Argentina.

² Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Concordia, 3200, Concordia, Entre Ríos, Argentina.

Contacto:

*Autor a quien la correspondencia debe ser dirigida: gonzalezf@frcu.utn.edu.ar

Roles autorales:

Conceptualización: Viviana C. Rougier

Curaduría de datos: Viviana C. Rougier; Federico A. González; Miqueas C. Denardi.

Adquisición de fondos: Viviana C. Rougier; Federico A. González; Miqueas C. Denardi.

Investigación: Viviana C. Rougier; Federico A. González; Miqueas C. Denardi.

Metodología: Viviana C. Rougier; Federico A. González; Miqueas C. Denardi.

Recursos: Viviana C. Rougier

Supervisión: Viviana C. Rougier

Validación: Viviana C. Rougier; Federico A. González; Miqueas C. Denardi.

Escritura - revisión y edición: Viviana C. Rougier; Federico A. González; Miqueas C. Denardi.

Cómo citar este artículo:

Rougier, V.C., González, F.A., Dinardi, M.A. Refuerzo de columnas de H° A° con armadura de estribos deficiente utilizando PRFC. *Revista Rumbos Tecnológicos*, Volumen 13, 2021, pp. 23-36
Secretaría de Ciencia, Tecnología y Posgrado, Facultad Regional Avellaneda, Universidad Tecnológica Nacional. <http://rumbostecnologicos.utnfrainvestigacionyposgrado.com/tipo-de-articulo/articulos/refuerzo-de-columnas-de-ho-ao-con-armadura-de-estribos-deficiente-utilizando-prfc>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

RESUMEN

Existen situaciones en las que es necesario incrementar la capacidad portante de elementos sometidos a solicitaciones de compresión, como columnas y pilas de puentes. Dichas situaciones pueden comprender cambios de uso y aumentos de carga, errores constructivos o de proyecto y casos en que las estructuras han resultado dañadas. El refuerzo externo de columnas de hormigón armado con polímeros reforzados con fibras (PRF) es una solución que ha dado muy buenos resultados, lográndose mejoras en la ductilidad y resistencia última de columnas con diferentes tipos de daño. En este trabajo se evalúa experimentalmente la eficiencia del refuerzo externo con bandas de polímeros reforzados con fibras de carbono (PRFC) en la mejora de resistencia y ductilidad de columnas de hormigón armado, de sección cuadrada, con armadura de estribos deficiente. Se analiza la respuesta tensión-deformación axial y modos de falla de columnas con dos separaciones de estribos. Los niveles de resistencia y ductilidad alcanzados por los elementos reforzados sugieren que el refuerzo externo de PRF, mejora el comportamiento cuando existen deficiencias en el refuerzo convencional de estribos. La comparación entre valores experimentales de resistencia máxima a compresión y estimaciones realizadas a partir de modelos empíricos de otros autores, muestra resultados satisfactorios.

Palabras Claves: Bandas, Columnas, Hormigón Armado, Confinamiento, PRFC

ABSTRACT

There are situations in which it is necessary to increase the bearing capacity of elements subjected to compression stresses, such as columns and bridge piers. Such situations can include changes in use and load increases, construction or design errors, and cases where structures have been damaged. The external reinforcement of reinforced concrete columns with fiber-reinforced polymers (FRP) is a solution that has given very good results, achieving improvements in the ductility and ultimate resistance of columns with different types of damage. In this paper, the efficiency of external reinforcement with carbon fiber reinforced polymer bands (CFRP) in improving the strength and ductility of square-section reinforced concrete columns with deficient stirrup reinforcement is experimentally evaluated. The axial stress-strain response and failure modes of columns with two stirrup spacings are analyzed. The levels of resistance and ductility achieved by the reinforced elements suggest that the external FRP reinforcement improves performance when there are deficiencies in the conventional stirrup reinforcement. The comparison between experimental values of maximum compressive strength and estimates made from empirical models of other authors shows satisfactory results.

Key-words: Columns, Reinforced concrete, Confinement, CFRP

INTRODUCCIÓN

Los elementos sometidos a solicitaciones preponderantes de compresión, como columnas de hormigón armado y pilas de puentes, resultan de fundamental importancia para la seguridad de las estructuras. Muchas veces, con el objetivo de lograr incrementos en la capacidad de carga de columnas, motivados ya sea por cambios en el destino de la estructura, errores de proyecto, armadura transversal mínima o debido al daño producido en las mismas por cargas excepcionales, se requiere mejorar la resistencia a flexión, la resistencia a corte, la capacidad de resistir cargas axiales o varias de ellas simultáneamente.

Entre los diversos métodos empleados para el refuerzo de elementos comprimidos, el confinamiento lateral con encamisados de polímeros reforzados con fibras (PRF) ha demostrado ser muy eficiente por cuanto incrementa la resistencia y ductilidad de las columnas. Los PRF poseen ciertas características especiales y sus cualidades resultan totalmente diferentes a aquellas de los materiales normalmente utilizados con fines estructurales. Presentan una elevada relación resistencia-peso y rigidez-peso, son resistentes a la corrosión y, además, su bajo peso y flexibilidad facilitan el transporte y la colocación. A todo ello se debe agregar que, como consecuencia de su anisotropía, la respuesta estructural puede ser fácilmente optimizada. Dicho refuerzo generalmente se hace envolviendo el elemento estructural con capas de compuesto y adhiriéndolas mediante un sistema epoxy. Se puede reforzar la columna en toda su longitud con una o varias capas de PRF, o bien reforzarla parcialmente mediante bandas dispuestas en espiral o en forma anular como se muestra en la Figura 1 (Teng et al., 2002).

La primera aplicación de esta tecnología se realizó en Japón en chimeneas de hormigón (1987) y luego la técnica se extendió al refuerzo de columnas de hormigón (Mirmiran et al., 2000). Desde entonces, el método ha sido estudiado experimentalmente utilizando una gran variedad de fibras (carbono, vidrio, aramida) y diversidad de técnicas de fabricación (placas prefabricadas, placas pretensadas, tejidos uni y bidireccionales, barras, etc.) (Rousakis et al., 2007; Al-Salloum, 2007; Wei et al., 2009; Rousakis y Karabinis, 2012; Mostofinejad y Ilia, 2014; Guo et al., 2016; Zeng et al., 2018; Zeng et al., 2018; Miralami et al., 2019; Sadeghian y Fillmore, 2020; Fanaradelli y Rousakis, 2020). Por otra parte, se ha demostrado que la efectividad del refuerzo con PRF depende de la forma de la columna y la rigidez del PRF. Las secciones rectangulares y cuadradas experimentan un incremento menor en resistencia y ductilidad que las secciones circulares. Esto se debe a que en secciones circulares la distribución de la presión lateral de confinamiento es uniforme, contrariamente a lo que ocurre en secciones cuadradas y rectangulares, donde dicha presión varía de un máximo en las esquinas a un mínimo entre ellas (Figura 2) (Maalej et al., 2003).

El objetivo de este trabajo es estudiar la eficiencia de refuerzo parcial de columnas de sección cuadrada con armadura de estribos deficiente, utilizando bandas de polímeros reforzados con fibras de carbono (PRFC), de alto módulo y alta resistencia.

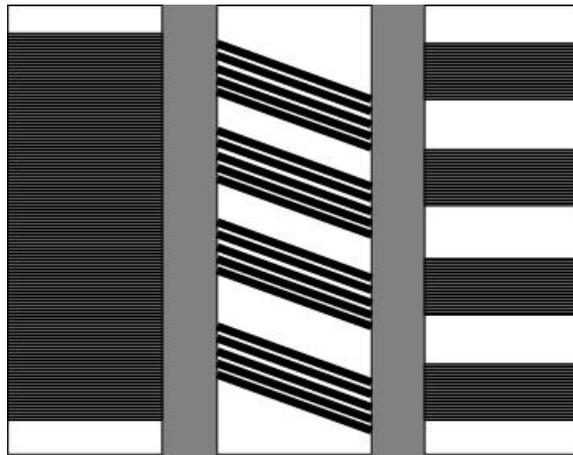


Figura 1. Refuerzo de columnas con PRF. Diferentes esquemas de refuerzo con PRF (Teng et al., 2002)

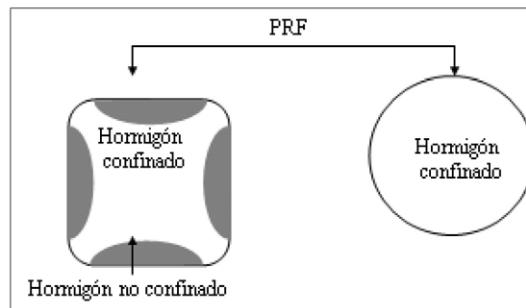


Figura 2. Efectividad del confinamiento con PRF: columnas de sección cuadrada y columnas de sección circular (Al-Salloum, 2007)

PROGRAMA EXPERIMENTAL

Generalidades

El programa experimental se llevó a cabo mediante ensayos a compresión uniaxial de columnas prismáticas a escala reducida, armadura longitudinal con barras de acero $<\varnothing 12$ (CIRSOC 201-05, 2005), armadura de estribos deficiente y reforzadas con bandas de PRFC. El objetivo del plan experimental fue evaluar la eficiencia del sistema de refuerzo y/o reparación con PRFC. Con tal fin, se construyeron 10 columnas de hormigón armado de sección cuadrada. Dos especímenes se diseñaron siguiendo los lineamientos del CIRSOC 201-05 (2005) en cuanto a separación máxima de estribos verticales (C110 y C210), mientras que los otros ocho fueron construidos con dos separaciones diferentes de estribos, mayores que la separación máxima establecida por dicho reglamento. De los ocho especímenes con deficiencia de armadura transversal, cuatro fueron reforzados con bandas de PRFC, dispuestas en forma anular, mediante el proceso denominado húmedo, que

se explicará más adelante, y los cuatro especímenes restantes se tomaron de referencia o control.

En la Tabla 1 se muestra la denominación de los especímenes y las características geométricas y de refuerzo. Las columnas se designan con la letra C seguida de tres números. El primero indica el número de espécimen de cada tipo y los dos siguientes la separación de estribos.

Tabla 1. Detalle de los especímenes ensayados con su denominación y características

Denominación	Características	Armadura Longitudinal	Armadura de estribos	Separación de estribos (mm)	Refuerzo
C110	Referencia	4 Ø 10	Ø 4,2	100	-
C210	Referencia			100	-
C120	Referencia			200	-
C220	Referencia			200	-
C1R20	Reforzada			200	Tejido de fibra de carbono y resina epoxi
C2R20	Reforzada			200	Tejido de fibra de carbono y resina epoxi
C130	Referencia			300	-
C230	Referencia			300	-
C1R30	Reforzada			300	Tejido de fibra de carbono y resina epoxi
C2R30	Reforzada			300	Tejido de fibra de carbono y resina epoxi

Especímenes

Las columnas se diseñaron con la misma sección transversal: 150 mm x 150 mm, y 900 mm de longitud total y la misma sección de armadura longitudinal: cuatro barras de 10 mm de diámetro. Para la armadura transversal, se adoptaron barras de 4,2 mm de diámetro y tres separaciones verticales de estribos, 100 mm, 200 mm y 300 mm. La separación máxima establecida por el reglamento CIRSOC 201-05 (2005) resultó, para este caso, de 120 mm. En la Figura 3 se muestran las dimensiones y detalle de armado de los diferentes especímenes.

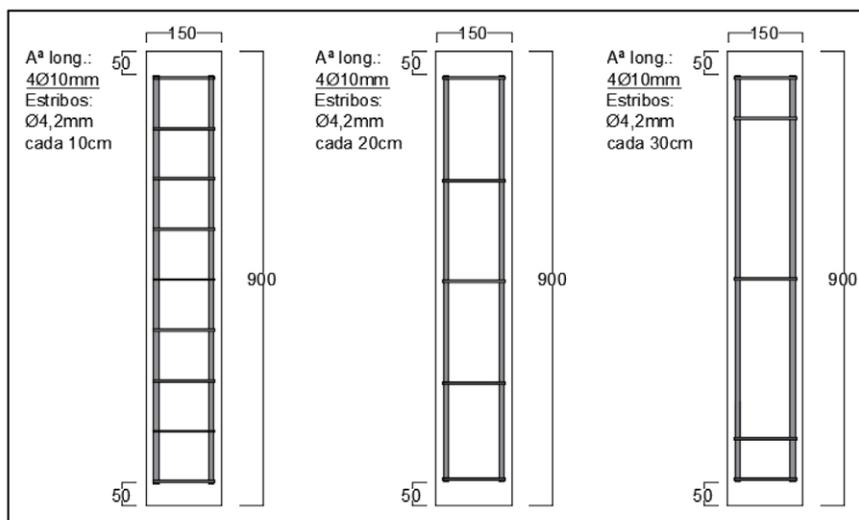


Figura 3. Detalle de armaduras longitudinal y transversal de columnas.

Materiales

El hormigón utilizado en la ejecución de las columnas se dosificó en planta hormigonera según el Método ICPA de Diseño Racional de Mezclas de Hormigón del Instituto del Cemento Portland Argentino (ICPA), en función de obtener una resistencia característica de rotura a compresión a los 28 días de 20 MPa. Se utilizaron agregados de la zona y cemento Portland Normal. Los especímenes fueron hormigonados y curados en planta.

Las características mecánicas del hormigón, resistencia media a la compresión y módulo de elasticidad, se determinaron mediante ensayos de compresión uniaxial sobre probetas cilíndricas de 150 mm x 300 mm, según normas IRAM 1534 (1985) e IRAM 1865 (2009), respectivamente. Se obtuvieron una resistencia media a compresión y módulo de elasticidad de 21,3 MPa y 25,91 GPa.

Para la armadura longitudinal y transversal de las columnas se emplearon barras de acero conformadas de dureza natural.

El refuerzo de las columnas se realizó con tejido unidireccional de fibra de carbono de 1 mm de espesor, de alto módulo y alta resistencia, saturado con resina epoxi y preparado in situ mediante el proceso denominado húmedo. En la Tabla 2 se muestran las características mecánicas de la lámina curada y de la fibra de carbono, proporcionadas por el fabricante.

Tabla 2. Propiedades del PRFC (lamina curada) y de las fibras de carbono

Propiedades	Lamina curada	Fibra
Módulo de Elasticidad E (MPa)	73100	-
Resistencia a tracción, σ_t (MPa)	960	3450
Alargamiento a la rotura (%)	1,33	1,5
Espesor (mm)	1	-
Peso por m ² (g)	610	-

Preparación de especímenes y técnica de refuerzo

La técnica de refuerzo se realizó envolviendo la superficie de las columnas en las zonas con deficiencia de armadura de estribos, previamente imprimadas con resina epoxi, con bandas de 50 mm de tejido unidireccional de fibra de carbono embebido en resina epoxi. En todos los casos se aseguró un solape de 20 cm para evitar el despegue prematuro del laminado. Antes de la colocación del material de refuerzo, las superficies de los especímenes fueron cuidadosamente pulidas con cepillo de cerdas de acero a los efectos de eliminar polvo y cualquier imperfección superficial. Finalmente, y para dejarlas perfectamente limpias, se aplicó aire con un compresor. Se colocaron tres capas de refuerzo de 1 mm de espesor con las fibras orientadas en la dirección circunferencial. En la Figura 4 se muestra un dibujo detallado de la ubicación y dimensiones de las bandas de PRFC para dos columnas con separación de estribos verticales de 200 mm y 300 mm. De este modo se cumplió con las disposiciones del Reglamento CIRSOC 201-05 (2005) que exige para este caso, una separación de 120 mm (menor valor entre 12 veces el diámetro de barra longitudinal, 10 mm, 48 veces el diámetro de la barra de estribos, 4,2 mm, o 150 mm, lado menor de la columna). El diseño del número de capas de PRFC y su ancho, se determinaron en función de obtener una resistencia a compresión uniaxial como mínimo igual a la obtenida teóricamente para la columna con separación de estribos de 100 mm, siguiendo los lineamientos de cálculo del CRSOC 201-05 y la fórmula de Saadatmanesh et al. (1994). Esta última se usó para las columnas reforzadas con PRFC.

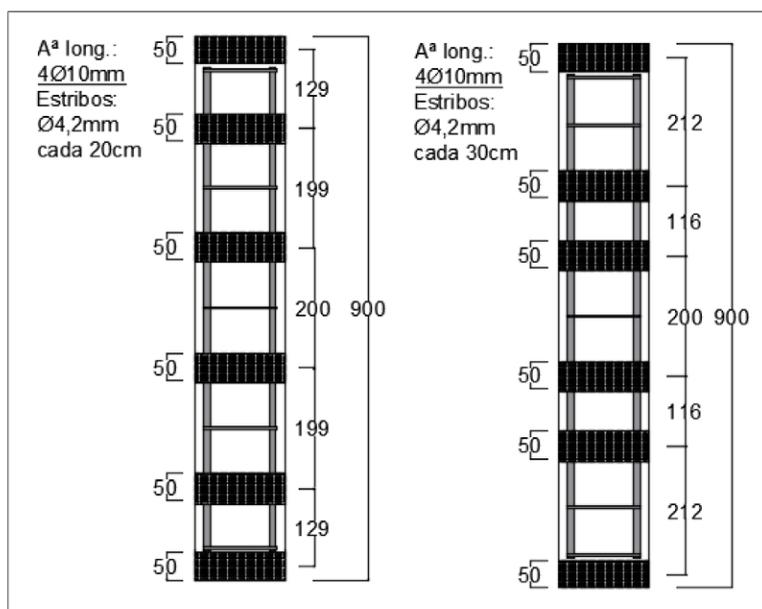


Figura 4. Refuerzo con tejido de PRFC: ubicación y dimensiones de las bandas para a) columnas con separación de estribos 200m y b) columnas con separación de estribos 300 mm

Esquema de ensayo e instrumentación

Todos los ensayos realizados consistieron en la aplicación de cargas de compresión uniaxial, cuasi-estáticas monótonas crecientes. La carga fue aplicada usando una prensa Shimadzu con sistema hidráulico con posibilidad de desarrollar una carga vertical nominal máxima de 1000 kN. Se midieron cargas y deformación axiales a partir de los cuales se construyeron luego diagramas tensión-deformación. Para medir la deformación axial promedio de las columnas, se colocaron dos comparadores digitales con una sensibilidad de 0.001mm en dos lados opuestos de las mismas a los efectos de eliminar de las lecturas posibles rotaciones. En la Figura 5 se presenta una imagen del ensayo e instrumentación utilizada.



Figura 5. Ensayo de compresión uniaxial.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

A continuación, se presentan los resultados obtenidos experimentalmente. Se analizan modos de falla, cargas últimas y respuesta tensión-deformación.

Modos de fallas y cargas últimas

En la Tabla 3 se presentan los valores de carga máxima ($P_{m\acute{a}x.}$), tensión máxima ($\sigma_{m\acute{a}x.}$) y deformación axial correspondiente a la tensión máxima ($\sigma_{m\acute{a}x.}$), alcanzados en el ensayo de compresión uniaxial por los especímenes de hormigón armado sin refuerzo y reforzados con PRFC. También se muestra el incremento en resistencia a compresión uniaxial de las columnas reforzadas con PRFC, el cual se define como la relación entre la resistencia máxima alcanzada por dichas columnas y la correspondiente a los especímenes de referencia. Se puede ver un incremento en resistencia y deformación axial de las columnas reforzadas con respecto aquellas sin refuerzo, para las dos separaciones de estribos (200 y 300 mm). Dicho incremento es de 89 % y 100 % para los especímenes C1R20 y C2R20 (separación de estribos de 200 mm) y de 32 y 22 % para C1R30 y C2R30 (separación de estribos de 300 mm).

Todas las columnas de referencia (sin refuerzo externo de PRFC), independientemente de la separación de estribos, fallaron por aplastamiento del hormigón en la zona de apoyos, con desarrollo de fisura longitudinal en algunos casos (Figura 6 a). En esta zona, las columnas de referencia po-

seen 50 mm de H° no confinado, mientras que, en las columnas reforzadas, se aplicaron bandas de PRFC en los extremos. A esta razón posiblemente se deba el modo de falla. Con respecto a las columnas reforzadas, se observó un único tipo de falla: rotura del hormigón entre bandas de PRFC (Figura 6b). No se produjo despegue ni rotura del laminado de PRFC.

Tabla 3. Resultados experimentales

Espécimen	P _{max.} (kN)	σ _{max.} (MPa)	ε _{máx.}	Incremento en resistencia (%)
C110	320,00	14,22	0,00134	-
C210	350,00	15,55	0,00128	-
Resistencia a compresión promedio (C110-C210)= 14,89 MPa				
C120	244,00	10,84	0,0017	-
C220*	261,36	11,61	-	-
Resistencia a compresión promedio (C120-C220)= 11,23 MPa				
C1R20	478,71	21,27	0,00371	89
C2R20	505,79	22,48	0,00521	100
Resistencia a compresión promedio (C1R20-C2R20) = 21,88 MPa				
C130	367,82	16,35	0,00067	-
C230	371,80	16,52	0,00068	-
Resistencia a compresión promedio (C130-C230) = 16,44 MPa				
C1R30	487,10	21,65	0,00278	32
C2R30	451,05	20,05	0,00370	22
Resistencia a compresión promedio (C1R30-C2R30) = 20,85 MPa				

* Problemas con el sistema de medición de desplazamientos impidieron registrar los mismos hasta el final del ensayo.



Figura 6. Modos de falla: a) de columna de referencia; b) columna reforzada con PRFC

Respuesta tensión-deformación

En la Figura 7 se reproduce el diagrama tensión-deformación axial de columnas sin refuerzo y columnas reforzadas con PRFC, para las dos separaciones de estribos analizadas. Se puede ver un incremento significativo de la resistencia última y de la capacidad de deformación de los especímenes reforzados. También se observa que las curvas de las columnas reforzadas son bilineales. En los primeros pasos de carga la pendiente de la curva carga-desplazamiento de las columnas reforzadas es prácticamente la misma que aquella de las columnas sin refuerzo. La segunda parte de dichas curvas es afectada por las bandas de PRFC y muestra un comportamiento con ablandamiento. Ello se debe a que la concentración de tensiones en las esquinas de los especímenes reforzados produce una distribución no uniforme de la presión de confinamiento y como consecuencia se reduce la eficiencia de las bandas de PRFC.

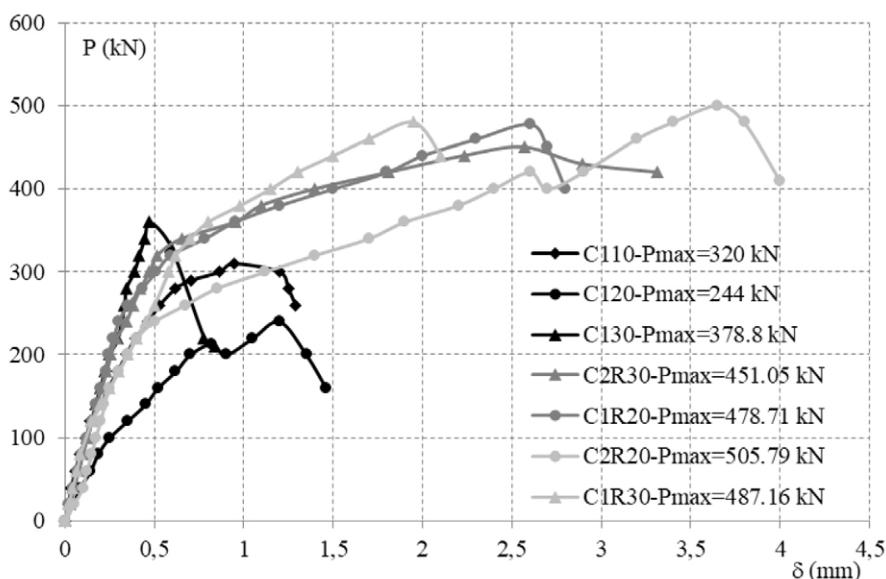


Figura 7. Curvas tensión-deformación axial.

Correlación entre resultados experimentales y teóricos

En la Tabla 5 se comparan los valores experimentales de resistencia a compresión de las columnas parcialmente confinadas con PRFC con los valores teóricos, calculados utilizando el modelo propuesto por Saadatmanesh et al. (1994). Este modelo es una adaptación del desarrollado por Mander et al. (1988) para el análisis de columnas rectangulares de hormigón sometidas a cargas monótonas y confinadas externamente con refuerzos de fibra compuesta, donde la resistencia a compresión del hormigón confinado (f'_{cc}) está dada por la expresión:

$$\frac{f'_{cc}}{f'_{co}} = 2.254 \sqrt{1 + 7.94 \left(\frac{f'_i}{f'_{co}} \right)} - 2 \frac{f'_i}{f'_{co}} - 1.254 \quad (1)$$

Donde f'_{co} es la resistencia del hormigón no confinado; y f'_l la presión de confinamiento lateral efectiva del refuerzo transversal (Saadatmanesh et al., 1994). Esta presión efectiva se define como:

$$f'_l = f_l k_e \quad (2)$$

Donde,

$$k_e = \frac{A_e}{A_{cc}} \quad (3)$$

y

$$f_l = \left(\frac{2f_{fu} n t_f}{D} \right) \quad (4)$$

Para secciones transversales no circulares, f_l corresponde a la presión de confinamiento máxima de una sección transversal circular equivalente con un diámetro D, igual a la diagonal de una sección transversal cuadrada o rectangular:

$$D = \sqrt{b^2 + h^2} \quad (5)$$

donde b y h son las dimensiones de la sección transversal de la columna; f'_l es la presión lateral para el refuerzo transversal; f_{fu} es la máxima resistencia a la tracción del refuerzo de PRF; n es el número de capas de refuerzo de PRF; t_f es el espesor nominal de una capa de refuerzo de PRF; D es el diámetro del miembro de compresión de sección transversal circular; k_e es el coeficiente de efectividad del confinamiento; A_e es el área de hormigón efectivamente confinada; A_{cc} es el área efectiva de hormigón encerrada por una banda de PRF, y se determina según la siguiente ecuación:

$$A_{cc} = A_c (1 - \rho_{cc}) \quad (6)$$

donde ρ_{cc} es la relación entre el área de refuerzo longitudinal y el área bruta de hormigón; y A_c es el área de hormigón encerrada por una tira de material compuesto (Saadatmanesh et al., 1994).

Para determinar el área de hormigón efectivamente confinado entre bandas de refuerzo, se supone que entre aquellas se produce una acción de arco en forma de parábola de segundo grado con una pendiente tangente inicial de 45 grados (ver Figura 8) y que el hormigón dentro de esta parábola no está confinado (Saadatmanesh et al., 1994).

Entonces, el área de hormigón efectivamente confinado en el caso de sección rectangular se calcula a partir de (Saadatmanesh et al., 1994):

$$A_e = \left(h - \frac{s'_l}{2} \right) \left(b - \frac{s'_l}{2} \right) = hb \left(1 - \frac{s'_l}{2h} \right) \left(1 - \frac{s'_l}{2b} \right) \quad (7)$$

Donde s' es la separación vertical entre bandas de PRFC (Figura 8) y b y h son las dimensiones de la sección transversal de la columna. En el caso particular de una columna de sección cuadrada se igualan b y h y se reemplaza en la fórmula (7).

Así, sustituyendo (6) y (7) en (3), el coeficiente de eficacia del confinamiento para una sección rectangular viene dado por la siguiente expresión (Saadatmanesh et al., 1994):

$$k_e = \frac{\left(1 - \frac{s'}{2h}\right)\left(1 - \frac{s'}{2b}\right)}{1 - \rho_{cc}} \quad (8)$$

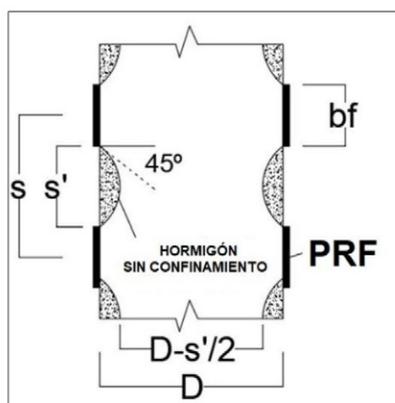


Figura 8. Confinamiento de columna no circular

Tabla 5. Comparación de resultados

Specimens	Sección Trnsv. (mm)	P_u Exp. (kN)	f'_{cc} Exp. (MPa)	f'_l (MPa)	f'_{cc} (Saadatmanesh et al., 1994) (MPa)
Promedio (C1R20-C2R20)	150 x 150	492,25	21,88	12,23	22,39
Promedio (C1R30-C2R30)	150 x 150	469,08	20,85		

CONCLUSIONES

Aun cuando es necesaria la ejecución de un mayor número de ensayos, del análisis y la comparación de los resultados experimentales y teóricos obtenidos se pueden enunciar las siguientes conclusiones:

El confinamiento lateral parcial, utilizando bandas PRFC, ha demostrado ser muy eficiente en columnas de sección cuadrada con deficiencia de armadura transversal. Se lograron incrementos significativos en la resistencia última, ductilidad y valores de tensión-deformación comparables.

La falla de las columnas reforzadas se produjo entre bandas de refuerzo, por rotura del hormigón. Los especímenes conservaron el monolitismo y no se produjo despegue ni rotura del PRFC.

La resistencia a compresión axial del hormigón confinado obtenido a partir del modelo de Saadatmanesh et al. (1994) ajusta razonablemente los valores experimentales, con diferencias del 3% para las columnas reforzadas con separación de estribos de 200 mm y del 7% para los especímenes con separación de 300 mm.

AGRADECIMIENTOS

Los autores del presente trabajo agradecen a la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Concepción del Uruguay por el apoyo económico brindado, al Laboratorio de Ingeniería Civil de la Facultad Regional Concepción del Uruguay y en particular los Ingenieros Héctor Retamal y Ricardo Gómez.

REFERENCIAS

AL-SALLOUM, Y., (2007). Influence of edge sharpness on the strength of square concrete columns confined with PRF composites laminates. *Composites: Part B* 38, pp. 640–650.

CIRSOC 201-2005, (2005). Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón. Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Buenos Aires, Argentina.

FANARADELLI, T. D., & ROUSAKIS, T. C. (2020). Prediction of Ultimate Strain for Rectangular Reinforced Concrete Columns Confined with Fiber Reinforced Polymers under Cyclic Axial Compression. *Polymers*, 12(11), 2691.

GUO, A.; XIE, J.; XIE, B.; ZHONG, J., (2016). Experimental study on compressive behavior of damaged normal and high-strength concrete confined with CPRF laminates. *Construction and Building Materials* 107, pp. 411–425.

IRAM 1534, (1985). Hormigón de cemento Portland. Preparación y curado de probetas para ensayos en laboratorio. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales.

IRAM 1865, (2009). Hormigón de cemento. Métodos de ensayo para la determinación del módulo elástico y la relación de Poisson de probetas y testigos cilíndricos de hormigón sometidos a esfuerzos de compresión axial. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales.

MAALEJ, S.; TANWONGSVAL, P.; PARAMASIVAM, P., (2003). Modelling of rectangular RC columns strengthened with PRF. *Cement & Concrete Composites* 25, pp. 263-276.

MANDER, J. B.; PRIESTLEY, M. J. N.; & PARK, R., (1988). Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete. *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 114, 8, pp. 1804-1826.

MIRALAMI, M., ESFAHANI, M. R., & TAVAKKOLIZADEH, M. (2019). Strengthening of circular RC column-foundation connections with GFRP/SMA bars and CFRP wraps. *Composites Part B: Engineering*, 172, 161-172.

MIRMIRAN, A.; ZAGERS, K.; YUAN, W., (2000). Nonlinear finite element modeling of concrete confined by fiber composites. *Finite Elements in Analysis and Design* 35, pp.79-96.

MOSTOFINEJAD, D.; ILIA, E., (2014). Confining of square RC columns with PRF sheets using corner strip–batten technique. *Construction and Building Materials* 70, pp. 269–278.

ROUSAKIS, T.; KARABINIS, A., (2012). Adequately PRF confined reinforced concrete columns under axial compressive monotonic or cyclic loading. *Materials and Structures* 45, pp. 957–975.

ROUSAKIS, T.; KARABINIS, A.; KIOUSIS, P., (2007). PRF-confined concrete members: Axial compression experiments and plasticity modeling. *Engineering Structures* 29, pp. 1343-1353.

SAADATMANESH, H.; ESHANI, M.; LI, M., (1994). Strength and ductility of concrete columns externally reinforced with fiber composite straps. *ACI Structural Journal* 91, pp. 434-447.

SADEGHIAN, P., & FILLMORE, B. (2020). Characterization of combined longitudinal and transverse FRPs for strengthening concrete columns. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 47(6), 718-728.

TENG, J. G., CHEN, J. F., SMITH, S. T., & LAM, L. (2002). *FRP: strengthened RC structures*. Wiley & Son, United Kingdom.

WEI, H.; Wu, Z.; Guo. X.; Yi, F., (2009). Experimental study on partially deteriorated strength concrete columns confined with CPRF. *Engineering Structures* 31, pp. 2495–2505.

ZENG, J. J., LIN, G., TENG, J. G., & LI, L. J. (2018). Behavior of large-scale FRP-confined rectangular RC columns under axial compression. *Engineering Structures*, 174, 629-645.

ZENG, J. J., GUO, Y. C., GAO, W. Y., CHEN, W. P., & LI, L. J. (2018). Stress-strain behavior of concrete in circular concrete columns partially wrapped with FRP strips. *Composite Structures*, 200, 810-828.

BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS CRÓNICAMENTE CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS POR LA CEPA AUTÓCTONA *Pseudomonas sp. MT1A3*

Recibido: 4 de Mayo, 2021 • Aceptado: 4 de Julio, 2021

Autores:

Debora Conde Molina¹

 <https://orcid.org/0000-0002-2817-3726>

Franco Liporace¹

 <https://orcid.org/0000-0002-9962-255X>

Carla V. Quevedo *¹

 <https://orcid.org/0000-0001-6902-9686>

¹ Laboratorio de Biotecnología, Departamento de Química, Facultad Regional Delta, Universidad Tecnológica Nacional. San Martín 1171, 2804, Campana, Buenos Aires, Argentina.

Contacto:

*Autor a quien la correspondencia debe ser dirigida: quevedo.carla@gmail.com

Roles autorales:

Conceptualización: Carla V. Quevedo; Debora Conde Molina

Análisis de Formal: Debora Conde Molina; Franco Liporace

Adquisición de Fondos: Carla V. Quevedo

Investigación: Debora Conde Molina

Metodología: Debora Conde Molina; Franco Liporace

Supervisión: Carla V. Quevedo

Redacción: Debora Conde Molina

Escritura, Revisión y Redacción: Carla V. Quevedo; Debora Conde Molina

Cómo citar este artículo:

Conde Molina, D., Liporace, F., Quevedo, C.A. Biorremediación de suelos crónicamente contaminados con hidrocarburos por la cepa autóctona *Pseudomonas sp. MT1A3*. Revista Rumbos Tecnológicos, Volumen 13, 2021, pp.37-50. Secretaria de Ciencia, Tecnología y Posgrado, Facultad Regional Avellaneda, Universidad Tecnológica Nacional. <http://rumbostecnologicos.utnfrainvestigacionyposgrado.com/tipo-de-articulo/articulos/biorremediacion-de-suelos-cronicamente-contaminados-con-hidrocarburos-por-la-cepa-autoctona-pseudomonas-sp-mt1a3/>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons
Atribución-NonComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

RESUMEN

La contaminación generada por compuestos del petróleo es uno de los problemas ambientales más graves en la sociedad actual. Debido a esto, la biorremediación se presenta como una estrategia para el saneamiento de sitios contaminados, que cada vez adquiere mayor relevancia debido a su potencial como tecnología no invasiva y rentable. El objetivo de este trabajo es optimizar la producción de biomasa de la cepa *Pseudomonas sp. MT1A3*, y su posterior aplicación como inóculo de bioaumento en sistemas de microcosmos diseñados con suelos crónicamente contaminados con hidrocarburos. Se realizaron diseños experimentales estadísticos para estudiar el efecto de diferentes factores del medio de cultivo y de las condiciones de incubación sobre la producción de biomasa. Los factores analizados que demostraron ser significativos fueron aceite de maní 18,69 g/L, NaNO_3 2,39 g/L y 26 °C de temperatura de incubación. El proceso optimizado en conjunto con el escalado en un biorreactor permitió aumentar 35 % la producción de biomasa, obteniéndose 9,67 g/L. Dado estos resultados se llevaron a cabo técnicas bioaumento como estrategia de biorremediación a través de diseños de microcosmos, en donde se observó una remoción de 93.52 % de hidrocarburos totales a los 60 días. Estos resultados proponen a *Pseudomonas sp. MT1A3* como una alternativa prometedora para remediar suelos contaminados con hidrocarburos.

Palabras Claves: Suelo contaminado con hidrocarburo, Biorremediación, Bioaumento, *Pseudomonas sp.*, Microcosmos

ABSTRACT

In present times, contamination with petroleum compounds becomes a more severe problem in the existing society. Because of this, bioremediation is presented as a strategy for cleaning up sites contaminated with organic pollutants and it has an increasing role in relation to the potential it poses as a non-invasive and cost-effective technology. The aim of this work is to optimize the biomass production of *Pseudomonas sp. MT1A3* strain and its subsequent application as inoculum in bioaugmentation strategy in microcosm systems designed with chronically hydrocarbon-contaminated soils. Statistical experimental designs were performed to study the effect of various factors of the compositional medium and incubation conditions on biomass production. The optimized statistically significant factors were peanut oil 18.69 g/L, NaNO_3 2.39 g/L and 26 °C incubation temperature. The optimized process with the scale-up in a bioreactor allowed a 35 % increase in biomass production, obtaining 9.67 g/L. This autochthonous strain was applied in bioaugmentation as a bioremediation strategy through microcosm designs, reaching until 93.52 % of total hydrocarbon removal at 60 days. These results propose *Pseudomonas sp. MT1A3* as a promising alternative for remediating hydrocarbon-contaminated soils.

Key-words: Hydrocarbon-contaminated soil, Bioremediation, Bioaugmentation, *Pseudomonas sp.*, Microcosms

INTRODUCCIÓN

El área industrial Zárate-Campana, ubicada al noroeste de la provincia de Buenos Aires, representa uno de los polos petroquímicos más importantes de la Argentina. Debido a que esta zona ha llevado a cabo actividades relacionadas con la industria petroquímica durante 100 años, la misma posee un historial importante de vertidos de petróleo y derivados, tales como derrames accidentales o intencionales, fugas de tanques de almacenamiento y barriles, vuelcos accidentales en el proceso de carga y descarga de camiones. Esto hace que los suelos y los cuerpos de agua de esta área se encuentren crónicamente contaminados con hidrocarburos (Conde Molina, 2019b).

La contaminación con hidrocarburos ocasiona el deterioro progresivo de la calidad del medio ambiente. Debido a que los hidrocarburos son tóxicos resultan ser una amenaza para la salud humana, las especies vegetales y animales (Whitfield, 2003; El-Alam et al., 2018). La contaminación de estos compuestos se caracteriza en la mayoría de los casos por ser muy persistentes en los ecosistemas. Por ejemplo, los hidrocarburos de alto peso molecular, alifáticos y aromáticos, son contaminantes muy resistentes debido a su baja solubilidad y sus altas relaciones de distribución suelo-agua. Esto hace que sean de difícil disponibilidad para los organismos degradadores nativos y se acumulen en el medio ambiente (Johnsen et al., 2005). Además del impacto ambiental negativo, los derrames de hidrocarburos generan impactos de tipo económico, social y de salud pública en las zonas aledañas al lugar afectado. Por ello, para evitar la destrucción del ecosistema resulta prioritario que estas zonas sean tratadas.

La biorremediación se considera una tecnología amigable con el ambiente, simple y económica. El propósito de la biorremediación es potenciar los procesos naturales de biodegradación mediante la optimización de los parámetros limitantes del sistema (Azubuike et al., 2016). Estos procesos de degradación incluyen la mineralización o transformación de los contaminantes en formas menos tóxicas por la acción de los microorganismos. Por lo tanto, la presencia de microorganismos con las capacidades metabólicas adecuadas se considera un requisito primordial para la biorremediación (Varjani, 2017; Rabodonirina, 2019). Asimismo, las comunidades de microorganismos expuestas a los hidrocarburos pueden adaptarse a este entorno, mostrando cambios genéticos y metabólicos (Semple et al., 2001; Van Hamme et al., 2003). Dichos microorganismos autóctonos resultan ser un recurso potencial para el saneamiento de sitios contaminados.

Por lo tanto, la eficacia de la biodegradación de los hidrocarburos del petróleo en el suelo puede verse limitada por la cantidad y la especie de los microorganismos (Stroud et al., 2007; Katayama et al., 2010). Frente a esta situación, una estrategia frecuentemente utilizada es el bioaumentación (Ruberto et al., 2009; Jiang et al., 2016; Guarino et al., 2017), que consiste en introducir microorganismos para aumentar o acelerar la degradación del contaminante. Esta técnica es considerada cuando la población de microorganismos autóctonos es insuficiente, no tiene capacidad para degradar los contaminantes o la velocidad de descontaminación es más lenta de lo esperado.

En el presente trabajo se evalúa el empleo de la cepa autóctona *Pseudomonas sp. MT1A3* para ser aplicada como estrategia de bioaumentación, para la biorremediación de áreas crónicamente contaminadas por hidrocarburos pertenecientes a la refinería RHASA (Argentina). Dicha cepa, fue previamente aislada (Liporace et al., 2012) e identificada como microorganismo degradador de hidrocarburos (Conde Molina et al., 2019a). Este trabajo incluye la optimización de la producción de biomasa por *Pseudomonas sp. MT1A3* a través de la aplicación de diseños experimentales estadísticos, y su aplicación como inóculo en diseños de microcosmos para degradar hidrocarburos presentes en un suelo crónicamente contaminado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Optimización de la producción de biomasa de *Pseudomonas sp. MT1A3*

En primera instancia se realizó la optimización de las condiciones de cultivo para la producción de biomasa de *Pseudomonas sp. MT1A3*. Para ello se partió de medio de cultivo original conformado por medio salino mínimo (MSM (g/L): KH_2PO_4 (1,5); Na_2HPO_4 (0,5); $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (0,0011); $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (0,2); $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (0,0132) aceite de maní (40 g/L) como fuente de carbono y NaNO_3 (4 g/L) como fuente de nitrógeno, inoculado con 3% (v/v) (DO 0,5) de *Pseudomonas sp. MT1A3* e incubado a 135 rpm (Conde Molina et al., 2019a).

Posteriormente, se analizaron las condiciones de crecimiento para la producción de biomasa por parte de *Pseudomonas sp. MT1A3* mediante diseños experimentales de selección (diseño factorial completo, DFC) (Montgomery, 2001). Los DFC consistieron en tres niveles codificados (-1, 0, 1) y dos puntos centrales para evaluar los efectos sobre la biomasa. Los parámetros examinados fueron las concentraciones de carbono (aceite de maní), de nitrógeno (NaNO_3), de fósforo (KH_2PO_4), la temperatura y tiempo de incubación. Los resultados se ajustaron con una función polinómica de primer orden según la ecuación 1, donde Y es la respuesta observada, X_i es la variable de entrada que afecta a Y , β_0 es la intercepción y β_i es el i -ésimo coeficiente lineal.

$$Y = \beta_0 + \sum \beta_i X_i \quad (\text{Ecuación 1})$$

La optimización de los factores significativos se llevó a cabo con un diseño de superficie de respuesta (diseño Box-Behnken, DBB) (Box y Behnken, 1960). El experimento DBB presentó tres niveles codificados (-1, 0, 1), cuatro puntos centrales y tres factores variables: concentración de aceite de maní, concentración de NaNO_3 y temperatura. Se utilizó un modelo de segundo grado para optimizar la respuesta, como se muestra en la ecuación 2, donde Y es la respuesta predicha, X_i y X_j son las variables de entrada que influyen en la variable de respuesta, β_0 es el intercepto, β_i es el i -ésimo coeficiente lineal, β_{ii} es el i -ésimo coeficiente cuadrático, y β_{ij} es el i -ésimo coeficiente de interacción.

$$Y = \beta_0 + \sum \beta_i X_i + \sum \beta_{ij} X_i X_j + \sum \beta_{ii} X_i^2 \quad (\text{Ecuación 2})$$

Tanto los modelos DFC como DBB fueron analizados utilizando Minitab Statistical Software (USA).

El modelo matemático resultante de la optimización de la biomasa de *Pseudomonas sp. MT1A3* se validó en ensayos de erlenmeyers de acuerdo a las condiciones optimizadas.

Escalado en biorreactor

Las condiciones de cultivo optimizadas para la producción de biomasa se ensayaron en un biorreactor de tanque agitado y aireado de 3 L (BioFlo 115 New Brunswick Scientific Co., USA), equipado con deflectores laterales y agitador con paletas tipo Rushton. La concentración de oxí-

geno disuelto se determinó mediante una sonda. Las muestras se extrajeron periódicamente en condiciones estériles para determinar la concentración de biomasa. El medio de cultivo (2 l) se inoculó con un 3% (v/v) (DO 0,5) de MT1A3 y se mantuvo a 200 rpm durante 6 días, sin control del pH.

Medición de la biomasa

El crecimiento bacteriano se estimó por peso seco (g/L). Para ello, se tomó una alícuota de 18 mL de cultivo. La muestra se centrifugó a 4°C y 13.500 rpm durante 15 minutos. El pellet se secó a 100 °C en una estufa hasta peso constante.

Ensayos de bioaumentación en microcosmos

Caracterización del suelo

El suelo contaminado con hidrocarburos fue tomado dentro del predio de la refinería RHASA. La muestra fue tomada de la capa superficial (hasta 20 cm de profundidad) y se tamizó con una malla de 10 mm. El contenido de agua se determinó por gravimetría secando las muestras a 105°C hasta peso constante. El pH del suelo se midió sobre una mezcla suelo-agua (1:2) después de 30 min. de reposo, empleando un pH-metro. El análisis del tamaño de las partículas se realizó mediante una combinación de tamizado en húmedo (arena) y sedimentación (limo y arcilla) (Gee y Baude, 1986).

Diseño de microcosmos

El suelo contaminado con hidrocarburos se dispuso en frascos cilíndricos de vidrio (60 mm de diámetro y 360 ml de volumen), cada uno de los cuales contenía 200 g de suelo. Se llevaron a cabo dos tratamientos: atenuación natural como control (C) y bioaumentación (MT1A3), por triplicado. El cultivo de *Pseudomonas MT1A3* cosechado del biorreactor se empleó para inocular el suelo, con el fin de lograr una concentración de 1×10^8 UFC/g de suelo seco en el sistema de bioaumentación. Los frascos se mantuvieron a temperatura ambiente (20-25°C) durante dos meses y se tomaron muestras cada 20 días. El contenido de cada frasco se mezcló asépticamente una vez a la semana y se controló la humedad mediante la adición de agua cuando fue necesario (Conde Molina et al., 2019a).

Actividad biológica

Se colocó 1 g de muestra en 100 ml de NaCl al 0,9 %. Se realizaron diluciones seriadas de suelo, las cuales se sembraron en placas de Petri conteniendo agar-LB, evaluando el crecimiento de las bacterias aeróbicas heterótrofas totales (BAHT). Para realizar el recuento de bacterias degradadoras de hidrocarburos (BDH) las diluciones se sembraron en placas con agar-SMS + 100µl de una mezcla de hidrocarburos, y se incubaron a 25° C durante 3 días. Los resultados del recuento fueron expresados como unidades formadoras de colonias por gramo de peso seco (UFC/ g) (Brock & Madigan 2015).

Determinación de hidrocarburos

Para la cuantificación de hidrocarburos, se trataron muestras de suelo extraídas con diclorometano y se analizaron mediante un cromatógrafo gaseoso GC-2010 Plus (Shimadzu, Corp., Japón) según Conde Molina et al. (2019a). Tanto la concentración de hidrocarburos totales (HT) como la

concentración de los analitos se determinaron mediante el uso de los estándares 50.16.512 Gravimetric Standard DHA Classis (PAC) y Alcanes Mix C8-C40 (Accustandard).

RESULTADOS

Diseño experimental estadístico

Con el fin de optimizar la producción de biomasa de *Pseudomonas sp. MT1A3* se realizaron dos DFC de manera consecutiva, en donde se analizaron los efectos del aceite de maní como fuente carbono, NaNO_3 como fuente nitrógeno, KH_2PO_4 como fuente fósforo, la temperatura y el tiempo de incubación. Los factores que influyeron significativamente ($p < 0,05$) en la producción de biomasa fueron la concentración de aceite de maní, la concentración de NaNO_3 y la temperatura. También, las interacciones aceite de maní- NaNO_3 y aceite de maní-temperatura mostraron efecto sobre la respuesta ($p < 0,05$). El resto de variables ensayadas, en los rangos seleccionados, no fueron significativas para la producción de biomasa de *Pseudomonas sp. MT1A3*.

A continuación las variables significativas fueron estudiadas mediante DBB para maximizar la respuesta. Los resultados mostraron que (Figura 1) los valores 18,69 g/L de aceite de maní, 2,39 g/L de NaNO_3 y 26,0 °C de temperatura fueron los óptimos para la producción de biomasa de *Pseudomonas sp. MT1A3*. El modelo presentó un coeficiente de determinación (R^2) 0,950, y el valor de F significativo indicó que los resultados obtenidos a partir del modelo fueron significativos ($P < 0,01$) para la respuesta. De esta manera, el medio de producción optimizado consistió en (g/L): AMC (18,7); NaNO_3 (2,4); KH_2PO_4 (1,5); Na_2HPO_4 (0,5); $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (0,0011); $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (0,2); $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (0,0132), incubado a 26 °C.

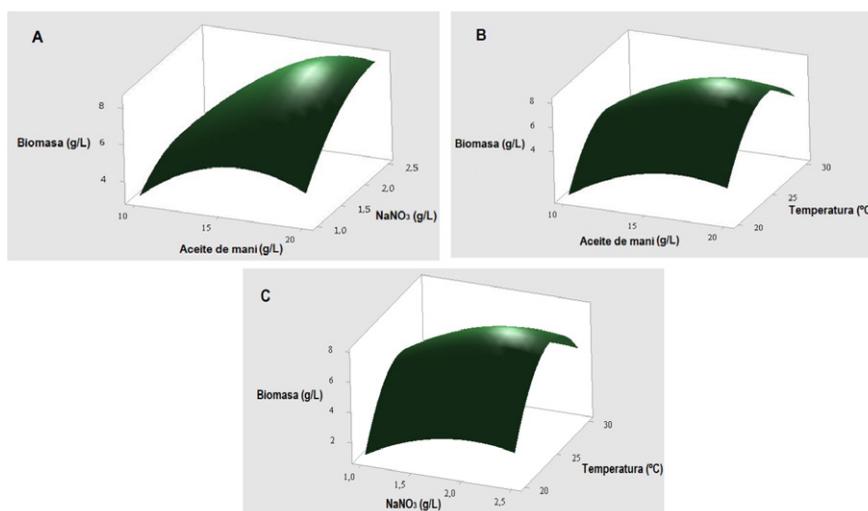


Figura 1. Producción de biomasa de *Pseudomonas sp. MT1A3* (g/L) como función de A) aceite de maní crudo (AMC) y NaNO_3 , B) aceite de maní crudo (AMC) y temperatura, C) NaNO_3 y temperatura.

El modelo optimizado fue validado en ensayos de erlenmeyers, obteniéndose $8,95 \pm 0,20$ g/L de biomasa a los 5 días de incubación (Figura 2). De esta manera, se demuestra que el modelo

matemático se ajusta adecuadamente al ensayo experimental. Asimismo, se observó que el proceso optimizado mostró un aumento de la producción de biomasa de *Pseudomonas sp. MT1A3* de 22,77%, en comparación con las condiciones del proceso original del cual se parte en este trabajo (7,29 g/l \pm 0,16 g/L).

Escalado en biorreactor

Un bioproceso llevado a cabo en un biorreactor ofrece varias ventajas en comparación con el frasco agitado. Esto se debe a un mejor control de los parámetros del proceso en donde se destacan: el control de la aireación, una mejor mezcla de los nutrientes, la transferencia de calor y oxígeno. En nuestro estudio se obtuvo un aumento de 10% de biomasa en el biorreactor en comparación con el erlenmeyer en condiciones similares a los 5 días de cultivo, siendo 9,67 \pm 0,10 g/L (Figura 2). Además, la curva de crecimiento microbiano mostró que la fase lag fue menor a 1 día, alcanzando la fase estacionaria a los 4 días en el biorreactor. Mientras que en condiciones de erlenmeyer el cultivo presentó una fase lag de 1 día y requirió 5 días para llegar a la fase estacionaria. Los parámetros cinéticos para la producción de biomasa fueron $\mu_{\max} = 0,13\text{h}^{-1}$ y $t_d = 5,33\text{h}^{-1}$ para el biorreactor, siendo que para el frasco agitado fueron $\mu_{\max} = 0,10\text{h}^{-1}$ y $t_d = 6,93\text{h}^{-1}$. Con lo cual en el biorreactor se logró un incremento del ~26 % de la velocidad de crecimiento de *Pseudomonas sp. MT1A3*.

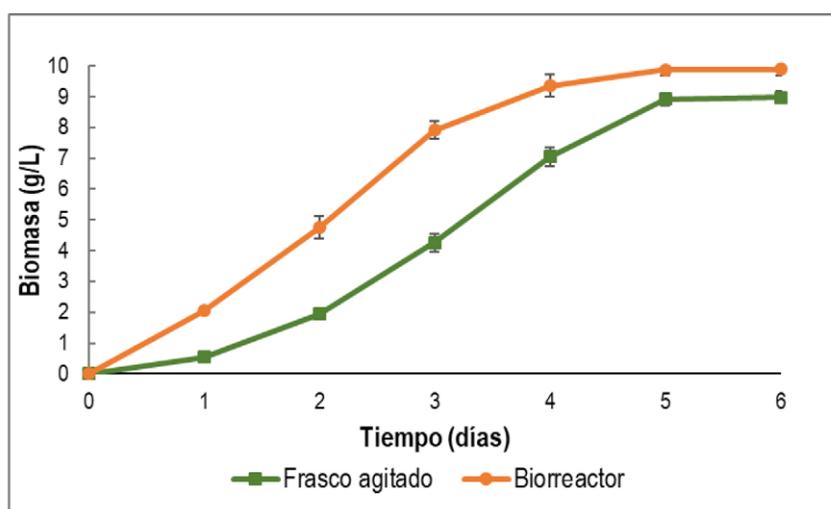


Figura 2. Crecimiento de *Pseudomonas sp. MT1A3* (g/L) en condiciones de cultivo optimizadas en erlenmeyer y en biorreactor.

Ensayos de bioaumentación en microcosmos

Se evaluó la estrategia de bioaumentación empleando *Pseudomonas MT1A3* en sistemas de microcosmos para el estudio de remoción de hidrocarburos en muestras de suelo crónicamente contaminado por hidrocarburos. El suelo utilizado en este estudio presentó una textura franco-arenosa (8,6% de arcilla, 16,1% de limo y 75,9% de arena). El pH fue de 8,1 y el contenido de agua de 40%. Este suelo mostró una concentración inicial de 7.432 \pm 253 ppm de HT.

Se ensayaron dos condiciones de microcosmos, la atenuación (C) y el bioaumentación (MT1A3). La temperatura del suelo fue 23,2 \pm 4,1 °C durante el experimento. La humedad controlada fue

de $39,27 \pm 2,25$ %, sin diferencias significativas ($p > 0,05$) durante el ensayo para los dos tratamientos. En el caso del pH, se observó que disminuyó de $8,07 \pm 0,04$ a $7,16 \pm 0,03$ para ambas condiciones.

El efecto de los dos tratamientos mostró que los recuentos de BAHT aumentaron entre uno (microcosmos MT1A3) y dos (microcosmos C) órdenes de magnitud a lo largo del ensayo (Figura 3). Los valores finales de recuento de BAHT (a los 60 días) fueron $2,36 \times 10^8$ UFC g^{-1} para los microcosmos C y $5,97 \times 10^8$ UFC g^{-1} para los microcosmos MT1A3, sin diferencias significativas entre ellos ($p > 0,05$). Los recuentos de BDH en los microcosmos C aumentaron de $7,57 \times 10^5$ UFC g^{-1} a $1,48 \times 10^7$ UFC g^{-1} , mientras que los microcosmos MT1A3 tendieron a estabilizar los niveles de BDH a lo largo del estudio, registrándose entre $2,13 \times 10^7$ UFC g^{-1} y $4,77 \times 10^7$ UFC g^{-1} . Al final del ensayo las BDH fueron significativamente mayores ($P < 0,05$) en microcosmos MT1A3.

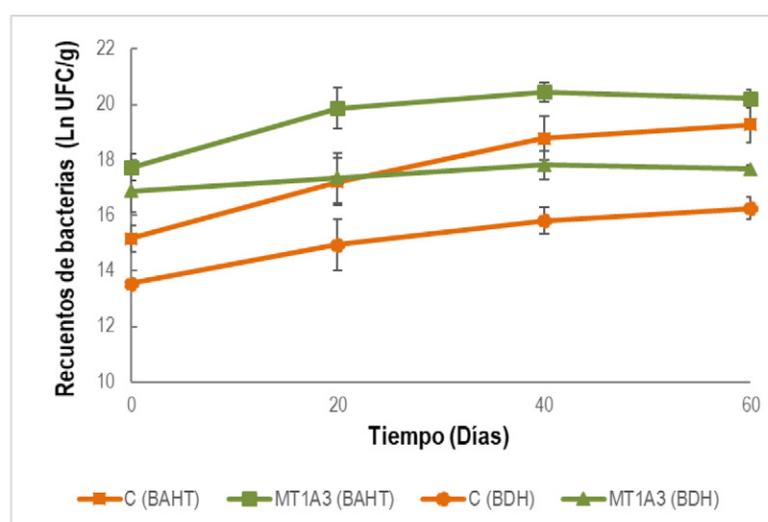


Figura 3. Recuentos de bacterias aeróbicas heterótrofas (BAHT) y de bacterias degradadoras de hidrocarburos (BDH) durante el ensayo de microcosmos con dos condiciones: atenuación natural (C) y bioaumentación (MT1A3).

Los cambios en la concentración de HT se muestran en la Figura 4 y se observa una importante disminución en la concentración de hidrocarburos en los microcosmos C y MT1A3 al final de los 60 días, siendo 902 ppm y 449 ppm de HT respectivamente. Estos resultados representaron una diferencia significativa ($P < 0,001$) entre los tratamientos. Considerando las concentraciones de HT obtenidas a lo largo del ensayo, la mayor diferencia de porcentaje de degradación de hidrocarburos entre los tratamientos se observó a los 40 días, tiempo en el que el bioaumentación consiguió una reducción del 80,86% frente al 62,26% de la atenuación natural. Aunque el microcosmos C mostró una alta reducción de HT, el análisis estadístico indicó una diferencia significativa ($P < 0,001$) de eliminación de HT entre los microcosmos MT1A3 y los microcosmos C a lo largo de todo el ensayo.

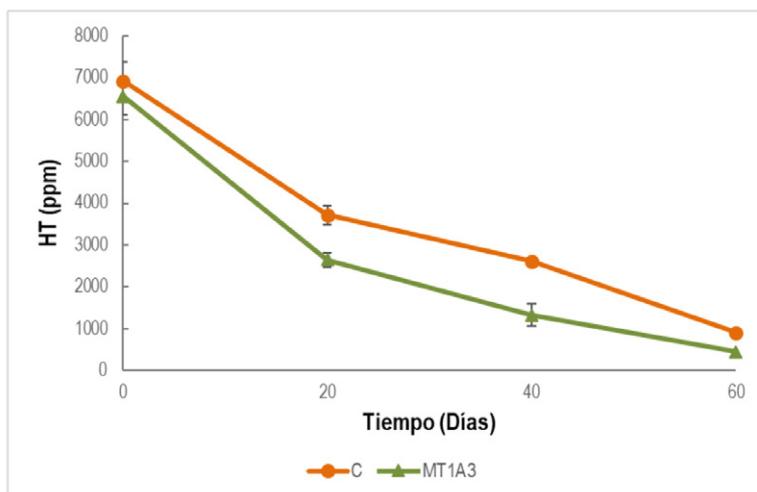
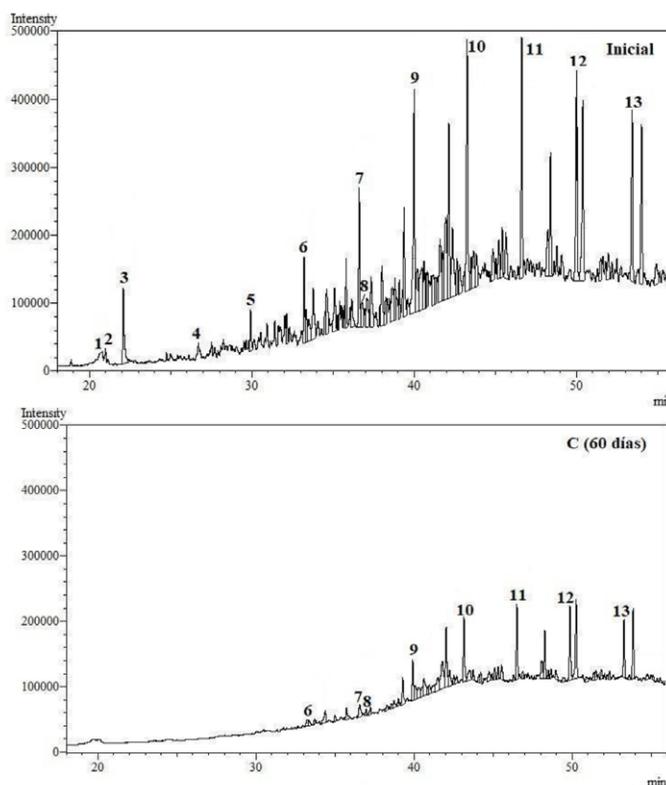


Figura 4. Concentración de hidrocarburos totales (HT) durante el ensayo de microcosmos con dos condiciones: atenuación natural (C) y bioaumentación (MT1A3).

Asimismo, durante la detección de la presencia de hidrocarburos en los ensayos de microcosmos, se pudieron identificar varios picos (Figura 5). Al comienzo del ensayo (día 0) se reportaron 13 compuestos de hidrocarburos, desde C8 a C18, n-octano, 1,2-dimetilciclohexano, 1,2-dimetilciclohexano, n-nonano, n-undecano, n-dodecano, n-tridecano, pentametilbenceno, n-tetradecano, n-pentadecano, n-hexadecano, n-heptadecano, n-octadecano. Al final de ambos tratamientos (60 días) no se detectaron los compuestos de C8 a C11, tales como n-octano, 1,2-dimetilciclohexano, 1,2-dimetilciclohexano, n-nonano, n-undecano.



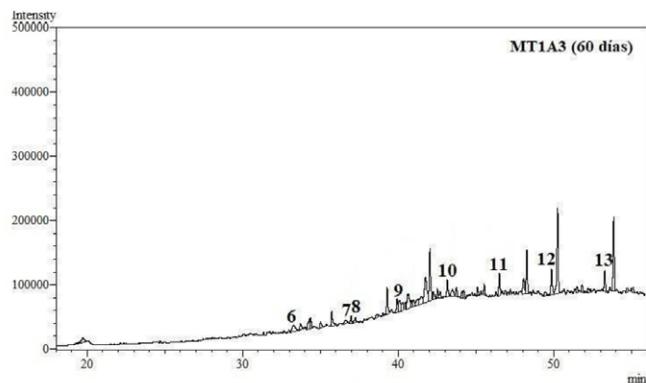


Figura 5. Cromatogramas de microcosmos al día 0 (Inicial), y a los 60 días para la atenuación natural (C) y el bioaumentado (MT1A3). Analitos: (1) n-octano, (2) 1t,2-dimetilciclohexano, (3) 1c,2-Dimetilciclohexano, (4) n-nonano, (5) n-undecano (6) n-dodecano, (7) n-tridecano, (8) pentametilbenceno, (9) n-tetradecano, (10) n-pentadecano, (11) n-hexadecano, (12) n-heptadecano, (13) n-octadecano.

En la Tabla 1 se observan las concentraciones (ppm) de los picos identificados. Estos analitos corresponden al 30 % de los HT del sistema inicial y aproximadamente el 50% de los HT de los sistemas a los 60 días. El perfil de degradación de estos compuestos de hidrocarburos por la acción de *Pseudomonas MT1A3* se correlaciona con resultados previamente publicados, donde la capacidad de degradación de esta bacteria se relaciona predominantemente a compuestos alcanos de C8 a C20 (Conde Molina 2019b).

Tabla 1. Concentración (ppm) de los analitos identificados al inicio (Inicial), y a los 60 días en atenuación natural (C) y en bioaumentado (MT1A3).

Analitos	Concentración (ppm)		
	Inicial	C	MT1A3
n-Octano	63,33	ND	ND
1t,2-Dimetilciclohexano	59,65	ND	ND
1c,2-Dimetilciclohexano	92,37	ND	ND
n-Nonano	40,97	ND	ND
n-Undecano	44,26	ND	ND
n-Dodecano	96,36	17,60	15,15
n-Tridecano	170,83	25,21	10,96
Pentametilbenceno	64,05	14,58	13,22
n-Tetradecano	359,53	51,65	25,79
n-Pentadecano	387,74	87,87	39,93
n-Hexadecano	343,20	102,63	42,32
n-Heptadecano	318,43	95,51	45,31
n-Octadecano	252,54	74,60	40,32
Total	2293,27	469,65	233,00

ND: no detectado

DISCUSIÓN

Este estudio ofrece conocimientos sobre la aplicación de *Pseudomonas sp. MT1A3* como inóculo en estrategias de biorremediación para el saneamiento de suelos contaminados con hidrocarburos. En primera instancia la optimización de la composición del medio de cultivo y las condiciones de incubación permitieron maximizar la producción de biomasa. Los factores que presentaron influencia significativa en la respuesta fueron la concentración del aceite de maní como fuente de carbono, la concentración del NaNO_3 como fuente de nitrógeno y la temperatura de incubación, los cuales pudieron ser optimizados. El diseño Box Behnken validado en un experimento en erlenmeyer permitió obtener una biomasa de *Pseudomonas sp. MT1A3* de acuerdo con los valores predichos. El uso de los diseños estadísticos mediante un número acotado de ensayos, y con el consecuente escalado en un biorreactor, permitió aumentar 35 % la producción demostrando que el diseño estudiado presenta la ventaja de que el medio incluye un co-producto agroindustrial de bajo costo (aceite de maní). El uso de este tipo de sustratos como fuente de carbono contribuye al desarrollo de un proceso sustentable y atractivo en términos de costo-beneficio (Liguori et al., 2013).

Este estudio presenta un enfoque estratégico para la biorremediación sitio específica, ya que *Pseudomonas MT1A3* es un microorganismo autóctono aislado de suelos crónicamente contaminados por hidrocarburos, la cual presentó una alta capacidad remoción de hidrocarburos. Al ser ensayada como inóculo en la estrategia de bioaumentación en un sistema de microcosmos logró degradar el 93,52% de HT a los 60 días. Incluso, se demostró la capacidad de degradación de compuestos alcanos de C8 a C20. Si bien los estudios de bioaumentación son sitio-específicos, el grado de degradación de HT obtenido es comparable a publicaciones previas que reportan la biorremediación de hidrocarburos mediante bioaumentación (Nwankwegu y Onwosi, 2017; Varjani 2015). Por otra parte, la atenuación natural mostró una buena tasa de degradación de HT (86,98% a los 60 días), probablemente como resultado de los procesos abióticos y de la actividad biológica de la microbiota del suelo ya adaptada, lo que comúnmente se considera como el principal mecanismo de eliminación natural de contaminantes (Declercq, 2012). Esto resulta razonable ya que el estudio de microcosmos se ensayó con un suelo crónicamente contaminado, el cual presentaría comunidades microbianas autóctonas adaptadas.

En base a la información presentada, será necesario seguir estudiando el proceso de biorremediación para lograr la óptima biodegradación de hidrocarburos en los suelos contaminados, en función del costo, beneficio y tiempo de recuperación del suelo.

CONCLUSIONES

La aplicación de *Pseudomonas sp. MT1A3*, aislada de un suelo crónicamente contaminado por hidrocarburos en la zona petroquímica de Zárate-Campana en la provincia de Buenos Aires, Argentina, presenta potencial para ser aplicada en la técnica de bioaumentación, lo cual resulta ser una alternativa prometedora combinada con una estrategia de bioestimulación para remediar los suelos del sitio de estudio.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se realizó en el marco de un convenio entre la empresa RHASA y la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Delta, Campana, Buenos Aires, Argentina, y fue financiada por los subsidios IPUTNDE0003640 e IPUTNDE0004532 de la Universidad Tecnológica Nacional.

REFERENCIAS

AZUBUIKE C.C., CHIKERE C.B., OKPOKWASILI G.C. (2016). Bioremediation techniques-classification based on site of application.Principles, advantages, limitations and prospects. World J Microbiol Biotechnol32: 180.

BOX G.E.P., BEHNKEN D.W. (1960). Some new three level designs for the study of quantitative variables. Technometrics 2: 455.

BROCK T.D., MADIGAN M.T. (2015).Biología de los microorganismos. Pearson Educación, Madrid, 2015.

CONDE MOLINA D., LIPORACE F., QUEVEDO C. (2019a). Development of bioremediation strategies based on the improvement of biomass production from isolated strains in hydrocarbon contaminated soils and their application in bioremediation technologies. Braz J Development 5, 7: 10708-10727.

CONDE MOLINA D. (2019b) Bioprocesos orientados al empleo de microorganismos autóctonos y su utilización en tecnologías de biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos. Tesis de Doctorado. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires.

DECLERCQ I., CAPPUYNS V., DUCLOS Y. (2012).Monitored natural attenuation (MNA) of contaminated soils: states of an art in Europe – a critical evaluation. Sci Tot Environ, 426: 393-405.

EL-ALAM I., VERDIN A., FONTAINE J., LARUELLE F., CHAHINE R., MAKLOUF H., SAHRAOUI A.L.H. (2018). Ecotoxicity evaluation and human risk assessment of an agricultural polluted soil. Environ Monit Assess 190, 738.

FARAG S., SOLIMAN N.A., ABDEL-FATTAH Y.R. (2018). Statistical optimization of crude oil bio-degradation by a local marine bacterium isolate *Pseudomonas sp.* 48. J Genet Eng Biotechnol 16: 409–420.

FOCHESATO A.S., GALVAGNO M.A., DOG C., CERRUTI P., GONZALEZ PEREYRA M.L., FLORES M., CAVAGLIERI L. (2018).Optimization and production of probiotic and antimycotoxin yeast biomass using bioethanol industry waste via response surface methodology. Adv Biotechnol Microbiol 8, 1: 1-7.

GEE G.W., BAUDER J.W. (1986). Particle-size analysis, in *Methods of Soil Analysis*, A. Klute, ed., *Physical and Mineralogical Methods* American Society of Agronomy/Soil Science Society of America, Madison: 383-411.

GUARINO C., SPADA V., SCIARRILLO R. (2017). Assessment of three approaches of bioremediation (Natural Attenuation, Landfarming and Bioaugmentation - Assisted Landfarming) for a petroleum hydrocarbons contaminated soil. *Chemosphere* 170: 10–16.

JIANG Y., BRASSINGTON K.J., PRPICH G., PATON G.I., SEMPLE K.T., POLLARD S.J.T. COULON F. (2016). Insights into the biodegradation of weathered hydrocarbons in contaminated soils by bioaugmentation and nutrient stimulation. *Chemosphere* 161: 300–307.

JOHNSEN A.R., WICK L.Y., HARMS H. (2005). Principles of microbial PAH-degradation in soil. *Environ Pollut* 133, 1:71–84.

KATAYAMA A., BHULA R., BURNS G.R., CARAZO E., FELSOT A., HAMILTON D. (2010). Bioavailability of xenobiotics in the soil environment. *Rev Environ Contam Toxicol* 203: 1–86.

LIPORACE F., QUEVEDO C., GIULIETTI A.M. (2012). Isolation of biosurfactant-producing microorganisms at the petrochemical area of Campana. *Biocell* 36: 97.

LIGUORI R., AMORE A., FARACO V. (2013). Waste valorization by biotechnological conversion into added value products. *Appl Microbiol Biotechnol*. 97: 6129-6147.

MARTINEZ ALVAREZ L.M., LO BALBO A., MAC CORMACK W.P., RUBERTO L. (2017). Bioremediation of a petroleum hydrocarbon-contaminated Antarctic soil: Optimization of a biostimulation strategy using response-surface methodology (RSM). *Cold Reg Sci Technol* 119: 61-67.

MONTGOMERY D.C. (2008). *Design and Analysis of Experiments*, John Wiley, New York.

NWANKWEGU A.S., Onwosi C.O. (2017). Bioremediation of gasoline contaminated agricultural soil by bioaugmentation. *Environ Technol Innov*, 7: 1-11.

RABODINIRINA S., RASOLOMAMPINANINA R., KIER F., DRIDER D., MERHABY D., NET S., OUDDANE B. (2019). Degradation of fluorene and phenanthrene in PAHs-contaminated soil using *Pseudomonas* and *Bacillus* strains isolated from oil spill sites. *J Environ Manage* 232: 1–7.

RUBERTO L.A.M., DIAS R., LO BALBO A., VAZQUEZ S.C., HERNANDEZ E.A., MAC CORMACK W.P. (2009). Influence of nutrients addition and bioaugmentation on the hydrocarbon biodegradation of a chronically contaminated Antarctic soil. *J Appl Microbiol* 106: 1101–1110.

SEMPLE K.T., REID B.J., FERMER T.R. (2001). Impact of composting strategies on the treatment of soils contaminated with organic pollutants. *Environ Pollut* 112, 2: 269–283.

STROUD J.L., PATON G.I., SEMPLE K.T. (2007) Microbe-aliphatic hydrocarbon interactions in soil. Implications for biodegradation and bioremediation. *J Appl Microbiol* 102, 5: 1239–1253.

VAN HAMME J.D., SINGH A., WARD O.N.W. (2003). Recent advances in petroleum microbiology. *Microbial Mol Biol Rev* 67,4: 503-549.

VARJANI S.J. (2017). Microbial degradation of petroleum hydrocarbons. *Bioresour Technol* 223: 277–286.

VARJANI S.J., RANA D.P., JAIN A.K., BATEJA S., UPASANI V.N. (2015). Synergistic ex-situ biodegradation of crude oil by halotolerant bacterial consortium of indigenous strains isolated from on shore sites of Gujarat, India. *Int Biodeter Biodegr*, 103: 116–124.

WHITFIELD J. (2003). Oil spills. How to clean a beach. *Nature* 422, 6931: 464–466.

ESTUDIO COMPARADO DE LOS ESTILOS DE APRENDIZAJE EN ESTUDIANTES DE INGENIERÍA EN CONTEXTO DE VIRTUALIDAD FORZADA POR COVID-19

Recibido: 31 de Mayo, 2021 • Aceptado: 4 de Julio, 2021

Autores:

María Cristina Kanobel^{1*}

 <http://orcid.org/0000-0002-3086-1907>

Débora Mirta Chan²

 <http://orcid.org/0000-0003-0125-7345>

Roxana Guadalupe Ramírez³

 <http://orcid.org/0000-0003-3070-0422>

¹ Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Avellaneda. Ramón Franco 5050, CP1874, Avellaneda, Buenos Aires, Argentina.

² Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires. Medrano 951 CP1179-CA-BA, Argentina.

³ Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Paraná. Almafuerde 1033, CP 3100, Paraná, Entre Ríos, Argentina

Contacto:

*Autor a quien la correspondencia debe ser dirigida: mckanobel@gmail.com

Roles autorales:

Conceptualización: María Cristina Kanobel; Débora Mirta Chan, Roxana Guadalupe Ramirez

Curaduría de datos: María Cristina Kanobel, Débora Mirta Chan, Roxana Guadalupe Ramirez

Investigación: María Cristina Kanobel, Débora Mirta Chan, Ramírez, Roxana Guadalupe Ramirez

Metodología: María Cristina Kanobel, Débora Mirta Chan, Roxana Guadalupe Ramirez

Redacción – Borrador original: María Cristina Kanobel, Débora Mirta Chan, Roxana Guadalupe Ramirez

Escritura – Revisión y Edición: María Cristina Kanobel, Débora Mirta Chan, Roxana Guadalupe Ramirez

Cómo citar este artículo:

Kanobel, M.C., Chan, D.M., Ramírez, R.G. Estudio comparado de los estilos de aprendizaje en estudiantes de ingeniería en contexto de virtualidad forzada por COVID-19. . Revista Rumbos Tecnológicos, Volumen 13, 2021, pp. 51-66. Secretaría de Ciencia, Tecnología y Posgrado, Facultad Regional Avellaneda, Universidad Tecnológica Nacional. <http://rumbostecnologicos.utnfrainvestigacionyposgrado.com/tipo-de-articulo/articulos/estudio-comparado-de-los-estilos-de-aprendizaje-en-estudiantes-de-ingenieria-en-contexto-de-virtualidad-forzada-por-covid-19/>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

RESUMEN

El ciclo lectivo 2020 sorprendió a docentes y estudiantes de Argentina con un ingreso abrupto en una virtualidad forzada debido a las medidas sanitarias preventivas instituidas por el Gobierno Nacional a causa de la pandemia por COVID-19. Con estos cambios, el estudiantado universitario se vio desafiado con la profusión de tecnologías y metodologías propuestas por las distintas cátedras. Este trabajo se propone describir los estilos de aprendizaje del alumnado que cursó asignaturas en este contexto comparado con los estilos de aprendizaje de estudiantes de ingeniería en marcos de presencialidad. Para considerar los estilos de aprendizaje se utilizó la clasificación propuesta por Felder y Silverman. Se basó este estudio en una muestra de estudiantes de los primeros años de dos facultades regionales de la Universidad Tecnológica Nacional y estudios referenciales que utilizaron dicha clasificación en contextos de presencialidad. Esta investigación fue desarrollada en el marco de un proyecto de investigación homologado en la Universidad Tecnológica Nacional.

Palabras Claves: Estilos de aprendizaje, Estudiantes de ingeniería, Estrategias de enseñanza, Competencias

ABSTRACT

During 2020 in Argentina, both teachers and students abruptly were forced to enter a virtual reality because of preventive health measures instituted by the National Government when COVID-19 pandemic started. In this context, engineering students were challenged with the profusion of technologies and methodologies proposed by the different chairs. This work aims to describe the learning styles of students in COVID-19 context compared to learning styles of students in face-to-face environments. Learning styles described by Felder and Silverman were considered to guide this description. The study was based on a sample of students from the first years of two regionals of the Universidad Tecnológica Nacional and reference studies that used Felder and Silverman classification. This paper is part of a research developed in Universidad Tecnológica Nacional.

Key-words: Learning styles, Engineering students, Teaching strategies, Teaching and learning, Competences

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la formación de profesionales en ingeniería se basaba en la transmisión de conocimientos y experiencias de docentes, donde el alumnado debía abstraer y aplicar lo aprendido. Actualmente, en función de las demandas sociales, las carreras de ingeniería se han propuesto posicionarse en el marco de la formación por competencias (Tobón, 2013), planteando que el pensamiento multinivel es la base de las competencias complejas. De esta forma se establece que la universidad debe formar profesionales no solo en el “saber” y en el “saber hacer” (Giordano Lerena & Cirimelo, 2013) sino también en el “saber ser”. Este escenario plantea la necesidad de promover cambios a partir de una visión más integral en la formación de profesionales de la ingeniería que requiere la adquisición de una mirada más amplia y profunda, desde una perspectiva multidimensional e interdisciplinar (Serna y Serna, 2017).

Particularmente, el nivel universitario argentino está inmerso en una sociedad donde el avance en términos de tecnología es constante. Esta situación demanda una adaptación curricular que permita satisfacer las necesidades del mundo actual, impulsando innovaciones en disciplinas científicas y tecnológicas, que facilite la inserción en el campo laboral (Mastache, 2009), generando así un espacio donde coexistan saberes clásicos y nuevos conocimientos. Asimismo, según describe Aguerrondo (2009), el conocimiento que circula por los sistemas educativos formales ha perdido su impronta debido a un cambio en el modelo científico hegemónico del último siglo, basado en el concepto de racionalidad tradicional. Por otro lado, las carreras de Ingeniería no pueden permanecer ajenas al avance tecnológico y al manejo de grandes bases de datos (Big Data) que las conduce a la necesidad de incluir Tecnologías de la Información y de la Comunicación (TIC) como estrategias didácticas para fortalecer los procesos de enseñanza y aprendizaje.

Según el CONFEDI¹ (2016) el perfil del ingeniero iberoamericano debe enmarcarse en cuatro dimensiones: académica, profesional, social y ambiental. La dimensión académica se basa en conocimientos, habilidades, aptitudes y actitudes propias de la formación científica, profesional y humanística. La dimensión profesional pone en práctica la adquisición de habilidades mediante el desempeño en actividades propias de la carrera, caracterizada y regulada por cada uno de los países en cuestión. La dimensión social considera los conocimientos de la realidad social, económica y cultural del entorno, para liderar y solucionar problemas específicos de la región. Por último, la dimensión ambiental abarca los conocimientos del entorno y la tecnología, para la elaboración y desarrollo de proyectos sostenibles de ingeniería que preserven el medio ambiente.

Este planteo hace repensar la práctica docente y propone redefinir la forma de enseñar, considerando al estudiantado de ingeniería como centro de los procesos de enseñanza y aprendizaje, teniendo en cuenta un andamiaje de instrumentos de carácter cognitivo, físico e instrumental que hagan posible que la actividad cognitiva del estudiante se desarrolle, logrando alcanzar de esta manera las metas planteadas (Maturano & Mazzitelli, 2017).

En este sentido, la experiencia docente muestra que cada estudiante procesa la información de acuerdo con su matriz de experiencias previas de aprendizaje a fin de adquirir un determinado objetivo cognitivo o procedimental. Esto pone en evidencia la diversidad de respuestas del alumnado frente a los estímulos propuestos por las estrategias de enseñanza propuestas por el profesorado. Los diferentes niveles de autonomía que poseen, especialmente en los primeros trayectos de la

¹CONFEDI: Consejo Federal de Decanos de Ingeniería (Argentina)

formación en lo que respecta al aprendizaje, se manifiestan en los alcances de sus elaboraciones y la calidad de sus producciones.

Este trabajo se propone describir características del estudiantado que cursa los primeros años de carreras de ingeniería de la UTN en relación con su vinculación con el conocimiento y las formas en que construyen sus aprendizajes, tanto dentro como fuera de espacios académicos, en un contexto de virtualidad forzada debido a la pandemia de COVID-19 y establecer una comparación con escenarios presenciales previos.

MARCO TEÓRICO

Si bien el diseño de estrategias de enseñanza tiene como propósito que el estudiantado mejore su aprendizaje (Mayorga Fernández & Madrid Vivar, 2010), tanto para el diseño de ambientes virtuales de enseñanza y aprendizaje como para contextos híbridos y presenciales, es fundamental el conocimiento preliminar de sus *estilos de aprendizaje*. De esta forma se entiende que puede ser posible relacionar cada *estilo de aprendizaje* con estrategias adecuadas de enseñanza (Freiberg-Hoffmann, Fernández-Liporace & Ledesma; 2017) ajustadas a las características del alumnado y al contexto donde se desarrollan los procesos de enseñanza y aprendizaje. El análisis de enfoques de *estilos de aprendizaje* nos da acceso a la forma en que los estudiantes procesan e incorporan los saberes, al mismo tiempo que permite identificar cuáles son las estrategias de enseñanza que propiciarían dichos procesos (Tomas, 2017).

Según explica Keefe (1988) y reafirma Navarro (2008), los *estilos de aprendizaje* se relacionan con características cognitivas, psicológicas y afectivas del aprendizaje que pone en juego cada estudiante para percibir, interactuar y responder en un ambiente educativo. En este sentido, Rodríguez et al. (2006) afirma que los *estilos de aprendizaje* refieren a formas típicas y relativamente estables que el alumnado pone en juego en procesos de aprendizaje.

Específicamente en las carreras de ingeniería, este conocimiento previo de los *estilos de aprendizaje* constituye una herramienta indispensable a la hora de mejorar la mediación pedagógica, teniendo en cuenta que existe un vínculo indisoluble entre los procesos de aprendizaje y de enseñanza. Este conocimiento de los estilos de aprendizaje es esencial dado que, el estudiantado accede a los primeros años del nivel universitario con distintas orientaciones en su formación de nivel medio, diversidad en el tiempo transcurrido desde la finalización de sus estudios secundarios y distintos niveles de habilidades adquiridas en el manejo de herramientas tecnológicas.

Las primeras investigaciones sobre *estilos de aprendizaje* surgen en la década del '50 (Cabrera & Fariña, 2005). Diversos estudios posteriores plantearon cuatro estilos diferentes de aprendizaje: activo, reflexivo, teórico y pragmático (Rodríguez et al., 2015) que permiten caracterizar las tendencias en las que se destaca cada estudiante para el construir su aprendizaje. Es importante resaltar que, según explica Cabrera Ruiz (2009), el entorno es un factor fundamental para potenciar o disminuir el camino hacia la autonomía al aprender y en miras de aprender a aprender.

La clasificación de estilos de aprendizaje propuesta por Felder y Silverman citado en Ocampo et al. (2014), se basa en una serie de escalas relativas de acuerdo con la forma en que los/as estudiantes captan, perciben y procesan la información. Felder citado por Zamata (2018) considera que la información percibida por cada estudiante puede ser del tipo sensorial a través de la visión, los sonidos y las percepciones físicas o intuitivas a través de los recuerdos, ideas o emociones.

Además, explica que la información puede ser percibida de manera más eficiente en forma visual a través de fotos, gráficos, imágenes, demostraciones o de forma verbal en base a palabras, fórmulas y/o explicaciones que hayan sido significativo para ellos. Por otra parte, pueden presentar características que demuestren ser más inductivos o deductivos en su forma de razonar o de analizar la información y pueden ser más activos o reflexivos y realizar procesos de adquisición de saberes en forma secuencial o global.

Referenciados en esta clasificación, Ocampo Botello et al. (2014) explican que cada estudiante puede caracterizarse en forma permanente o no en cada una de estas categorías dicotómicas ya que los mismos aprendizajes o la relación con sus pares pueden ejercer influencia sobre estos estilos.

PROPÓSITOS

Esta investigación pretende dar respuesta a las siguientes preguntas:

- ¿Qué estilos de aprendizaje son más frecuentes en el estudiantado de los primeros años de carreras de ingeniería?
- ¿Existen diferencias entre los estilos de aprendizaje en distintas orientaciones?

Las respuestas a estas preguntas podrían contribuir a indagar sobre nuevas cuestiones tales como:

- ¿Qué tipo de diseños pedagógicos podrían implementarse en las prácticas docentes en carreras de Ingeniería, que permita generar un abordaje integral de los estilos de aprendizaje?
- ¿Es posible disminuir la deserción clásica del estudiantado en los primeros años de estas carreras teniendo en cuenta estas variables?

Este estudio sostiene que los estilos de aprendizaje que adoptan nuestras y nuestros estudiantes pueden resultar relevantes para el diseño e implementación de estrategias didácticas que promuevan el fortalecimiento de su autonomía, especialmente en contextos como el actual, o en nuevas realidades en contextos híbridos o de aislamiento social. En este sentido, Felder y Brent (2005) afirman que los diseños pedagógicos que incluyan al colectivo de estudiantes con distintos estilos de aprendizaje podrían generar entornos de enseñanza y aprendizaje equilibrados que contemplen las diferentes necesidades de todo el estudiantado, idea compartida también por Carvajal et al. (2007). De esta manera, teniendo en cuenta las diversas formas de aprendizaje sería posible rediseñar las clases, ajustando los programas para potenciar el aprendizaje autónomo en el marco de las actividades que se desarrollan en el aula tanto de manera sincrónica como asincrónica (Amira & Jelasa, 2010).

Teniendo en cuenta todo lo expresando, esta investigación se centra en el análisis de los estilos de aprendizaje de estudiantes de los primeros años de las carreras de Ingeniería de la Universidad Tecnológica Nacional en el ciclo 2020 en el contexto de pandemia dada por la COVID-19 teniendo en cuenta estudios referenciales dados en contextos presenciales.

METODOLOGÍA

Para la investigación se tomó como base una muestra de 299 estudiantes de las regionales Paraná y Buenos Aires de la Universidad Tecnológica Nacional, que cursan materias correspondien-

tes a los dos primeros años de carreras de ingeniería a quienes se administró un cuestionario ILS Index of Learning Styles. Estos grupos de estudiantes corresponden a las carreras de Ingeniería Electromecánica (27.4%), Ingeniería Civil (37.6%), Ingeniería en Sistemas (4.4%) y los restantes a Ingeniería Química, Industrial o Mecánica.

La encuesta fue administrada en formato online utilizando el modelo propuesto por Felder y Silverman (1988). Este instrumento se basa en 44 preguntas de selección múltiple que permiten identificar mediante una escala numérica el estilo de aprendizaje dominante entre dos opuestos, definidos sobre cuatro pares de categorías dicotómicas. El cuestionario permite caracterizar el estilo de aprendizaje del estudiantado destacando tanto sus hábitos frecuentes, así como sus fortalezas y dificultades que se manifiestan en los procesos de aprendizaje. Concretamente, cada estudiante es clasificado según los siguientes ejes: activo/reflexivo, sensitivo/intuitivo, visual/verbal y secuencial/global. Cada dimensión alude a aspectos diferentes de la forma de percibir y aprender de los estudiantes que, según Felder y Silverman (1988), se podría sintetizar de la siguiente forma:

- Activo – Reflexivo: describe el modo en el cual los estudiantes procesan la información para convertirla en saberes o competencias,
- Sensitivo – Intuitivo: hace alusión a la forma en que los sentidos y la mente perciben las entidades de su entorno.
- Visual – Verbal: se refiere a la forma de abordar la información a través de los sentidos.
- Secuencial – Global: es relativa a la forma en que los individuos entienden y procesan la información (Ocampo Botello et al., 2014).

En la tabla 1 se describe cada uno de los estilos nombrados en el párrafo anterior.

Tabla 1. Características según los estilos de aprendizaje

Estilos	Características
Activo	Retiene y comprende mejor la información cuando hace algo activo con ella. Prefieren aprender ensayando y trabajando con pares.
Reflexivo	Prefieren aprender reflexionando, pensando y trabajando solos.
Sensitivo	Les gusta resolver problemas siguiendo procedimientos muy bien establecidos. Es concreto y práctico.
Intuitivo	Conceptual e innovador. Comprende rápidamente los nuevos conceptos.
Visual	La información lo prefiere tener de las representaciones visuales, diagramas de flujo, imágenes, entre otros.
Verbal	Prefiere tener la información en forma escrita o hablada, ya que lo recuerda mejor.
Secuencial	Aprende paso a paso, en la medida que exista una secuencia lógica. Es ordenado y lineal.
Global	Puede resolver problemas complejos rápidamente y poner juntas cosas en forma innovadoras.

Fuente: elaboración propia (2021)

Para cada estilo estudiado, se asignan puntuaciones que varían entre -11 y 11, de modo tal que los valores bajos aproximan al predominio de un estilo y puntuaciones altas refieren al dominio del otro.

Los datos de las muestras obtenidas fueron analizados con el software libre R y el entorno de programación RStudio con licencia GLP. Este programa se empleó tanto para procesar las valoraciones cuantitativas relevadas de cada categoría para cada estilo de aprendizaje, así como para la representación gráfica de los resultados.

Para visualizar los estilos predominantes en el estudiantado relevado se utilizaron diagramas de caja y violín donde puede observarse las diferencias. Luego, para analizar cada carrera en particular, se utilizaron arboles de regresión que describen la predominancia de ciertos estilos en cada una de las carreras. También se compararon las dimensiones predominantes por género. Para comparar los vectores medios definidos por estos cuatro estilos en cada una de las carreras se realizó un análisis de la varianza multivariado (MANOVA).

RESULTADOS

Para realizar el análisis de los resultados obtenidos del cuestionario autoadministrado respondido por los grupos de estudiantes de las Facultades Regionales Paraná (FRP) y Buenos Aires (FRBA) se utilizó la clasificación dada por Felder y Silverman para cada una de las cuatro dimensiones. En la Tabla 2 se describe cada categoría junto con los rangos de puntuaciones asignados que se observa al final de cada columna.

Tabla 2.: Ponderación entre categorías

DIMENSIONES	CATEGORÍAS POR DIMENSIÓN					
	<i>Activo Fuerte</i>	<i>Activo Moderado</i>	<i>Activo Leve</i>	<i>Reflexivo Leve</i>	<i>Reflexivo Moderado</i>	<i>Reflexivo Fuerte</i>
	Sensitivo Fuerte	Sensitivo Moderado	Sensitivo Leve	Intuitivo Leve	Intuitivo Moderado	Intuitivo Fuerte
	Visual Fuerte	Visual Moderado	Visual Leve	Verbal Leve	Verbal Moderado	Verbal Fuerte
Secuencial Fuerte	Secuencial Moderado	Secuencial Leve	Global Leve	Global Moderado	Global Fuerte	
PUNTUACIÓN	-11 a -9	-7 a -5	-3 a -1	1 a 3	5 a 7	9 a 11

Fuente: elaboración propia (2021)

Realizando un primer análisis del total de estudiantes que participaron del estudio, se visualiza en los diagramas de caja y violín de la Figura 1 que distribuciones de estilos Secuencial- Global (SG) y Sensitivo- Intuitivo (SI) son levemente asimétricas por la izquierda mientras que las correspondientes a estilos Visual- Verbal (VV) y Activo- Reflexivo (AR) son asimétricas por la derecha para el grupo general siendo además los valores medianos (representados por el segmento medio de la caja) muy diferentes para cada categoría.

Se observa también que las variables SI y VV registran valores negativos para alrededor del 75% del estudiantado evaluado, indicando que una gran mayoría de los estudiantes en este nivel de la carrera de ingeniería tienen pensamientos con sesgo hacia lo visual y lo sensitivo. Respecto al estilo activo-reflexivo se aprecia un leve un sesgo hacia activo. Al observar en la misma figura el estilo SG, se distribuyen en partes iguales las puntuaciones positivas y negativas. También se puede destacar la presencia de algunos valores particulares muy alejados del resto de la muestra observada en el caso de sensitivo intuitivo y en el caso de visual verbal.

El árbol de regresión de la Figura 2 utiliza como variable objetivo la puntuación en la dimensión AR e indica que para el 100% de los estudiantes encuestados el promedio es -1.9 que corresponde a un estilo Activo leve. Sin embargo, en el grupo de las carreras de orientación civil, electromecánica, eléctrica e industrial se observa una clasificación de dichos estudiantes en dos grupos:

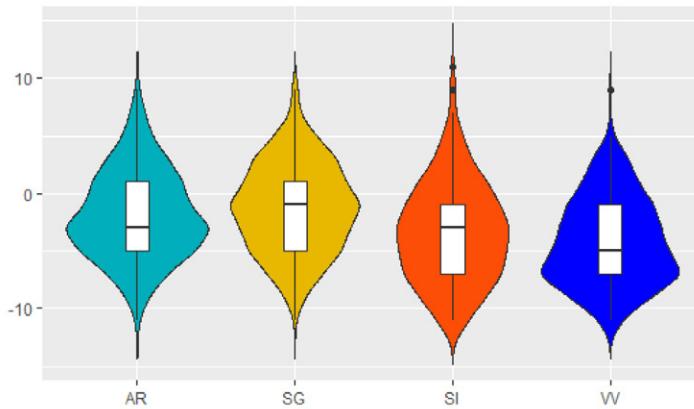


Figura 1. Distribución Comparativa de los Estilos de Aprendizaje.
Fuente: elaboración propia (2021)

quienes no pertenecen a estas carreras y que constituyen el 8% de la base, tiene una puntuación media de 1.1 que los ubica en la categoría de *reflexivo leve*. En cambio, en el grupo de los estudiantes de las cuatro carreras mencionadas el promedio es -2.1 que corresponde a *activo leve*. Sin embargo, se observa una nueva subdivisión entre los estudiantes de estas cuatro carreras que corresponde a la puntuación de ellos lograda en la dimensión VV y con puntuaciones inferiores a -2, que representan el 66% de la muestra relevada, con una puntuación media de -2.7. Esto significa que se acercan al estilo *activo moderado*. Por otro lado, aquellos que obtuvieron puntuaciones superiores a -2 la dimensión VV obtuvieron -0.72 que los acerca al límite entre *activos* y *reflexivos*, siendo este grupo el 26% del total observado.

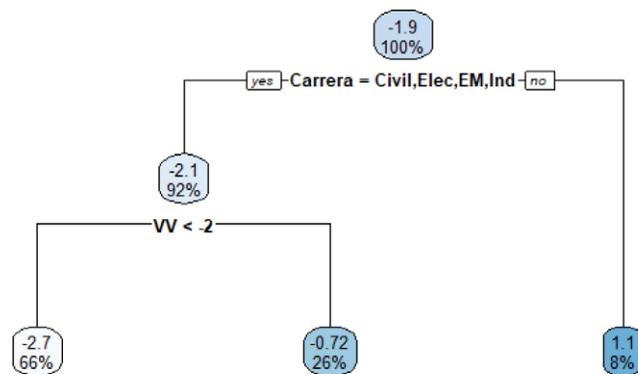


Figura 2. Árbol de regresión variable respuesta Activo Reflexivo

Fuente: elaboración propia (2021)

El árbol de regresión de la Figura 3 utiliza como variable objetivo la puntuación en la dimensión SI e indica que para el 100% de los estudiantes encuestados el promedio es -3.4 que representa a un estilo Activo moderado. Sin embargo, en el grupo de las carreras de orientación civil, industrial, informática, mecánica y química que constituyen el 47% del total encuestado se observa que la mayoría de ellos tiene una puntuación media de -4 que los ubica en la categoría de *sensitivo moderado*. En cambio, en el grupo de los estudiantes que no pertenecen a las carreras mencionadas el promedio es -2.5 que corresponde a *secuencial global*. Además, es interesante observar que, en este grupo el género predominante con este puntaje es masculino. Asimismo, solamente un 19% del total tiene puntajes promedio de -3.6 que corresponde a *activo moderado*.

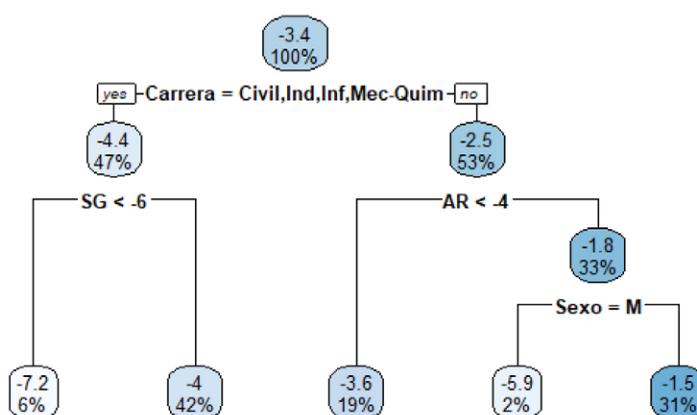


Figura 3. Árbol de regresión variable respuesta Sensitivo Intuitivo
Fuente: elaboración propia (2021)

El árbol de regresión de la Figura 4 utiliza como variable objetivo la puntuación en la dimensión VV. Los resultados muestran que el grupo relevado obtiene un promedio es -4.2 que representa a un estilo Activo moderado. Por otro lado, en el grupo de las carreras de orientación civil, informática y electromecánica, que representan 83% del total del estudiantado, se observa que una gran mayoría, obtiene una puntuación media de -5.1 que los ubica en la categoría de *sensitivo moderado*.

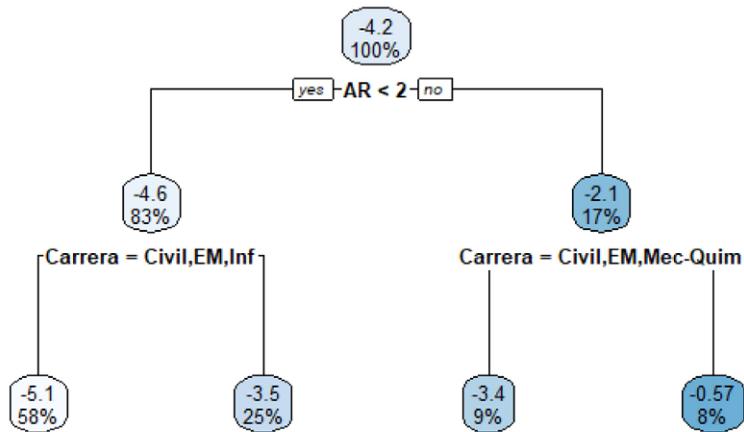


Figura 4. Árbol de regresión variable respuesta Visual-Verbal
Fuente: elaboración propia (2021)

La Figura 5 describe el árbol de regresión que utiliza como variable objetivo la puntuación media obtenida en la dimensión SG. Los resultados muestran que el grupo relevado obtiene un promedio -1.3 que corresponde a un estilo *secuencial leve*. Por otro lado, aparecen dos subgrupos diferenciados según género: el 80% con un puntaje medio de -0.9 adopta un estilo *secuencial global leve* y corresponde al género masculino.

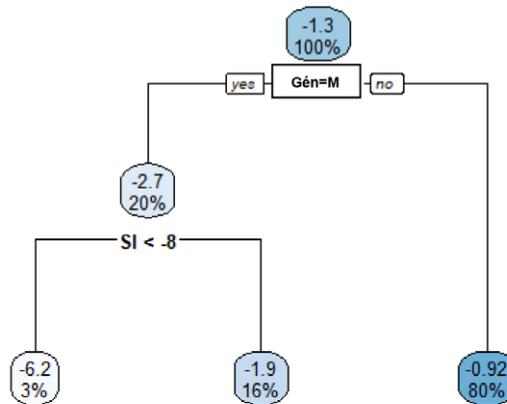


Figura 5. Árbol de regresión variable respuesta Secuencial-Global
Fuente: elaboración propia (2021)

Al hacer un análisis sobre posibles relaciones entre género y el estilo de aprendizaje, no se observan diferencias significativas para ninguna de las características analizadas. Si bien el instrumento utilizado para relevar información incluía más de dos alternativas de respuesta en el ítem

género (masculino, femenino, otros, prefiero no responder), las respuestas dadas por el total de estudiantes que participaron del estudio se limitaron a las opciones masculino y femenino que podría atribuirse al tipo de carrera donde fue realizado el relevamiento, es decir, a posibles sesgos de género en la población de estudiantes que cursan ingeniería.

Los valores resumen por género se presentan en la Figura 6.

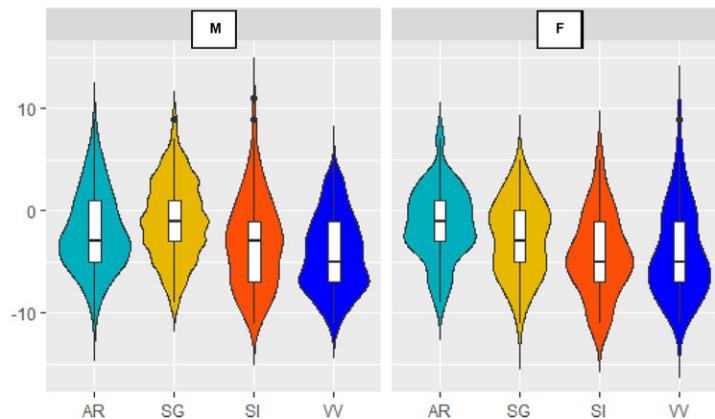


Figura 6. Distribución de los estilos según género
Fuente: elaboración propia (2021)

Asimismo, se hallaron diferencias estadísticamente significativas entre los valores centrales de la distribución de SG entre las regionales que participaron del estudio. Los valores medios por regional se presentan en la Figura 7 (p valor $\ll 0.001$).

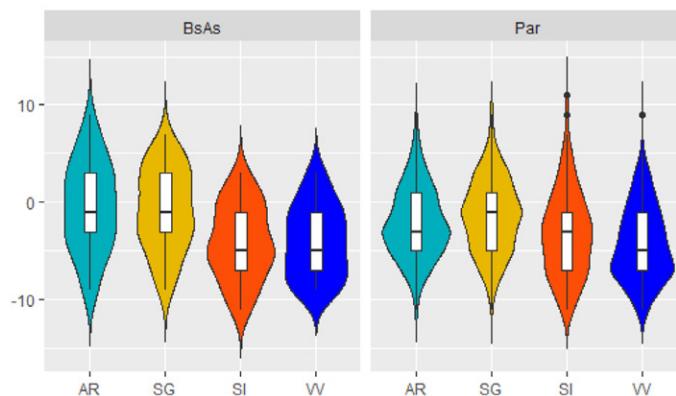


Figura 7. Distribución de los estilos de aprendizaje según Regional
Fuente: elaboración propia (2021)

Al comparar las medianas de cada variable en las distintas carreras surgieron diferencias estadísticamente significativas para el caso de VV (p valor = 0.004) y para AR (Test de la mediana de Mood, p valor = 0.028).

Por último, al realizar un análisis multivariado de la varianza se concluye que existen diferencias estadísticamente significativas entre los vectores medios que tienen por componentes las dimensiones de aprendizaje definidas por Felder y Silverman, tanto respecto del tipo de carrera observada como también respecto del género, siendo más significativa la diferenciación por carrera (p valor <0.0001) que por género (p -valor =0.02104) y concluyendo que no hay interacción significativa entre ambas variables. Asimismo, al analizar cada una de las cuatro dimensiones por separado, se observan diferencias significativas por carrera en los primeros tres casos, pero no en SG. Sin embargo, esta dimensión es la única en la cual el género es estadísticamente significativo en los modelos univariados.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Si bien Becher (2001, pp 38-39) sostiene que “las actitudes, las actividades y estilos cognitivos de las comunidades científicas que representa una determinada disciplina están estrechamente ligados a las características y estructuras de los campos de conocimientos con las comunidades que están profesionalmente comprometidas”, podemos destacar que el comportamiento del grupo de estudiantes de ingeniería que participaron de esta investigación no presenta un estilo uniforme de aprendizaje.

En un contexto previo al de la Pandemia de COVID- 19, Tocci (2014), a partir de un estudio realizado en Argentina, expresa que “los estudiantes de ingeniería tienen una tendencia a ser activos, sensoriales, visuales, inductivos y secuenciales, van a aprender mejor cuando se les presenta una actividad corta (activos) donde van obteniendo en forma secuencial [...] resultados rápidos, son concretos, prácticos y les gusta del trabajo manual (sensitivos), donde la observación les permita recordar lo que ven e inferir en los hechos (visuales e inductivos)” (pág.114). Por su parte, Puello et al. (2014), de los resultados obtenidos en una investigación desarrollada con estudiantes de carreras de Ingeniería en Colombia concluyen, en la mayoría de ellos, predominan los estilos activo, sensitivo, visual y secuencial.

Sin embargo, los resultados obtenidos en este trabajo, relevado en contexto determinado por la pandemia debida a la COVID-19 y bajo un esquema de virtualidad forzada, indican que los grupos de estudiantes con predominio racional se distinguen en subgrupos donde predomina alguna de sus funciones racionales: visual- verbal, secuencial-global y sensitivo- intuitivo. Estas conclusiones tienen puntos en común con resultados reportados por Arias Gallegos (2011) en contextos de presencialidad. Asimismo, Rehbein, Farmer, Martínez Pool, Fisher y Fritz, en estudios desarrollados en una universidad chilena en contextos presenciales, concluyen que el alumnado de carreras de Ingeniería presenta perfiles con un elevado predominio racional (Ventura et al., 2012). Es probable que el contexto fortaleciera algunos aspectos como el racional que se aprecia en este conjunto de estudiantes.

En esta investigación, aprovechando la granularidad debida a las orientaciones, se distinguen tres clústeres con distintas características que resaltan, por un lado, la influencia de la orientación y, por otro, las características de los estilos de aprendizaje del estudiantado. (Beaujean, Firmin, Attai, Johnson, Firmin & Mena, 2011).

CONCLUSIONES

En esta investigación se plantea que el estudiantado ingresa a la universidad con diferentes estilos de aprendizaje, que se correlacionan frecuentemente con el tipo de disciplina elegida. Entre los estudiantes de Ingeniería que participaron del relevamiento se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas para los estilos de aprendizaje activo, visual y sensitivo. Esto indica que entre el alumnado se encuentra, con mayor frecuencia, el estilo práctico, la preferencia por el material concreto, el apego a los hechos y a los procedimientos lógicos. Esto sugiere que el incremento de actividades experimentales podría favorecer aprendizajes de mayor calidad en este contexto. Asimismo, podemos concluir que, al menos los grupos de estudiantes que participaron de nuestro estudio desarrollado en los primeros años de la carrera suelen apoyarse en el pensamiento visual.

Si bien este estudio no permite una generalización para la población de estudiantes de ingeniería, contribuye a una primera aproximación a los estilos de aprendizaje característicos para estudiantes de esta carrera basados en la clasificación definida por Felder y Silverman.

Consideramos que los resultados de la presente investigación aportan información de valor para dar respuesta a la demanda de la sociedad actual en cuanto a la preferencia de egresados universitarios capaces de ejercer su profesión aplicando los distintos estilos de aprendizaje. Esto permitiría a la universidad promover experiencias enriquecedoras de enseñanza para su estudiantado que favorezcan la construcción de un andamiaje de competencias desde la universidad para el futuro desarrollo profesional en la sociedad.

TRABAJOS FUTUROS

Para finalizar, se puede destacar que los resultados del presente estudio sobre identificación de estilos de aprendizajes posibilitan el trazado de futuras líneas de investigación asociadas al diseño e implementación de prácticas didácticas en carreras de ingeniería que tengan en cuenta los estilos de aprendizaje más usuales en el estudiantado para mejorar su aprendizaje, como también la clasificación de estos estilos con otros criterios complementarios que permitan detallar y evaluar estas estrategias.

AGRADECIMIENTOS

Las autoras agradecen a los grupos de estudiantes de la Regional Buenos Aires y Regional Paraná que participaron del estudio. Esta investigación fue llevada a cabo en el marco del proyecto de investigación UTN TEUTIAV0007732TC (2020-2021).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUERRONDO, I. (2009). Conocimiento complejo y Competencias Educativas. IBE Working Papers on Curriculum Issues, (8), Ginebra, Suiza: UNESCO.

AMIRA, R., JELASA, Z. (2010). Teaching and Learning Styles in Higher Education Institutions:

Do They Match? *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 7, 680-684.

ARIAS GALLEGOS, W. (2011). Estilos de aprendizaje en estudiantes universitarios y sus particularidades en función de la carrera, el género y el ciclo de estudios. *Revista de Estilos de Aprendizaje*, 8(8), 93-108.

BEAUJEAN, A., FIRMIN, M., ATTAI, S., JOHNSON, C., FIRMIN, R. & MENA, K. (2011). Using personality and cognitive ability to predict academic achievement in a young adult sample. *Personality and Individual Differences*, 51, 709-714.

BECHER, T. (2001). *Tribus y territorios académicos. La indagación intelectual y las culturas de las disciplinas*. Barcelona: Gedisa.

CABRERA, A. J Y FARIÑAS, L. (2005) "El estudio de los estilos de aprendizaje desde una perspectiva vigotskiana: una aproximación conceptual". *Revista Iberoamericana de Educación*. Disponible en: <http://www.rieoei.org/deloslectores/1090Cabrera.pdf>. Consultado: 01/06/2018

CABRERA RUIZ, I. (2009). Autonomía en el aprendizaje: direcciones para el desarrollo en la formación profesional. *Actualidades investigativas en educación*. Disponible en: <http://revista.inie.ucr.ac.cr>. Consultado: 18/05/2019

CARVAJAL, P., TREJOS, A. Y BARROS, A. (2007) "Análisis Estadístico Multivariado de Los Estilos de Aprendizaje predominantes en estudiantes de ingenierías de la Universidad Tecnológica de PEREIRA – II Semestre de 2006". *Scientia et Technica* Año XIII, No 34, Mayo de 2007. Universidad Tecnológica de Pereira. Disponible en <http://www.utp.edu.co/php/revistas/ScientiaEtTechnica/docsFTP/145645325-330.pdf> Consultado: 02/05/2019.

CONFEDI (2016). *Competencias y Perfil del Ingeniero Iberoamericano, Formación de Profesores y Desarrollo Tecnológico e Innovación (Documentos Plan Estratégico ASIBEI)*. Bogotá: ASIBEI.

FELDER, R. Y BRENT, R. (2005) "Understanding Student Differences". *Journal of Engineering Education*, 94 (1), 57-72. Disponible en <http://www4.ncsu.edu/unity/lockers/users/ff/felder/public/Papers/FLAnnals.pdf> Consultado: 06/05/2019.

FELDER, R. M. & SILVERMAN L. K. (1988). Cuestionario Índice de Estilo de Aprendizaje (Index of Learning Styles). Web: <https://ncsu.edu/felder-public/RMF.html>

FREIBERG-HOFFMANN, A., FERNÁNDEZ-LIPORACE, M. Y LEDESMA, R. (2017). Enfoques de aprendizaje en estudiantes universitarios de Buenos Aires. *Pensando Psicología*, 13(21).Doi: <http://dx.doi.org/10.16925/pe.v13i21.1711>

GIORDANO-LERENA, R., CIRIMELO, S. (2013). Competencias en ingeniería y eficacia institucional. *Ingeniería Solidaria*, Vol. 9, N°. 16, pp. 119-127. ISSN 1900-3102 / e-ISSN 2357-6014.

KEEFE, J. (1988), *Profiling and Utilizing Learning Style*, Virginia, NASSP.

MARTÍNEZ, F., LONDOÑO, J. (2012). El pensamiento sistémico como herramienta metodológica para la resolución de problemas. *Revista Soluciones de Postgrado EIA*, Vol. 8. p. 43-65. Medellín.

MASTACHE, A. (2009). *Formar personas competentes. Desarrollo de competencias tecnológicas y psicosociales*. Buenos Aires. Noveduc.

MATURANO, C., MAZZITELLI, C. (2017). Representaciones sociales de futuros docentes de Física y de Química sobre el manual escolar. Vol. 17, N° 2, pp. 1-20

MAYORGA FERNÁNDEZ, M. J., MADRID VIVAR, D. (2010). Modelos didácticos y Estrategias de enseñanza en el Espacio Europeo de Educación Superior. *Tendencias pedagógicas* nº 15. vol. 1 2010, pp. 91-111.

NAVARRO, M. (2008), *Cómo diagnosticar y mejorar los estilos de aprendizaje*, Almería, Asociación Procompal.

OCAMPO BOTELLO, F., GUZMÁN ARREDONDO, A., CAMARENA GALLARDO, P., DE LUNA CABALLERO, R. (2014). Identificación de Estilos de Aprendizaje en Estudiantes de Ingeniería. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*. Vol. 9, N° 61, p. 401-429.

PUELLO, P., FERNÁNDEZ, D., & CABARCAS, A. (2014). Herramienta para la Detección de Estilos de Aprendizaje en Estudiantes utilizando la Plataforma Moodle. *Formación universitaria*, 7(4), 15-24.

RODRÍGUEZ, J., G. FAJADO, F. HIGUERA Y J. GONZÁLEZ (2006). Estilos de aprendizaje en internos de pregrado. *Revista Hospital General Dr. M. Gea González*, vol. 7 (3), 102-107.

RODRÍGUEZ, H. D. J. D., LIMÓN, J. A. G., PISFIL, M. L., TORRES, D. V., & EXUME, J. C. D. (2015). Estilos de aprendizaje: un estudio diagnóstico en el centro universitario de ciencias económico-administrativas de la U de G. *Revista de la educación superior*, 44(175), 121-140.

SERNA, M. E., SERNA, A. A. (2017). Complejidad y pensamiento complejo para innovar los procesos formativos en ingeniería. *Sistemas, Cibernética e Informática*, 14(1), 48-55.

TOMAS, L., (2017). *Relación entre los estilos de aprendizaje y el rendimiento académico en estudiantes de la Facultad de Odontología de la Universidad Nacional de La Plata*. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de La Plata. ISBN: 978-987-42-3866-5

TOCCI, A. M. (2015). Caracterización de perfiles de estilos de aprendizaje en alumnos de Ingeniería según el modelo de Felder y Silverman. *Revista de estilos de aprendizaje*, 8.

VÁZQUEZ, S. (2009). Rendimiento académico y patrones de aprendizaje en estudiantes de ingeniería. *Ingeniería y Universidad*, 13(1), 105-136.

VENTURA, A.C.; MOSCOLONI, N. &GAGLIARDI, R.P. (2012). Comparative study on the learning styles of argentine university students from different disciplines. *Psicología desde el caribe* ISSN 0123-417x (impreso) ISSN 2011-7485 (on line) Vol. 29, N.º 2, mayo-agosto 2012. CONICET Digital.

ZAMATA COTO, W. (2018). Factores personales asociados al rendimiento académico de los estudiantes del Instituto de Educación superior pedagógico público de Arequipa, 2018 (Doctoral dissertation).

H₂ DENTRO DE SWNTs

Recibido: 28 de Mayo, 2021 • Aceptado: 12 de Agosto, 2021

Autores:

Eduardo Ariel Crespo ^{*1,2}

 <https://orcid.org/0000-0002-1432-3308>

Juan Manuel Gonzalez ¹

 <https://orcid.org/0000-0001-9193-0921>

Eduardo Marcial Bringa ^{3,4,5}

 <https://orcid.org/0000-0002-1403-1954>

¹ Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Neuquén, Avenida Rotter s/n, 8318, Plaza Huincul, Neuquén, Argentina.

² Departamento de Física, Universidad Nacional del Comahue, Buenos Aires 1400, 8300, Neuquén, Argentina.

³ Facultad de Ingeniería, Universidad de Mendoza, 5500 Mendoza, Argentina.

⁴ CONICET, Argentina.

⁵ Centro de Nanotecnología Aplicada, Facultad de Ciencias, Universidad Mayor. Chile.

Contacto:

*Autor a quien la correspondencia debe ser dirigida: cresporama@gmail.com

Roles autorales:

Conceptualización: Eduardo Ariel Crespo, Eduardo Marcial Bringa.

Curaduría de datos: Juan Manuel Gonzalez.

Investigación: Eduardo Ariel Crespo.

Escritura Revisión Edición: Eduardo Ariel Crespo.

Cómo citar este artículo:

Crespo, E.A., González, J.M., Bringa, E.M. H₂ DENTRO DE SWNTs. Revista *Rumbos Tecnológicos*, Volumen 13, 2021, pp. 67-73. Secretaría de Ciencia, Tecnología y Posgrado, Facultad Regional Avellaneda, Universidad Tecnológica Nacional. <http://rumbostecnologicos.utnfrainvestigacionyposgrado.com/tipo-de-articulo/articulos/h2-dentro-de-swnts/>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

RESUMEN

Empleando dinámica molecular se estudia el comportamiento de un nanotubo de C de pared simple (SWNT) de diámetro 2nm con H₂ en su interior. Para varias densidades de H₂ (de 6.32 a 36.50 Kg/m³) y temperaturas (de 200 a 1000K) se estudia la estabilidad y comportamiento del sistema. Se calculan distribuciones de energías cinéticas atómicas. Se calculan velocidades cuadráticas medias de las moléculas de H₂. Se estiman las presiones de H₂ dentro del SWNT.

Palabras Claves: Nanotubo, SWNT, H₂, Dinámica molecular LAMMPS

ABSTRACT

Using molecular dynamics, the behavior of a single-walled C nanotube (SWNT) with a diameter of 2nm with H₂ inside is analyzed. For various densities of H₂ (from 6.32 to 36.50 Kg/m³) and temperatures (from 200 to 1000K) the stability and behavior of the system is studied. Atomic kinetic energy distributions are calculated. Mean square velocities of the H₂ molecules are calculated. H₂ pressures within the SWNT are estimated.

Key-words: Nanotube, SWNT, H₂, Molecular dynamics LAMMPS

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Se denomina SWNT (Single Walled Nano Tube) a un tubo de diámetro del orden del nanómetro construido de una sola lámina de grafeno. Los SWNTs tienen propiedades inusuales que son valiosas para la nanotecnología. En futuras aplicaciones podría empleárselos para almacenar y transportar H₂ a altas presiones a escala nanométrica (Nguyen,2018).

Dependiendo de la manera como se conforma la lámina original de grafeno, el resultado puede llevar a nanotubos de distinto diámetro y geometría interna. La forma de envolver la hoja de grafeno está representada por un par de índices (n,m). Los números enteros n y m indican el número de vectores de unidad a lo largo de dos direcciones en el panel de red cristalina del grafeno. Si m = 0, los nanotubos se llaman nanotubos zigzag, y si n = m, los nanotubos se llaman nanotubos de sillón. En general se refiere a esta propiedad como quiralidad.

La interacción del grafeno y en particular los SWNTs con moléculas de H₂ puede abordarse por medio de simulaciones atomísticas que permiten obtener resultados comparables con datos experimentales, pero además brindar información no asequible por vía experimental (Yoshihiko, 2003; Kunar, 2014; Crespo, 2018). En particular la dinámica molecular (MD) es muy útil debido que permite que átomos y moléculas interactúen por un período de tiempo, permitiendo una visualización del movimiento de las partículas. Esta técnica fue concebida dentro de la física teórica y actualmente es ampliamente utilizada en el campo de la biofísica y la ciencia de materiales. La MD resulta ser una herramienta de diseño en nanotecnología, permitiendo predecir el comportamiento molecular de los dispositivos en la nanoescala.

En este trabajo se estudia empleando dinámica molecular en código LAMMPS (PLIMPTON, 1995) el comportamiento de un SWNT (sillón n=m=15) de diámetro 2nm con H₂ en su interior. Para varias densidades de H₂ (de 6.32 a 36.50 Kg/m³) y temperaturas (de 200 a 1000K) se estudia la estabilidad y comportamiento del sistema. Se calculan distribuciones de energías cinéticas atómi-

cas. Se calculan velocidades cuadráticas medias de las moléculas de H₂. Se estiman las presiones de H₂ dentro del SWNT.

METODOLOGÍA

Para describir la interacción entre H y C se empleó el potencial AIREBO (Adaptive Intermolecular Reactive Empirical Bond Order) Stuart (2000). Está especialmente diseñado para describir molecularmente hidrocarburos. Matemáticamente el potencial AIREBO se define a través de tres términos:

$$E = \frac{1}{2} \sum_i \sum_{i \neq j} \left[V_{ij}^{\text{REBO}} + V_{ij}^{\text{LJ}} + \sum_{k \neq i} \sum_{l \neq i, j, k} V_{kijl}^{\text{Torsion}} \right]$$

El primer término representa las interacciones enlazantes, el segundo término es para las no enlazantes vía un potencial de Lennard-Jones (LJ), y el tercer término para interacciones torsionales entre cuatro cuerpos. Este último término resulta importante cuando hay superficies curvadas como ocurre precisamente en los SWNTs. En palabras de Stuart el primer término REBO resulta muy exitoso para describir las interacciones atómicas intramoleculares, mientras que el segundo término describe las interacciones intermoleculares. El SWNT es en sí una molécula por lo que los C del mismo no deberían interactuar entre sí a través de término LJ. Por otro lado el H₂ es la molécula más simple de la naturaleza, con solo 2 electrones, los cuales están comprometidos en un enlace covalente. Ello explica que el H₂ sea relativamente poco polarizable y que las interacciones dispersivas (van der Waals) en que él participa resulten débiles. Por estas razones no se emplea en este trabajo el segundo término de la ecuación (1).

La MD resuelve ecuaciones de movimiento por lo que deben darse posiciones y velocidades iniciales. Se generaron las coordenadas de inicio de un SWNT n=15 m=n (sillón) compuesto de 1800C con un radio muy próximo a 2nm y una longitud de 7.35nm. La distancia entre C es 1.41Å valor de referencia del grafeno. Se extendieron condiciones periódicas en el eje del SWNT, esto es que los átomos de un extremo interactúan con los del extremo opuesto volviéndolo virtualmente infinito. Dentro del SWNT se generan coordenadas de 30, 60, 120, y 180H₂.

Ingresa las coordenadas moleculares, se realiza una minimización de la energía relajando posiciones tras lo cual se inicia la descripción de la evolución temporal del sistema molecular utilizando un ensamble NPT donde se mantienen constantes el número átomos (N), presión (P) y temperatura (T). Resultan variable la energía (E) y el volumen (V).

Para las velocidades a tiempo cero se emplea una distribución Maxwell Boltzmann (MB) a la T del ensamble. El timestep empleado es un femtosegundo (fs=1x10⁻¹⁵s). Las corridas son de dos millones de steps (2 ns).

Al ser la MD una descripción clásica del sistema se tiene para cada instante información de coordenadas y cantidad de movimiento de cada átomo. Se calculan distribuciones de energías y velocidades atómicas promediadas en el tiempo. Se calculan también valores más probables, medios y rms de energías y velocidades.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se muestra un instante representativo de la simulación del SWNT con 180 H_2 en su interior a 300K. Los resultados se visualizan con el programa OVITO (Stukowski, 2010). La densidad de H_2 (ρ) es 35.30Kg/m^3 . Los C son ilustrados en color rojo y los H_2 en azul. Las moléculas de H_2 permanecen estables durante la simulación colisionando entre sí y con las paredes internas del SWNT sin nunca escapar. Por las condiciones periódicas impuestas a lo largo del eje del SWNT los H_2 que salen por un extremo reingresan por el extremo opuesto, volviéndolo al SWNT virtualmente infinito.

En la Figura 1 se muestran también las energías potenciales de cada H y C a lo largo del eje en ese instante. Se obtiene un valor medio para el H de -2.245 ± 0.012 eV, así la energía de enlace del H_2 es 4.49 eV muy próxima al valor experimental.

La energía potencial promedio de los C es -7.39 ± 0.04 eV, que resulta razonable siendo que la energía de formación de una vacancia simple calculada por DFT toma valores entre 7.3 y 8 eV (Latham, 2013; Saito, 2007; Denis, 2007; Ulman, 2014)

Se calcula además la distancia interatómica para cada H_2 (d). En la Figura 1 se muestra superpuesta en una gráfica este resultado, siendo el valor medio 0.7536 Å muy próximo valor experimental.

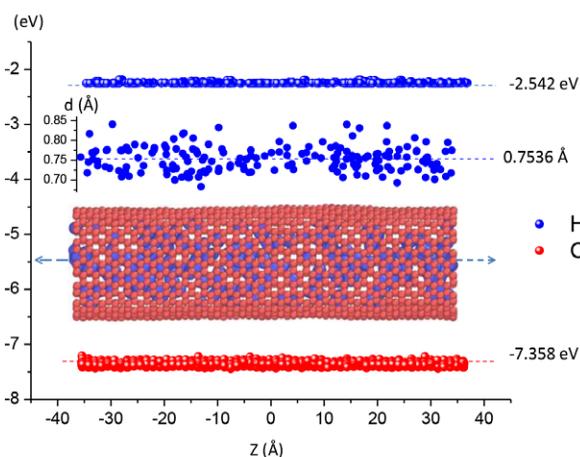


Figura 1. Energía potencial de cada átomo de H (azul) y C (rojo) a lo largo del eje del SWNT. “d” distancia interatómica de cada H_2 .

Para las otras ρ y T se observan resultados similares. Las moléculas de H_2 permanecen totalmente estables por debajo de los 700K, en el sentido de que se encuentran conformadas por los mismos H (que están rotulados). Luego de esa T y hasta los 1000K se presentan algunas pocas reacciones (menos de 5% del total del H) que involucran intercambios de átomos entre moléculas de H_2 y reacciones entre H y C del SWNT.

Se estudió las distribuciones de energías cinéticas atómicas y si resultan cercanas a las predichas por MB:

$$n(E) = \frac{2N}{\sqrt{\pi}} \frac{1}{(kT)^{3/2}} E^{1/2} e^{-E/kT}$$

Promediando en dos mil instantes se observa que lo son, como se muestra en la Figura 2 (a). Con puntos valores calculados y con líneas MB. Cada T con un color diferente. En la Figura 2 (b) se muestran las energías medias E_m , E_{rms} , más probable E_p , y $\Delta E = (E_{rms}^2 - E_m^2)^{0.5}$ en función de T. Con puntos valores calculados y con línea continua los valores predichos por MB.

En cada instante resulta posible computar las velocidades de los centro de masa de los H_2 . En la Figura 3 (a) se muestran sus distribuciones (promediadas en dos mil instantes) cuando dentro del SWNT hay 180 H_2 , con puntos valores calculados y con línea continua MB:

$$f(v) = 4\pi N \left(\frac{m_{H_2}}{2\pi kT} \right)^{3/2} v^2 e^{-mv^2/2kT}$$

Cada color indica una T. En la Figura 3 (b) se grafica en función de T las velocidades v_{rms} , media v_m , $\Delta v = (v_{rms}^2 - v_m^2)^{0.5}$, y más probable v_p . Con puntos valores calculados y con línea la predicción de MB.

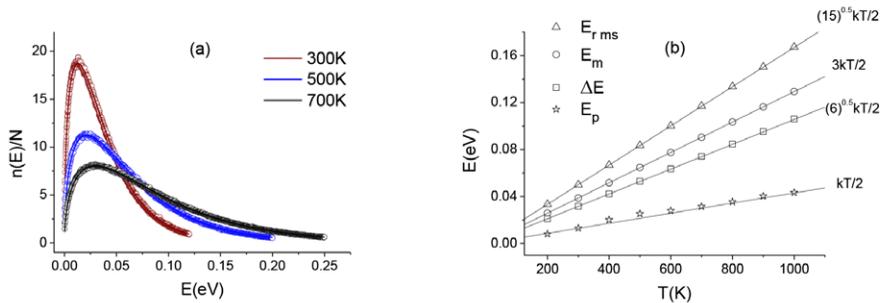


Figura 2. (a) Distribuciones de las energías cinéticas atómicas. (b) Energías: E_{rms} , E_m , ΔE y E_p .

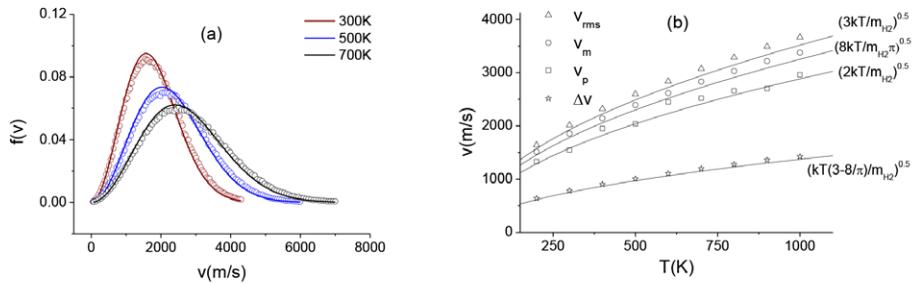


Figura 3. (a) Distribución de velocidades de los CM de los H_2 . (b) velocidades: v_{rms} , v_m , Δv y v_p .

Se evalúa en dos mil instantes el H más lejano del eje del SWNT que define un radio de un cilindro que contiene a todos los demás H. La densidad será el número de H por su masa dividido este volumen. En la Figura 4 se muestra $\rho(T)$ cuando dentro del SWNT hay 30, 60, 120, y 180 H_2 . En la Figura 4 (b) se estima la presión de gas a través de la relación $P(T) = \rho(v_{rms})^2/3$. Con cruces se muestran isocoras de hidrógeno (con estos datos) empleando la página de la NIST (National Institute of Standards and Technology nist.gov).

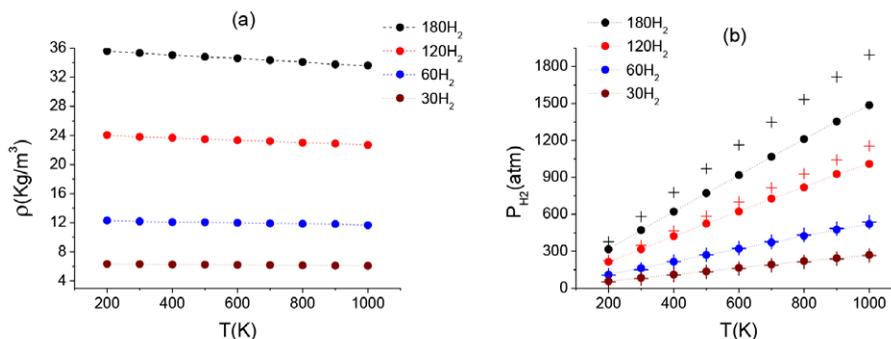


Figura 4. Densidad de H_2 (a) y Presión (b) en función de T cuando dentro del SWNT hay 30, 60, 120, y 180 H_2 . Con cruces isocoras de H con estos datos de la página de la NYST.

Para las dos densidades inferiores la concordancia es contundente sin embargo en las dos superiores existe una desviación, posiblemente debido al estado de nano confinamiento del H_2 donde los efectos de superficie se incrementan. La mayor presión que registra estos cálculos es de 1485 atm con $\rho(T=1000K)=33.60Kg/m^3$, situación donde el sistema permanece estable pero ocurrieron unas pocas reacciones CH (inferior al 5% del total de H). La máxima presión que registran estos cálculos sin reacciones $P_{Max-sr}=1067.30$ atm con $\rho(T=700K)=34.3247Kg/m^3$.

CONCLUSIONES

De este estudio empleando MD surge que los SWNTs tienen sobradas condiciones para contener moléculas de H_2 en forma estable y segura para aplicaciones en nanotecnología. La MD resulta particularmente útil para vincular parámetros macroscópicos como la densidad y presión del gas (en función de la temperatura) con parámetros microscópicos como coordenadas y velocidades cuadráticas medias de los H_2 (Figura 4). En este sentido fue también posible estimar presiones máximas, parámetro claramente macroscópico, a partir de cálculos atomísticos (P_{max-sr}).

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Neuquén.

A la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Comahue.

REFERENCIAS

NGUYEN T. A., ASSADI A. A., (2018) Smart Nanocontainers: Preparation, Loading/Release Processes and Applications, *Kenkyu Journal of Nanotechnology & Nanoscience* (2018) 4:S1-1-6.

YOSHIHIKO H., NISHIMAKI S., TANAKA Y. (2003). Molecular Dynamics on Mechanical Properties of Carbon Nano Tubes with Pinhole Defects. *Jpn. J. Phys.* Vol. 42 (2003) pp. 4120-4123

KUNAR S., PATTANAYEK S., PEREIRA G. G. (2014). Organization of polymer chains onto long, single-wall carbon nano-tubes: Effect of tube diameter and cooling method. *J. Chem. Phys.* 140, 024904 (2014); <https://doi.org/10.1063/1.4860976>.

CRESPO E. A., BRASCHI F. U., BRINGA E. M. (2018). Almacenamiento de H₂ a escala nanométrica, un estudio por dinámica molecular *Rumbos Tecnológicos* (2018) 10. 9-15 ISSN 18527701. (<http://rumbostecnologicos.utnfrainvestigacionyposgrado.com/volumenes/rumbos-10/almacenamiento-de-h2-a-escala-nanometrica-un-estudio-por-dinamica-molecular/>).

PLIMPTON S.J., (1995). Fast Parallel Algorithms for Short-Range Molecular Dynamics. *Comp Phys* (1995) 117 1-19.

STUART, S. J., TUTEIN, J. A., HARRISON, A. J., (2000). A reactive potential for hydrocarbons with intermolecular interactions. *J. Chem. Phys.* 112 (2000) 6472-6486.

STUKOWSKY A., (2010). Visualization and analysis of atomistic simulation data with OVITO –the open visualization tool. *Model Simul Mater SciEng* (2010) 18 15012.

LATHAM C. D., HEGGIE M. I., ALATALO S.O., ÖBERG P. R., (2013). The contribution made by lattice vacancies to the Wigner effect in radiation damage graphite. *J. Phys.: Condens. Matter*, 25, 135403 (2013).

SAITO M., YAMASHITA K., ODA T., (2007). Magic Numbers of Graphene Multivacancies. *Jpn. J. Appl. Phys.* 46 L1185-1187 (2007).

DENIS P. A., FACCIO R. IRIBARNE F., (2012). How is the stacking interaction of bilayer graphene affected by the presence of defects?. *Comput Theor. Chem.*, 995, 1-7 (2012.)

ULMAN K., NARASIMHAM S., (2014). Point defects in twisted bilayer graphene: A density functional theory study. *Phys. Rev. B: Condens. Matter Mater. Phys.*, 89, 245429 (2014).

EVALUACIÓN DE FACTORES DE ÉXITO PARA LA COMPETITIVIDAD DE LAS PYMES DEL SECTOR METALMECANICO DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA

Recibido: 26 de Mayo, 2021 • Aceptado: 9 de Agosto, 2021

Autores:

Ariel Miropolsky ^{1*}

Marcelo Tavella ¹

Roxana Manera ¹

Demián Tavella ¹

¹ Centro de Investigación y Transferencia en Tecnologías y Estrategias para el Desarrollo – CITED. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Maestro Marcelo López esq. Cruz Roja. S/N. Ciudad Universitaria, CP: 5016, Córdoba Capital, Córdoba, Argentina.

Contacto:

**Autor a quien la correspondencia debe ser dirigida: cited.utn@gmail.com*

Roles autorales:

Conceptualización: Ariel Miropolsky, Marcelo Tavella, Roxana Manera y Demián Tavella.

Curaduría de Datos: Ariel Miropolsky, Marcelo Tavella, Roxana Manera y Demián Tavella.

Investigación: Ariel Miropolsky, Marcelo Tavella, Roxana Manera y Demián Tavella.

Administración del Proyecto: Ariel Miropolsky, Marcelo Tavella, Roxana Manera y Demián Tavella.

Redacción – Borrador original: Ariel Miropolsky, Marcelo Tavella, Roxana Manera y Demián Tavella.

Escritura – Revisión y Edición: Ariel Miropolsky, Marcelo Tavella, Roxana Manera y Demián Tavella.

Cómo citar este artículo:

Miropolsky, A., Tavella, M., Manera, R., Tavella, D. Evaluación de factores de éxito para la competitividad de las PyMES del sector metalmeccánico de la provincia de Córdoba. Revista *Rumbos Tecnológicos*, Volumen 13, 2021, pp. 75-88. Secretaria de Ciencia, Tecnología y Posgrado, Facultad Regional Avellaneda, Universidad Tecnológica Nacional. <http://rumbostecnologicos.utnfrainvestigacionyposgrado.com/tipo-de-articulo/articulos/evaluacion-de-factores-de-exito-para-la-competitividad-de-las-pymes-del-sector-metalmeccanico-de-la-provincia-de-cordoba>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

RESUMEN

Se puede afirmar que el concepto de competitividad es un constructo en el que intervienen múltiples factores, tanto tangibles como intangibles, aunque es sólo sobre unos cuantos, *los críticos*, donde residen fundamentalmente las mayores opciones de éxito o fracaso competitivo.

Desde esta perspectiva, la determinación de Factores Críticos de Éxito, FCE, evita la complejidad que supone el exceso de datos, en ocasiones poco relevantes. Por ello, a la hora de desarrollar modelos para evaluar la competitividad de una empresa o emprendimiento es esencial el soporte que ofrece el concepto de FCE, evitando que, desde un punto de vista operativo o estadístico, puedan saturarse haciendo difícil o imposible su manejo o medición. El presente trabajo intenta conocer cuáles son los factores internos sobre los que las PyMEs del sector metalmeccánico de la provincia de Córdoba articulan su ventaja competitiva; sobre la base de diferentes criterios. Se considerarán las necesidades y limitantes que caracterizan estructuralmente al sector, analizando las variables de dirección y de gestión que se relacionan con el éxito competitivo de las PyMEs nucleadas en la Cámara de Industriales Metalúrgicos y de Componentes de Córdoba, CIMCC, que es la cámara empresaria que representa al sector metal-mecánico de la provincia de Córdoba y de la Región Centro del país y que agrupa y coordina principalmente a las empresas proveedoras de autopartes para las terminales automotrices.

Palabras Claves: Promoción Industrial, Metalmeccánica, Desarrollo

ABSTRACT

It can be affirmed that the concept of competitive-ness is a construct in which multiple factors intervene, both tangible and intangible, although is only on a few, the critics, where the greatest options for competitive success or failure reside fundamentally.

From this perspective, the determination of Critical Success Factors, FCE, avoids the complexity of excess data, sometimes not very relevant. For this reason, when developing models to evaluate the competitiveness of a company or enterprise, the support offered by the FCE concept is essential, avoiding that they, from an operational or statistical point of view, can become saturated, making difficult or impossible their handling or measurement.

The present work tries to know which are the internal factors on which the SMEs of the metalworking sector of the province of Córdoba articulate their competitive advantage; based on different criteria. The needs and limitations that structurally characterize the sector will be considered, analyzing the direction and management variables that are related to the competitive success of the SMEs nucleated in the Chamber of Metallurgical Industries and Components of Córdoba, CIMCC, which is the business chamber that represents the metalmechanical sector of the province of Córdoba and the Central Region of the country and that groups and coordinates mainly the companies that supply auto parts for the automotive terminals.

Key-words: Critical Factors, Metalworking, Development, Industry

INTRODUCCIÓN

Alcanzar y sostener la ventaja competitiva es una cuestión crucial para el éxito y la supervivencia de las empresas, lo que permite a las organizaciones ser rentables a lo largo del tiempo, ello sin perder de vista el ambiente cada vez más competitivo y dinámico en el que las empresas tienen que desarrollar diariamente su actividad.

Hoy en día, el éxito de cualquier empresa o emprendimiento depende fundamentalmente de una correcta planificación, pero para poder llevar a cabo la misma también son necesarias una serie de herramientas que permitan optimizar su desarrollo y funcionamiento, encauzándolo en la dirección más adecuada para hacer frente a los constantes cambios del mercado, así como asegurarle una mejor posición competitiva.

El presente trabajo pretende evaluar distintos aspectos, para identificar en ellos cuáles son los factores que conllevan al éxito de las Pequeñas y Medianas Empresas (PyMEs) de la industria metalmeccánica de la provincia de Córdoba, permitiendo, mediante encuestas realizadas a sus referentes, medir su importancia como factor crítico de éxito en pos de la sostenibilidad y la competitividad de las empresas.

Desde este enfoque, cada empresa es única debido, principalmente, a los recursos con los que cuenta y a la manera en que son gestionados; su competitividad dependerá, por lo tanto, fundamentalmente de ella misma y del contexto en el que se desarrolla; lo que lleva a plantearse la necesidad de estudiar con más detalle la parte interna de las empresas para tratar de determinar los factores que propicien una mayor ventaja competitiva.

En referencia a ello definimos a la competitividad como un concepto complejo y multidimensional dependiente de una amplia red de factores causales que puede aplicarse a un amplísimo rango de entes o sujetos. En este contexto y, dentro de una perspectiva de dirección y gestión estratégica se considera que la evaluación de la competitividad constituye un aspecto medular, permitiendo controlar, juzgar y facilitar las decisiones de cara a la búsqueda de la mejora continua y de ventajas competitivas de una empresa.

Cuando se intenta evaluar la competitividad es habitual que se tiendan a considerar como importantes un sinnúmero de factores, aunque en realidad es solo sobre unos cuantos, los críticos o esenciales, donde residen básicamente las mayores opciones de éxito competitivo, siendo, por tanto, sobre los que se debe centrar y enfocar la atención y los recursos (Alonso Ferreras, 2010).

También se debe considerar que la competitividad es una variable latente ya que no puede ser observable de forma directa, sino que solo puede evaluarse o medirse a partir de indicadores (Sánchez y Fajardo, 2004), por lo que identificar de forma precisa los factores sobre los que las empresas, y más concretamente las PyMEs, fundamentan su éxito resulta trascendental. Por ello es necesario profundizar en el estudio, para así tratar de dar respuesta a una cuestión clave: ¿Cuáles son las variables de gestión o de dirección que propician el éxito o el fracaso de las empresas? De aquí surge el concepto de los Factores Críticos de Éxito (FCE) (Miropolsky et al., 2016). Los FCE son variables que se deben tomar en cuenta antes y durante la realización de un proyecto, ya que aportan información valiosa para alcanzar las metas y objetivos de la empresa. Sin embargo, la determinación de qué es o qué no es un FCE se basa en general en un juicio subjetivo, ya que no existe una fórmula para determinarlos (Gil e Ibarra, 2014).

En la práctica es habitual determinar los FCE a partir del estudio de casos, de donde se extraen aquellos que se identifican como más interesantes a partir de la propia experiencia. En todo caso,

lo más adecuado parece ser la realización de un cuidadoso análisis de los FCE según cada caso en particular (Estéves y Pastor, 2000).

Por otra parte, el concepto de FCE, o factores que son críticos para el éxito, fue mencionado por primera vez por Daniel (1961) quien sostenía la necesidad de eliminar temas que no estuvieran directamente relacionados con el éxito de una organización y así conformar sistemas de información eficientes que ayudasen a los directivos en la planificación y gestión de las organizaciones.

Por otro lado, Daniel también afirma que los FCE deben establecerse sobre un número limitado de áreas en la cuales, los resultados, si son satisfactorios, asegurarán un desempeño competitivo exitoso para el individuo, departamento u organización, y deja clara la diferencia entre Factor de Éxito (FE) y FCE. Un FE es algo que puede ocurrir (o no) para conseguir un objetivo. Un FE se considera que es crítico (FCE) cuando su cumplimiento es necesario para alcanzar los objetivos.

Por su parte, Leidecker (1984), lo define como características, condiciones o variables que cuando están debidamente soportadas, conservadas o administradas tienen un impacto significativo en el éxito de una empresa que compete en una industria específica, y establece ocho técnicas para identificar los FCE, las cuales son: El análisis ambiental, el análisis de la estructura de la industria, la opinión de expertos en la industria o negocio, análisis de la competencia, análisis de la firma líder en la industria (Benchmarking), la evaluación de la empresa, los factores temporales o intuitivos y el impacto de mercado sobre utilidades. La identificación de los FCE puede realizarse mediante cualquiera de las ocho técnicas propuestas.

Por otro lado, y como se dijo anteriormente, el presente trabajo concentra sus esfuerzos en la identificación de los FCE en el ámbito de la industria metalmecánica. Al respecto cabe señalar que, dentro del sector económico de la industria manufacturera de la provincia de Córdoba, la industria metalmecánica y en particular la autopartista cumple un papel fundamental, ya que históricamente la ciudad de Córdoba ha sido sede de importantes empresas multinacionales de gran escala de producción autopartista (y también de otros rubros). Es así que la ciudad capital transforma a Córdoba en la segunda provincia (luego de Buenos Aires) con la mayor producción automotriz, factor en el que radica la importancia del desarrollo de este trabajo para la rama de actividad bajo estudio.

Estas empresas son una fuente de trabajo muy importante para la provincia de Córdoba, no solo en forma directa, sino también indirecta a través de la generación de necesidades productivas que dieron nacimiento a muchas pequeñas y medianas empresas que buscaron abastecer a las terminales con productos o servicios.

Con el presente trabajo se intenta conocer cuáles son los FCE sobre los que las Pymes articulan su ventaja competitiva, mediante encuestas realizadas a referentes de las industrias mencionadas. El abordaje en profundidad de aspectos relevantes para la identificación de FCE se realizará utilizando una de las técnicas propuestas por Leidecker: "la opinión de expertos en la industria o negocio", la cual incluye aportaciones de personas que tienen un excelente conocimiento práctico de la industria/negocio, ello sin dejar de lado la sabiduría convencional y una visión o intuición de la industria que a menudo son una excelente fuente de FCE y que combinado con técnicas más objetivas proveen de una fuente de información para fundamentar otros FCE.

Los resultados que se encontraron son consistentes con los relevados en la bibliografía al destacar la importancia para el éxito competitivo que tienen los FCE considerados.

METODOLOGÍA

El principal objetivo de este trabajo es identificar los FCE de las PyMEs nucleadas en la Cámara de Industriales Metalúrgicos y de Componentes de Córdoba (CIMCC), que es la cámara empresaria que representa al sector metalmeccánico de la provincia de Córdoba y de la Región Centro del país y que agrupa y coordina principalmente a las empresas proveedoras de terminales automotrices. Para ello se analizarán las variables de dirección y de gestión que se relacionan con el éxito competitivo de las pequeñas y medianas empresas. La recopilación de la información se realizó mediante encuestas estructuradas con preguntas abiertas y cerradas, utilizando como soporte un cuestionario dirigido al responsable, gerente o experto de las PyMEs del sector metalmeccánico, es decir, a aquellas personas que tienen competencias desde su desempeño laboral o formación profesional, sobre la base de acuerdos de colaboración mutua preexistentes entre la Facultad Regional Córdoba de la Universidad Tecnológica Nacional, la Secretaría de Industria de la Provincia y la CMICC.

El trabajo de campo se realizó entre los meses de marzo a noviembre de 2020, se depuró la base de datos y se trabajó con una muestra aleatoria de 20 PyMES. De los resultados de las encuestas se pretendió realizar un análisis comparativo de los principales factores de dirección y de gestión, considerando las necesidades y limitaciones que caracterizan al sector para desarrollar propuestas de mejora de la competitividad que permitan una planificación del desarrollo industrial adaptado a nuestra realidad regional y sostenible en el tiempo.

DESARROLLO

Debido a la situación de pandemia, existente al momento de realizar el presente trabajo, no se pudo obtener una muestra representativa del nivel de confianza requerido, para cada uno de los aspectos a abordar, por lo que consideramos los resultados obtenidos como un estudio preliminar a completar a futuro. Sin embargo, estimamos que sientan las primeras bases para conclusiones concretas en pos del logro del objetivo propuesto.

Según datos suministrado por el Observatorio de Empleo y Dinámica Empresarial (OEDE), dependiente del Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social de la Nación (2021), a finales del 2018 se encontraban radicadas en la Provincia de Córdoba alrededor de 1640 empresas cuya rama de actividad corresponden al sector de la industria metalmeccánica.

Cabe aclarar que el presente trabajo se encuentra nucleado en el marco de los proyectos de investigación “Análisis del impacto de los regímenes provinciales de promoción industrial en el desarrollo productivo de la provincia de Córdoba” e “Identificación y evaluación de factores de éxito para la competitividad y la sustentabilidad de las PyMEs del sector metalmeccánico de la provincia de Córdoba”, llevados a cabo por el Centro de Investigación y Transferencia en Tecnologías y Estrategias para el Desarrollo (CITED), de la Facultad Regional Córdoba, Universidad Tecnológica Nacional.

En virtud de ambos proyectos, se debe aclarar que, del total de empresas pertenecientes al rubro metalmeccánico de la provincia de Córdoba, solo se abarcó en este trabajo a las que fueron beneficiadas por alguna de las dos Leyes de Promoción Industrial vigentes en la actualidad. Para ello, se solicitó a la Secretaria de Industria de la provincia de Córdoba información sobre las empresas que habían sido beneficiadas por las leyes de promoción industrial, durante el periodo comprendido entre los años 2014 a 2018.

Desde la Secretaria se proporcionó una base de datos para este requerimiento en el que se identificaron un total 234 empresas beneficiadas por alguna de las dos leyes en el período de análisis. De éstas, un total de 69 empresas pertenecen al sector de la actividad metalmecánica o relacionada a éste, en el cual se centra la presente investigación. En este punto se debe señalar que estas empresas, además de contener el atributo de ser beneficiadas por alguna Ley de Promoción Industrial no dejan de ser empresas cuya labor se desarrolla en la rama de la actividad estudiada.

Sin embargo, de esas 69 empresas solo se han podido encuestar hasta el momento a 20 de ellas, lo que, si bien resulta insuficiente para validar resultados concretos, permite establecer algunos lineamientos preliminares de futuros estudios.

Como se dijo anteriormente, en este trabajo se utilizó una de las técnicas de Leidecker: “la opinión de expertos en la industria o negocio”, por tal motivo parece relevante en primer lugar indagar acerca de la relación del referente con la empresa.

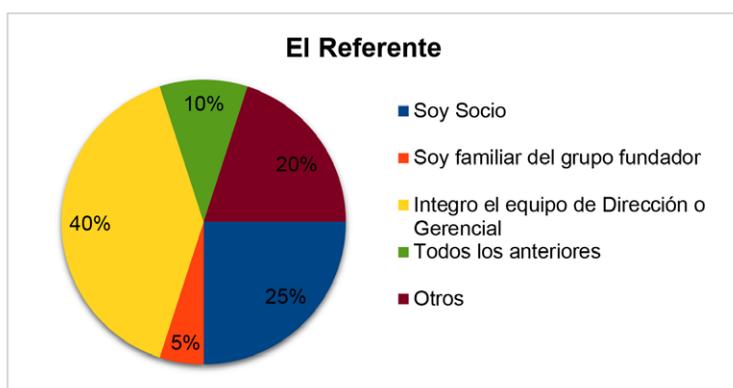


Figura 1. La relación del referente encuestado con la empresa
Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar en los resultados de la Figura 1 que la gran mayoría pertenece al equipo Directivo o Gerencial o es socia de la empresa, en tanto que solo un encuestado (representando el 5 %) es familiar del grupo fundador. Hay que aclarar que un 10% pertenece a la categoría “todos los anteriores”, es decir, que es socio, es familiar del grupo fundador e integra el equipo de Dirección o Gerencial. El 20 % restante lo componen administrativos y responsables de área.

A continuación, se abordarán aspectos tales como las acciones implementadas en la empresa, los sistemas de gestión, actividades de cooperación, relación con universidades o centros públicos de investigación y servicios de Cámaras y Asociaciones Empresariales, todos ellos tendientes a la identificación de los FCE según las perspectivas de los referentes de las PyMes encuestadas.

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Sobre las inversiones

Como ya fue mencionado, en este trabajo participaron empresas que habían recibido un beneficio otorgado por alguna de las dos leyes de promoción industrial vigentes: La Ley de promoción industrial N° 5319 y la Ley de promoción industrial para PyMES N° 9727, sancionadas en 1972 y en el 2009 respectivamente. Al respecto se consultó a las empresas en qué medida se pudo concretar el proyecto de inversión por el cual han obtenido los beneficios de promoción industrial a nivel provincial.

Los resultados obtenidos pueden observarse en la Figura 2, en la que se destaca que solo un 5%, (representando solo una de las empresas), no pudo concretar el proyecto de inversión, en tanto que el 95% restante pudo concretarlo en forma total (un 75% de las empresas), o en forma parcial con más del 50% realizado (un 20% de las empresas).

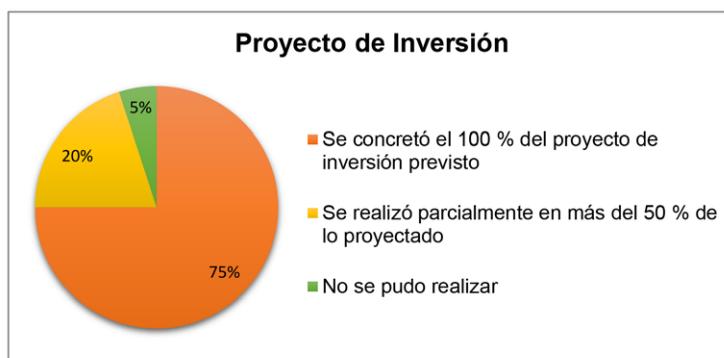


Figura 2. Proyecto de Inversión
Fuente: Elaboración propia

Cabe señalar que de las empresas que sí habían podido concretar el proyecto, el 95% de ellas declaró que las mejoras realizadas le permitieron aumentar la competitividad de la empresa y/o darle mayor sostenibilidad. En tanto una sola de las empresas que particularmente logro concretar al 100% su inversión afirmó que no hubo cambios al respecto. Además, el 70% de esas empresas manifestó que las mejoras le permitieron sortear de mejor modo la complicada situación económica de los últimos años.

Las exportaciones

En otro ámbito, se consultó a las empresas si exportan parte de su producción. Al respecto se puede observar en la Figura 3, que del total de las empresas encuestadas, más de la mitad exportan parte de su producción, ya sea circunstancialmente o en pequeñas proporciones. En este punto se debe mencionar que de las empresas que lograron concretar su proyecto de inversión, sólo un 11% (2 empresas), pudo incrementar o iniciar exportaciones como consecuencia de su inversión.



Figura 3. Exportaciones
Fuente: Elaboración propia

Acciones implementadas en la empresa

En esta ocasión se consultó acerca de las acciones más importantes que se han implementado en la empresa durante los 5 años en estudio, permitiendo al entrevistado elegir entre una o varias de las opciones presentadas en la encuesta. En los resultados provistos en la Figura 4, claramente se destaca que entre las más valoradas por los entrevistados se encuentran la adquisición de maquinarias y equipos, la diversificación en la gama de productos, la búsqueda y desarrollo de nuevos clientes y las mejoras en el desarrollo de los procesos. En tanto que, en el polo opuesto, las menos elegidas son el inicio/incremento de las exportaciones y la adecuación a las exigencias del mercado internacional. Esto último puede ser debido al bajo impacto que tienen las PyMEs en el comercio exterior.

Es necesario aquí señalar que esta escala de resultados se mantiene para aquellas empresas que manifestaron que las mejoras producidas por la ejecución parcial o total de su inversión les permitió aumentar la competitividad de la empresa y/o darle mayor sostenibilidad en el tiempo, no siendo así para aquellas empresas que declararon no haber aumentado su competitividad, para las que las acciones consideradas como más importantes fueron: la búsqueda y desarrollo de nuevos clientes, la disminución en los costos de producción y la diversificación en su gama de productos.



Figura 4. Los FCE en relación a las acciones implementadas en la empresa
Fuente: Elaboración propia

También coinciden estos resultados para aquellas empresas que exportan su producción, aunque en este punto es de destacar que para las dos empresas que iniciaron o aumentaron sus exportaciones como consecuencia del proyecto de inversión, la obtención de certificación de normas de gestión y la adecuación a las exigencias del mercado internacional, constituyeron los factores relevantes.

Los Sistemas de Gestión

En cuando a las normas implementadas en las empresas es claramente visible en la Figura 5, que la mayoría de las empresas han decidido no implementar sistemas de gestión. De las empresas que sí han implementado, una gran cantidad se abocó a la norma ISO 9001:2015, solo 1 de las empresas implementó la ISO 14001:2015, en tanto otra implementó una norma diferente a las propuestas en esta encuesta: la IATF 16949: 2016 (Sistema de gestión de la calidad para organizaciones de la industria automotriz).

A nivel general pareciera concluirse que la certificación de normas de sistemas de gestión no representa un FCE en pos de la competitividad de las empresas, ya que más de la mitad de las empresas encuestadas que manifestaron mejoras en ese aspecto (el 58%), no certificaron ninguna norma de gestión. Sin embargo, si limitáramos los resultados a las empresas exportadoras, podemos afirmar que más del 60% obtuvieron la certificación de sus sistemas de gestión, de las cuales una gran parte (el 46%) certificó la norma ISO 9001:2015, lo cual nos da una clara idea de que la certificación de normas de sistemas de gestión sí constituye un factor relevante para empresas con estrategias exportadoras.

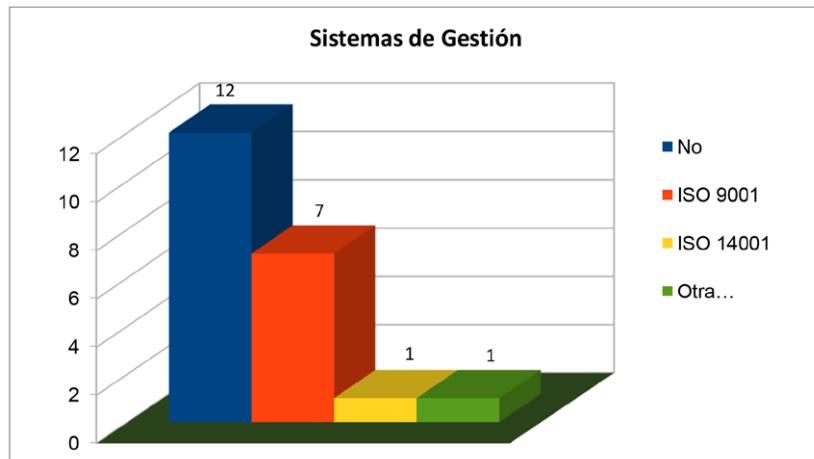


Figura 5. Los FCE en relación a los sistemas de gestión implementados en las empresas
Fuente: Elaboración propia

Las actividades de cooperación

A continuación, se les consultó a los entrevistados si durante los últimos 5 años su empresa se ha involucrado en actividades de cooperación. En este caso, según se aprecia en la Figura 6, la mitad declaró que no había realizado ninguna actividad cooperativa o asociativa. De las empresas que si las habían realizado, se les presentó una serie de opciones para que indicaran cuáles, permitiéndoles optar entre varias de ellas. Claramente se observa que las cámaras y asociaciones, las universidades y los clientes fueron las opciones más elegidas por sobre las demás.



Figura 6. Los FCE en relación a las actividades de cooperación.
Fuente: Elaboración propia

La relación con Universidades o Centros Públicos de Investigación

En este caso del total de las empresas, un 35% (7 de ellas), manifestó no haber tenido ningún tipo de relación con estas instituciones. Del 65% restante, según se puede ver en los resultados (Figura 7), la mayor cantidad de relaciones con Universidades o Centros de Investigación se concentra en el aporte de recursos humanos mediante prácticas profesionales supervisadas o pasantías y en la capacitación de trabajadores. Estos resultados también coinciden para aquellas empresas que lograron aumentar su competitividad durante los años en estudio.



Figura 7. Los FCE en relación al vínculo con universidades o centros públicos de investigación.
Fuente: Elaboración propia

Los servicios de Cámaras y Asociaciones Empresariales

Por último, se les requirió a los entrevistados que eligieran de entre una serie de opciones, aquellos servicios que considerasen como los más importantes que las Cámaras y Asociaciones Empresariales prestan o deberían prestar a las empresas asociadas permitiéndoles optar por no más de 5 de las opciones propuestas. Los resultados se pueden visualizar en el gráfico de la Figura 8.

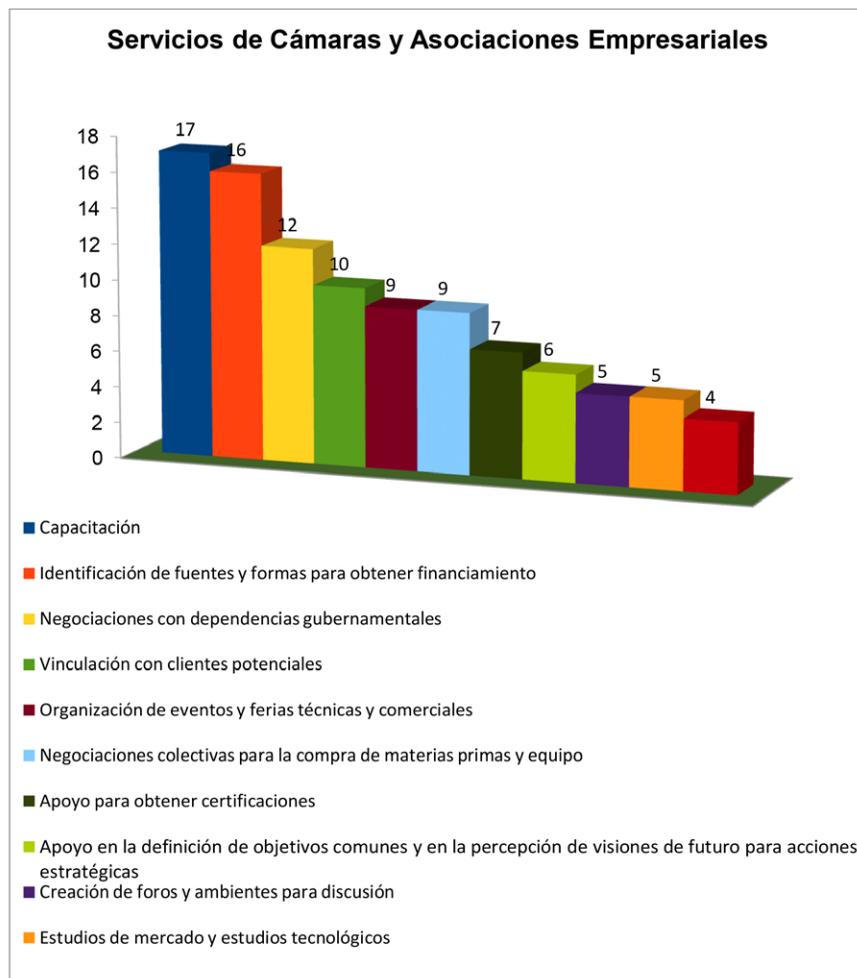


Figura 8. Los FCE en relación a los servicios que prestan las Cámaras o Asociaciones empresariales.

Fuente: Elaboración propia

Aquí se puede ver claramente que entre los servicios más valorados por las empresas se encuentran la capacitación, la identificación de fuentes y formas para obtener financiamiento y las negociaciones con dependencias gubernamentales, aunque también fueron bien valoradas la vinculación con clientes potenciales, las negociaciones colectivas para la compra de materia prima y equipo, la organización de eventos y ferias técnicas y comerciales y, en menor proporción, el apoyo para obtener certificaciones. En esta última opción convergieron las preferencias de las empresas que iniciaron o incrementaron el nivel de las exportaciones en el período analizado.

Las menos votadas fueron: información sobre materias primas, equipo, asistencia técnica y consultorías, creación de foros y ambientes de discusión y estudios de mercado y estudios tecnológicos.

Al igual que en los aspectos anteriores, se mantiene este orden para las empresas cuya competitividad logró aumentar en los años de estudio, no siendo así para las empresas en donde la competitividad no sufrió cambios, en donde los servicios más valorados fueron la organización de

eventos, ferias técnicas y comerciales junto con las negociaciones con dependencias gubernamentales, quedando las demás con un orden de preferencia similar al anterior.

CONCLUSIÓN

Una de las primeras conclusiones que se pueden extraer del examen de los resultados obtenidos es que la adquisición de maquinarias y equipos parece ser un factor clave de éxito para el aumento de la competitividad y la sostenibilidad. Si bien requiere de un esfuerzo considerable al inicio, a mediano y largo plazo se ve la disminución de otros costos de producción, lo que redundará en beneficios para la empresa y aumento de competitividad y la productividad, haciéndola sostenible en el tiempo.

Por otra parte, para las PyMEs con estrategias exportadoras, y particularmente para aquellas que iniciaron las exportaciones, el realizar cambios y mejoras en los productos para adecuarlos a otros mercados con relativa frecuencia, tiene una clara influencia en la competitividad.

Los resultados obtenidos para el resto de variables independientes relevadas son acordes con los de la bibliografía revisada. En primer lugar, la calidad del producto no es un factor que por sí solo explique el éxito competitivo, pero sí puede ser como consecuencia de una inversión en el corto plazo para la certificación de una norma imprescindible para poder exportar, lo que de hecho puede influir en la posición competitiva de la empresa a mediano plazo.

También se pone de manifiesto que la asociación con cámaras y asociaciones empresariales como así también el aporte de recursos humanos mediante prácticas profesionales supervisadas o pasantías y la capacitación de trabajadores constituyen una constante de éxito, ya que en esas opciones convergió las preferencias de las empresas participantes de esta investigación, principalmente aquellas que declararon haber incrementado su competitividad. Al respecto, no cabe duda de que la capacitación resulta ser un denominador común en varios de los aspectos abordados para considerarlo como un FCE irrefutable desde las vinculaciones con universidades o centros públicos de investigación a los servicios brindados por cámaras o asociaciones empresariales.

En este escenario, y debido al estado de crisis en el que vivimos en estos momentos son necesarios cambios en las organizaciones, promoviendo líderes capaces de afrontarlos. Ello amerita una modificación significativa en las estrategias de los recursos humanos tanto a nivel organizacional como educacional. Se necesitan gerentes más autónomos y también más flexibles.

Los nuevos retos competitivos que rigen actualmente exigen que las empresas analicen las mejoras que pueden ir introduciendo en sus procesos y productos. En esta situación, la innovación y la mejora continua en cada uno de los aspectos abordados resulta crucial para poder adaptarse y atender las necesidades cambiantes de los mercados y por tanto se constituye como un factor decisivo para el éxito competitivo de las Pymes.

REFERENCIAS

ARAGÓN SÁNCHEZ, A; RUBIO BAÑÓN, A. (2005). "Factores explicativos del éxito competitivo: el caso de las PYMES del estado de Veracruz". *Contaduría y Administración*, Núm. 216.

ALONSO FERRERAS, V.H. (2010). "Factores críticos de éxito y evaluación de la competitividad de destinos turísticos". Estudios y Perspectivas en Turismo. Volumen 19 (2010) pp 201 -220.

DANIEL, D.R. (1961): "Management information crisis", Harvard Business Review, 39, Septiembre - Octubre, pp. 110-121.

ESTEVEZ, J. y PASTOR, J. (2000) "Establishing the importance of ERP implementation critical success factors along ASAP methodology processes", International Conference on Enterprise Information Systems (ICEIS), 1, Portugal, pp. 182-187.

GIL, I, M., IBARRA, S. (2014). Incidencia del liderazgo en los factores críticos del éxito como estrategia competitiva empresarial. Revista Dimensión Empresarial Colombia. v. 12, n 2, p. 117-126.

LEIDECKER, J.; BRUNO, A. (1984). Identifying and Using Critical Success Factors. Great Britain. Long Range Planning. Vol. 17 No. 1, pp 23-32.

LEY PROVINCIAL N° 5.319. Régimen de Promoción Industrial, Córdoba, Argentina, 11 de enero de 1972.

LEY PROVINCIAL N° 9.727. Programa de Promoción y Desarrollo Industrial de Córdoba, Córdoba, Argentina, 29 de diciembre de 2009.

MINISTERIO DE TRABAJO, EMPLEO Y SEGURIDAD SOCIAL DE LA NACIÓN (2020). Observatorio de Empleo y Dinámica Empresarial (OEDE) - Estadísticas e indicadores regionales <http://www.trabajo.gov.ar/estadisticas/oede/estadisticasregionales.asp>. Fecha de consulta: 3 de mayo de 2021.

MIROPOLSKY, A., TAVELLA, D., MANERA, R. (2018). — Las herramientas de gestión como factor crítico de éxito para la sustentabilidad de empresas integrantes de modelos asociativos. IV Congreso Argentino de Ingeniería – X Congreso Argentino de Enseñanza de la Ingeniería 19 al 21 de septiembre de 2018 – Córdoba.

SANCHES RIVERO, M. y FAJARDO CALDERA, M.A. (2004) "La competitividad de los destinos turísticos: un análisis cuantitativo mediante modelos logísticos. Aplicación a los municipios extremeños", en Jornadas de Economía del Turismo, Palma de Mallorca, 28-29 de Mayo.

REPORTES DE CASO

ESTUDIO DE LA VIABILIDAD AMBIENTAL, TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL RECICLADO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS EN EL DEPARTAMENTO DE SAN RAFAEL, PROVINCIA DE MENDOZA

Recibido: 31 de Mayo, 2021 • Aceptado: 2 de Julio, 2021

Autores:

Carlos Llorente*

Bruno Romani

María Labanca

Pedro Nuñez

Carlos Ferro

Dardo Gallardo

Marcelo Barros

Cristian Montes

Fabián Yañez

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Rafael. Urquiza 314, San Rafael, Mendoza, 5600

Contacto:

**Autor a quien la correspondencia debe ser dirigida: carlosllorentearg@hotmail.com*

Roles autorales:

Conceptualización: Carlos Llorente; Bruno Romani; Pedro Nuñez; Dardo Gallardo.

Curaduría de datos: Fabián Yañez; Pedro Nuñez; Cristian Montes; Marcelo Barros; Carlos Ferro.

Análisis formal: Carlos Llorente; María Labanca; Pedro Nuñez; Cristian Montes.

Investigación: Dardo Gallardo; Pedro Nuñez; Cristian Montes; Carlos Ferro; Fabián Yañez.

Metodología: Carlos Llorente; Bruno Romani.

Administración del proyecto: Carlos Llorente; Dardo Gallardo.

Supervisión: Carlos Llorente; Bruno Romani; Dardo Gallardo.

Validación: Carlos Llorente; Pedro Nuñez; Bruno Romani; María Labanca.

Visualización: Pedro Nuñez; Bruno Romani; María Labanca.

Redacción - borrador original: Carlos Llorente; Pedro Nuñez; María Labanca.

Cómo citar este artículo:

Llorente, C.; Romani, B.; Labanca, M.; Nuñez, P.; Ferro, C.; Gallardo, D.; Barros, M.; Montes, C.; Yañez, F. Estudio de la viabilidad ambiental, técnica y económica del reciclado de pavimentos asfálticos en el departamento de San Rafael, provincia de Mendoza. Revista Rumbos Tecnológicos, Volumen 13, 2021, pp. 91-98. Secretaria de Ciencia, Tecnología y Posgrado, Facultad Regional Avellaneda, Universidad Tecnológica Nacional. <http://rumbostecnologicos.utnfrainvestigacion-y-posgrado.com/tipo-de-articulo/reportes/estudio-de-la-viabilidad-ambiental-tecnica-y-economica-del-reciclado-de-pavimentos-asfalticos-en-el-departamento-de-san-rafael-provincia-de-mendoza>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

RESUMEN

Los requerimientos de infraestructura en general, y de infraestructura vial en particular son cada vez mayores. Esto se debe a que estos elementos son claves para el desarrollo económico y la mejora de las condiciones de vida de la población. Si específicamente se enfoca el problema de la infraestructura vial, la red de caminos es un elemento central a la hora de disminuir los costos de logística lo que conlleva a una mejora de la competitividad, lo que contribuye de manera fundamental a la hora de lograr desarrollo de inversiones.

Los costos de inversión en la infraestructura vial son muy elevados, deben ser completados necesariamente con programas de mantenimiento que garanticen índices de serviciabilidad aceptables y aumenten la vida útil. Las condiciones mencionadas y la escasez de recursos recomiendan el establecimiento de estrategias que permitan la optimización de las inversiones en caminos, incluyendo la recuperación de la infraestructura existente.

Atendiendo estas circunstancias, a nivel internacional se han desarrollado técnicas para la recuperación de caminos que permitan evitar las reconstrucciones, entre lo que se incluye el reciclado de pavimentos asfálticos existentes con bajos niveles de serviciabilidad, evitando de esta manera la necesidad de la remoción de los mismos en un eventual programa de recuperación. El presente trabajo investiga la viabilidad ambiental, técnica y económica de la recuperación vía reciclado de pavimentos asfálticos. Para tal fin, se aprovecha la experiencia y resultados obtenidos en el departamento de San Rafael, provincia de Mendoza durante los años 2017 y 2018.

Palabras Claves: Infraestructura vial, Reciclado, Viabilidad, Ambiental, Técnica, Económica

ABSTRACT

Infrastructure requirements in general, and road infrastructure in particular, are increasing. This is because these elements are key to economic development and the improvement of the population's living conditions. If the problem of road infrastructure is specifically focused on, the road network is a central element when it comes to reducing logistics costs, which leads to an improvement in competitiveness, which contributes in a fundamental way when it comes to achieving economic development.

The investment costs in road infrastructure are very high, which must necessarily be completed with maintenance programs that guarantee acceptable serviceability rates and increase the useful life. The aforementioned conditions and the scarcity of resources recommend the establishment of strategies that allow the optimization of investments in roads, including the recovery of the existing infrastructure.

In response to these circumstances, techniques have been developed at an international level for the recovery of roads to avoid reconstruction, including recycling existing asphalt pavements with low levels of serviceability, thus avoiding the need to remove in an eventual recovery program. This project investigates the environmental, technical and economic feasibility of the recovery via recycling of asphalt pavements. For this purpose, the experience and results obtained in the department of San Rafael, province of Mendoza during the years 2017 and 2018 are used.

Key-words: Road infrastructure, Recycling, Viability, Environmental, Technical, Economic

INTRODUCCIÓN

El presente estudio abarca el análisis de viabilidad técnica, ambiental y económica del reciclado de los pavimentos urbanos del departamento de San Rafael. La infraestructura vial presenta elevados costos de inversión y es clave para el desarrollo económico. El departamento de San Rafael, tanto en distritos como en ciudad presentaba y presenta un número importante de calles y avenidas con pavimentos asfálticos deteriorados de manera prácticamente irreversible con bases granulares de espesor acotado. La alternativa convencional de solución exigía la remoción de la carpeta asfáltica existente y la reconstrucción de las bases granulares existentes lo que implicaba la incorporación de material para su mejoramiento y engrosamiento.

Por otra parte, la tecnología actual ofrece como alternativa el uso de equipos recicladores de pavimentos, se trata de máquinas autopropulsadas dotadas de cilindros con puntas de acero al tungsteno que permiten triturar los caminos existentes en espesores considerables. El paso de este tipo de equipos permite lograr en el espesor de trabajo una mezcla homogénea con granulometrías finales sensiblemente similares a las de los materiales que componían las capas originales. Estos equipos fueron propuestos y utilizados para obras de la Municipalidad de San Rafael para el reciclado, también se utiliza la expresión reclamado, de pavimentos constituidos por capas de bases granulares y carpetas de rodamiento de concreto asfáltico en frío y caliente.

El equipo vial utilizado para la ejecución de las obras abarca:

- 1) Recicladora (reclamadora) autopropulsada.
- 2) Tanque de agua arrastrado por tractor conectado a equipo de reciclado.
- 3) Equipos de compactación vibratorios y neumáticos.
- 4) Motoniveladora.

MATERIALES Y MÉTODO

El presente estudio abarcó el análisis de distintos sectores de los distritos ciudad y Rama Caída según detalle adjunto, donde se indica las superficies abarcadas y los tiempos en servicio. A la fecha el comportamiento de las obras ha sido compatible con lo esperado.

Tabla 1. Localización y superficie abarcada por el estudio.

Localización de la obra	Superficie Reciclado (m ²)	Fecha Obra	Tiempo en servicio (meses)
Av. Los Sauces	8.470	feb-18	26
Av. El Libertador	15.680	jul-18	22
Calles Diez Martín y Cabildo	13.050	nov-17	34
Barrio Belgrano	83.334	jul-17	38
Av. Florida - Daudet	19.800	may-19	15
Barrio Inalicán - Rama Caída	17.203	ago-17	37
Barrio Musso	47.078	nov-17	34
Barrio Constitución	55.023	nov-18	22
	259.638		

Fuente: elaboración propia a partir de relevamientos de obras

Para el establecimiento de la viabilidad técnica se desarrollaron los estudios de laboratorio y de ingeniería correspondientes, estableciendo precisiones respecto de las especificaciones técnicas a cumplimentar para lograr un paquete estructural comparable al de las obras que solicita la Municipalidad de San Rafael, (Municipalidad de San Rafael, 2017).

El estudio se realizó abarcando prácticamente para la totalidad de las arterias donde se aplicó el reciclado.

Las actividades técnicas de investigación desarrolladas fueron las siguientes:

- 1) Relevamiento preliminar y cateos de determinación de paquetes estructurales, con determinación de anchos de calzada.
- 2) Muestreo de materiales de calzada y base existentes para desarrollo de ensayos de laboratorio.
- 3) Ensayos de laboratorio de muestras: granulometrías, clasificación de materiales, densidades, capacidad portante según pliego y Normas de Vialidad Nacional (Dirección Nacional de Vialidad, 1998). Ver Gráfico 1 y Tabla 2.
- 4) Análisis de los resultados obtenidos y determinación de viabilidad de propuesta de reciclado.
- 5) Control de los resultados en relación a las especificaciones.
- 6) Determinación de la incorporación de materiales correctores.
- 7) Establecimiento de la viabilidad técnica de la solución.

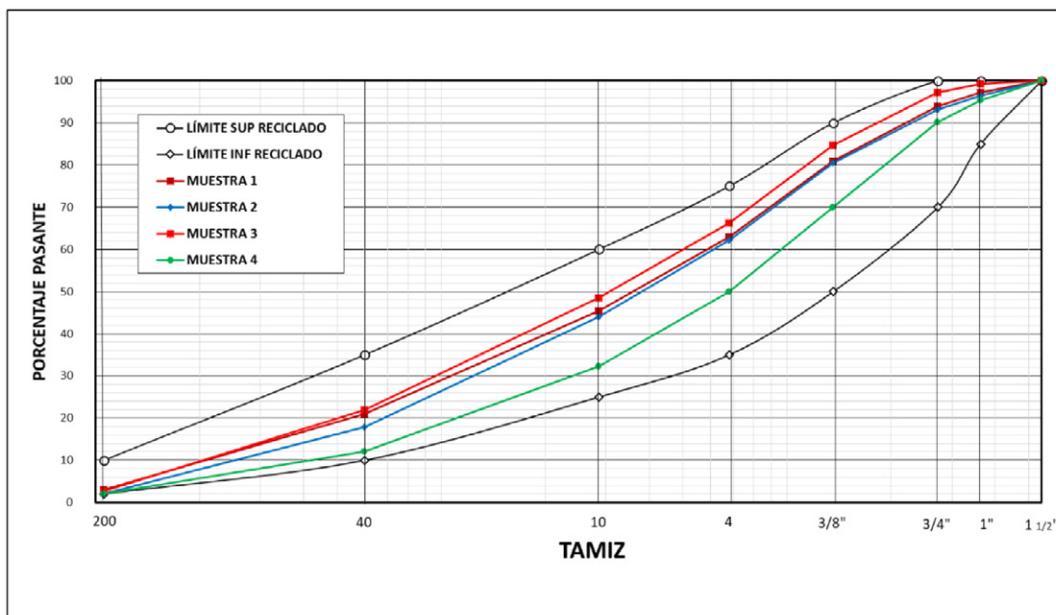


Gráfico 1. Curvas granulométricas de especificaciones de base obtenida por reciclado y resultados de ensayos.

Fuente: elaboración propia a partir de datos Municipalidad de San Rafael (MSR) y ensayos de laboratorio.

Observaciones: las curvas indicadas como Límites Sup e Inf Reciclado, corresponden a los parámetros establecidos en la especificación correspondiente. Las curvas Muestra 1 a 4 se obtuvieron de ensayos de obra.

Tabla 2. Resumen de resultados mínimos de VSR para material reciclado.

Localización de la obra	Superficie Reciclado (m2)	Fecha Obra	Valor Soporte (%)
Av. Los Sauces	8.470	feb-18	68,6
Av. El Libertador	15.680	jul-18	77,8
Calles Diez Martín y Cabildo	13.050	nov-17	64,0
Barrio Belgrano	83.334	jul-17	63,6
Av. Florida - Daudet	19.800	may-19	81,0
Barrio Inalicán - Rama Caída	17.203	ago-17	63,0
Barrio Musso	42.000	nov-17	77,0
Barrio Constitución	35.890	nov-18	76,8

Fuente: elaboración propia a partir de datos MSR y ensayos de laboratorio.

La viabilidad ambiental se analiza a partir de la comparación de los impactos ambientales más relevantes para las dos situaciones, construcción convencional o reciclado. Se analizaron los siguientes aspectos:

- 1) Consumo de materiales granulares.
- 2) Destino final de materiales productos de la excavación.
- 3) Consumo de combustibles líquidos y emisión de gases de combustión.
- 4) Afectación sobre la infraestructura.
- 5) Consumo de agua dulce.
- 6) Afectación al tránsito y a los vecinos.

El estudio se realizó mediante el relevamiento de las operaciones completas en ambos casos, realizando los cálculos y estimaciones pertinentes. Cabe acotar que de acuerdo a la localización de las obras los resultados obtenidos en la comparación son diferentes, dependiendo de las distancias relativas a las canteras, densidad poblacional de las zonas afectadas, tránsito, etc.

La exigencia de VSR propuesta para el caso de bases obtenidas por reciclado de pavimentos asfálticos existentes es menor que para las bases granulares convencionales. Esto se traduce indefectiblemente en una disminución del número estructural del pavimento. La condición de VSR 60% mínimo para el 98% Próctor para las bases obtenidas por reciclado se encuentra en una condición intermedia entre sub base y base, dado que para la primera la exigencia es 40% y para la segunda 80%. Considerando que se trata de las mismas subrasantes, dada la capacidad de drenaje de los materiales y los valores de capacidad portante antes mencionados, se puede calcular la diferencia de calidad entre las bases granulares convencionales y las obtenidas por reciclado para los materiales a través del coeficiente a2 número estructural AASHTO 93, (American Association of State Highway Transportation Officials, 1993).

Tabla 3. Comparación número estructural base granular y reciclada

Elemento estructural	Valor Soporte 98% Próctor	Coefficiente a2 AASHTO 93	Diferencia Aporte	Espesor requerido (cm)
Base granular convencional	80	0,12	1	15
Base granular por reciclado	60	0,09	0,75	20

Fuente: elaboración propia a partir de tablas método AASHTO 93.

Por lo tanto con los valores expresados, debería ejecutarse una base granular por reciclado de 20 cm de espesor con VSR 60% mínimo para equipar el número estructural logrado con una base convencional de VSR 80%. O bien, atendiendo que se trata de la misma subrasante y de la misma carpeta asfáltica, el número estructural se reduciría en un 25% para el mismo espesor. Por lo tanto, para iguales condiciones de tránsito y clima el costo debería ser 25% menos. Estas situaciones se presentan en la Tabla 4, a continuación:

Tabla 4. Equivalencia económica de acuerdo a número estructural de las alternativas

ALTERNATIVA: RECONSTRUCCIÓN DE BASE GRANULAR

N°	DENOMINACIÓN	UNIDAD	P.U.
1	Excavación y preparación de la subrasante	m2	49,50
2	Reconstrucción de base estabilizada en 15 cm de espesor	m2	81,90
		m2	131,40

ALTERNATIVA: CONSTRUCCIÓN DE BASE GRANULAR POR RECICLADO

N°	DENOMINACIÓN	UNIDAD	P.U.
1	Construcción de base por reciclado en 20 cm de espesor	m2	131,40
	Precio máximo para reciclado	m2	131,40

ALTERNATIVA: CONSTRUCCIÓN DE BASE GRANULAR

N°	DENOMINACIÓN	UNIDAD	P.U.
1	Excavación y preparación de la subrasante	m2	49,50
2	Reconstrucción de base estabilizada en 15 cm de espesor	m2	81,90
		m2	131,40

Disminución de costo mínima esperable 25,00% 32,85

ALTERNATIVA: CONSTRUCCIÓN DE BASE GRANULAR POR RECICLADO

N°	DENOMINACIÓN	UNIDAD	P.U.
1	Construcción de base por reciclado en 15 cm de espesor	m2	98,55
	Precio máximo para reciclado	m2	98,55

Fuente: elaboración propia a partir de datos MSR.
Observación: los precios se corresponden a Julio 2017.

En los cálculos de la izquierda se establece el precio máximo a pagar por una base granular obtenida por reciclado en un espesor de 20 cm, comparada con un paquete convencional. De esta manera se compatibilizaría la diferencia de número estructural. A la derecha se presentan los valores del precio máximo a pagar de reciclado bajo la hipótesis de aceptar un espesor de 15 cm, lo cual implicaría aceptar una disminución del número estructural del pavimento del 25%.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los relevamientos y ensayos técnicos permitieron establecer los siguientes resultados:

1) Los estudios indicaron que en todos los casos se trató de pavimentos asfálticos constituidos por carpetas asfálticas tipo en frío y en algunos casos en caliente combinados con bases granulares de materiales provenientes de canteras de zona de Valle Grande o similares. Los espesores de materiales reciclables superaron los 15 cm en todos los casos.

2) Los ensayos de laboratorio permitieron inferir que los materiales obtenidos en los distintos puntos son similares, tanto desde el punto de vista granulométrico como petrográfico. La mezcla de carpeta y base triturada en todos los casos presentó un aspecto homogéneo.

3) Las granulometrías de todas las muestras prácticamente se encontraron dentro de los límites establecidos. En los casos que no se verificó esta condición se incorporaron materiales granulares correctores. Se establecieron granulometrías promedios. Las muestras no presentaron plasticidad ni hinchamiento. Tampoco sales. La Densidad Próctor y el Valor Soporte Relativo (VSR) alcanzaron valores acordes con el tipo de materiales involucrados en la mezcla de reciclado.

4) Los resultados de los ensayos se contrastan contra especificación técnica particular desarrollada a partir de referencias nacionales y del extranjero.

5) La evaluación técnica de las soluciones planteadas en todos los casos fue positiva, indicando la viabilidad del reciclado para la conformación de bases granulares de calidad. Cabe agregar que a los resultados satisfactorios de los ensayos se suman las características de la mezcla de material reciclado sumamente homogénea, lo que confiere a la metodología una sensible ventaja desde el punto de vista operativo. Se adiciona a esto la posibilidad de agregar materiales de base adicionales para corregir el perfil transversal, o bien la capacidad portante como correctores, cal o cemento portland. También es posible la incorporación de agua en forma dosificada para alcanzar las humedades deseadas para la compactación. Todas estas condiciones otorgan a la metodología propuesta gran flexibilidad. Es importante señalar que la velocidad de ejecución es mucho mayor que las tradicionales para reconstruir un paquete estructural convencional.

6) El comportamiento a la fecha de todas las obras ha sido excelente, lo que estaría demostrando que las conclusiones extraídas de los estudios técnicos son aplicables en su totalidad y pertinentes.

La alternativa de reciclado presentó en general notables beneficios ambientales. La comparación de esta tecnología con la alternativa de construcción de bases convencionales indica que la disminución de impactos ambientales en un caso y otro son sensiblemente menores. Se presenta a continuación un listado de los principales beneficios ambientales de aplicación de reciclado:

1) Consumo de materiales granulares: se logra ahorrar la explotación de los áridos necesarios para la construcción de la base, donde si bien en nuestra región se trata de un recurso relativamente abundante no se trataría de un recurso renovable en todas las canteras.

2) Destino final de materiales productos de la excavación: estos materiales en algunos casos pueden ser usados para rellenos, sin embargo, normalmente las carpetas asfálticas al ser retiradas conforman escombros que exigen su depósito en lugares a tal fin, con los consiguientes impactos negativos.

3) Consumo de combustible y emisión de gases de combustión: se evita la excavación de los materiales existentes en las distintas calles, su carga y transporte a destino final; desaparece el requerimiento de emisiones para la preparación de subrasantes (trabajos de perfilado y compactación); extracción de áridos, carga, transporte, mezclado en obra. Las emisiones producidas por los equipos necesarios para la realización de las operaciones mencionadas son sensiblemente mayores que las producidas por el equipo de reciclado.

4) Afectación sobre la infraestructura: el reciclado permite evitar el transporte de cargas pesadas en zonas suburbanas y urbanas, no es necesario realizar excavaciones ni preparación de subrasantes, y por lo tanto el riesgo de rotura de cañerías existentes se reduce sensiblemente; al no realizar trabajos de movimiento de suelos generalizados la probabilidad de afectar cordones,

puentes, cartelería, etc., disminuye sensiblemente.

5) Consumo de agua dulce: los trabajos de preparación de subrasante y de construcción de base de forma convencional requieren un consumo de agua sensiblemente mayor que la opción de reciclado.

6) Afectación al tránsito y a los vecinos: la reducción de los tiempos de operación para la ejecución de los trabajos se traduce en una disminución de la afectación al tránsito, por ende en menores riesgos de accidentes; de la misma manera baja el nivel de afectación en la calidad de vida de los vecinos.

Las razones expuestas ponen de manifiesto que los impactos ambientales en la alternativa de reciclado son sensiblemente menores que en el caso de la construcción de bases granulares previa excavación. Por lo tanto presenta mejores condiciones de viabilidad ambiental.

La viabilidad económica de la alternativa de reciclado se funda en el precio que se pague por m² de base granular obtenida a través de esta alternativa tecnológica. Si el reciclado representase un costo total final menor que el 25 % del costo de la base granular convencional sería una propuesta conveniente a los intereses de los vecinos de San Rafael. Esto también puede lograrse con el mismo precio pero con un espesor de base reciclada un 25% mayor.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se ha analizado la viabilidad técnica, ambiental y económica del reciclado de pavimentos asfálticos existentes en San Rafael. En todos los casos los resultados han sido positivos, por lo que la alternativa propuesta es perfectamente viable. Si a su vez se realiza una comparación entre las posibles formas de construir la base de los pavimentos asfálticos, esto es de manera convencional con materiales granulares previa excavación y preparación de las subrasante, versus el reciclado de las carpetas y bases existentes resulta:

1) El aporte estructural de las bases obtenidas por reciclado sería del orden del 25% menor que las bases convencionales a igualdad de espesores, y lógicamente para la misma subrasante.

2) La alternativa de reciclado es ambientalmente mucho menos impactante, con sensibles ventajas en lo referido a la afectación del tránsito por la disminución de los tiempos de obra.

3) Considerando estas circunstancias, un costo de base reciclada 25% menor que la convencional se considera una propuesta favorable a los intereses de los vecinos y de la comunidad toda siempre y cuando el costo para un espesor de 15 cm de base granular reciclada con VSR 60% mínimo para el 98% de la densidad Próctor no supere un precio referencial máximo de \$ 98,55 por m², valores a Julio de 2017.

4) A los fines de garantizar la eficacia en la aplicación de la alternativa de reciclado con los precios expuestos, se puede exigir que el espesor de base final reciclada sea como mínimo 16 cm, de esta manera se mejoraría la condición estructural propuesta.

REFERENCIAS

Municipalidad de San Rafael, 2017. Especificación técnica particular: Reciclado de carpeta asfáltica y base granular existente en 16 cm de espesor, Pliegos de especificaciones técnicas.

Dirección Nacional de Vialidad, 1998. Normas de ensayo.

American Association of State Highway Transportation Officials – AASHTO 93; Guide for design of pavements structures. Washington D.C.

FILTRACIÓN DE CONCENTRADOS DE SULFUROS DE COBRE CON FORMACIÓN DE TORTA: DISEÑO EXPERIMENTAL Y OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO

Recibido: 31 de Mayo, 2021 • Aceptado: 17 de Agosto, 2021

Autores:

Facundo Arnaudo¹

Ana Maria Celeda¹

Jorge Pablo de Celis^{*2 3}

 <https://orcid.org/0000-0001-5036-2710>

¹ INTEMIN-SEGEMAR Av. Gral Paz 5445 Ed. 14 (1650) San Martín. Pcia. Buenos Aires.

² Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Ingeniería Química (LIDIQ), Departamento de Ingeniería Química, Facultad Regional Avellaneda, Universidad Tecnológica Nacional. Ramón Franco 5050 (1874). Villa Domingo, Avellaneda. Buenos Aires. Argentina.

³ Laboratorio de Procesos en Ingeniería Química (LAPIQ), Escuela de Ingeniería, Departamento de Ingeniería, Universidad Nacional del Oeste. Merlo, Buenos Aires, Argentina.

Contacto:

**Autor a quien la correspondencia debe ser dirigida: jdecelis@fra.utn.edu.ar*

Roles autorales:

Conceptualización: Ana Maria Celeda, Jorge Pablo de Celis y Facundo Arnaudo

Curaduría de Datos: Facundo Arnaudo

Investigación: Facundo Arnaudo

Administración del Proyecto: Jorge Pablo de Celis

Recursos: Ana María Celeda y Jorge Pablo de Celis

Supervisión: Ana María Celeda y Jorge Pablo de Celis

Redacción – Borrador original: Facundo Arnaudo.

Escritura – Revisión y Edición: Facundo Arnaudo, Ana Maria Celeda y Jorge Pablo de Celis

Cómo citar este artículo:

Arnaudo, F., Celeda, Ana María, de Celis, Jorge Pablo. Filtración de concentrados de sulfuros de cobre con formación de torta: diseño experimental y optimización del proceso. Revista *Rumbos Tecnológicos*, Volumen 13, 2021, pp. 99-116. Secretaria de Ciencia, Tecnología y Posgrado, Facultad Regional Avellaneda, Universidad Tecnológica Nacional. <http://rumbostecnologicos.utnfrainvestigacionyposgrado.com/tipo-de-articulo/reportes/filtracion-de-concentrados-de-sulfuros-de-cobre-con-formacion-de-torta-diseno-experimental-y-optimizacion-del-proceso>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

RESUMEN

Se estudió la incidencia de las variables operativas sobre el proceso de filtración de una suspensión de sulfuros metálicos proveniente de la industria minera. El sólido que la conforma representa el 60% de la masa total de la suspensión y muestra una distribución de tamaño de partículas con más del 70% de la masa inferior a 45 μm . El mismo, está compuesto principalmente por calcopirita y pirita, siendo la primera, la especie mineralógica portadora del metal de interés (cobre). El equipo utilizado es un filtro de escala piloto de 0,1 m^2 de área filtrante. Se estudió la influencia de la presión y el tiempo de bombeo sobre las variables de salida: capacidad de filtración (\dot{C}_f) y humedad de la torta (H). La selección de puntos operacionales se realizó por un diseño OHLC. De esta manera, con unos pocos ensayos se pudo delimitar las zonas de mejor performance para un análisis más exhaustivo. Se pudo observar que la zona óptima de operación resultó alrededor de los 55 segundos de operación y los 6,5 bar. En la misma, la capacidad de filtración se maximiza y la humedad retenida por el sólido se mantiene en valores apropiados para este tipo de materiales.

Palabras Claves: Filtración por presión, OHLC, Sulfuros metálicos

ABSTRACT

The incidence of operational variables on the filtration process of a suspension of metallic sulphides from the mining industry was studied. The solid that forms it represents 60% of the total mass of the suspension and shows a particle size distribution with more than 70% of the mass less than 45 μm . It is mainly composed of chalcopyrite and pyrite, the former being the mineralogical species that carries the metal of interest (copper). The equipment used is a pilot-scale filter with a filter area of 0,1 m^2 . The influence of pressure and pumping time on the output variables were studied: filtration capacity (\dot{C}_f) and cake moisture (H). The selection of operational points was carried out by an OHLC design. In this way, it was possible to delimit the best performing areas for a more exhaustive analysis with a few trials. It was observed that the optimal operating zone was around 55 seconds of operation and 6.5 bar. In it, the filtration capacity is maximized and the moisture retained by the solid is kept at appropriate values for this type of materials.

Key-words: Pressure filtration, OHLC, Metal sulphides

INTRODUCCIÓN

El beneficio de minerales o “*ore dressing*”, es la rama del procesamiento de minerales que estudia las operaciones que permiten obtener el concentrado de cobre. En esta parte del procesamiento se descarta la mayor parte de los minerales no portadores que constituyen la denominada “ganga”, “cola” o desecho del proceso. En general, el tipo de operaciones que se usan depende de las propiedades del mineral portador que desee concentrarse y el tipo de mena en que se encuentra.

Las etapas principales del procesamiento de minerales para la obtención de concentrados de cobre se pueden agrupar en 4 etapas operativas bien diferenciadas: conminución, concentración, obtención del producto final y disposición de residuos (Beregovski et al., 1972; Ballester et al., 2000).

Proceso de separación sólido-líquido por medio de filtración con formación de torta.

El proceso de filtración forma parte de la etapa de obtención del producto final ya que permite separar el líquido del sólido concentrado en minerales de cobre.

La filtración con formación de torta, utilizada generalmente en los procesos de separación de concentrados de cobre, se caracteriza porque el sólido de la suspensión es retenido en la superficie del medio filtrante como una capa denominada torta. Esto se produce naturalmente cuando los poros del medio filtrante tienen un tamaño menor que el de las partículas.

La mayoría de los equipos de filtración con formación de torta trabajan en ciclos de formación de la torta, prensado, lavado, secado y descarga. Por otro lado, existen diferentes tipos de mecanismos de operación, según la forma en que se produce el gradiente de presión requerido, ya sea por gravedad, vacío o presión positiva (Concha, 2001).

Los filtros de presión positiva son los de mayor presencia en la industria minera, junto con los filtros de vacío. El diseño de estos equipos se basa principalmente en establecer el área de filtración necesaria para mantener una elevada capacidad de procesamiento (expresada en kg de sólido seco por metro cuadrado de superficie filtrante por hora). A su vez, para la minería de obtención de concentrado metálicos (sulfuros de cobre, plomo, zinc, molibdeno etc.) se requiere mantener los valores de humedad de la torta en rangos aceptables, estimada entre el 7 y el 10% en masa para este producto. Esto se debe a que una elevada humedad encarece el transporte y una baja humedad favorece la pérdida de producto en forma de polvo.

Sin embargo, la variedad de materiales a filtrar, con propiedades muy diferentes, hace que se considere apropiado realizar pruebas de filtración a menor escala. De esta manera, se logran obtener datos empíricos que describan el comportamiento del sistema y aseguran el correcto dimensionamiento del filtro industrial. En la necesidad de optimizar recursos, tiempo y esfuerzo, existen herramientas que permiten obtener resultados confiables con pocos ensayos, basadas en análisis estadísticos y desarrollos matemáticos entre otros. En esa dirección, se propone un diseño experimental y un tratamiento matemático con la finalidad de cumplir los objetivos detallados a continuación.

OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo es estudiar el efecto de la presión de carga del filtro y el tiempo de carga sobre los parámetros de diseño a través de un diseño de experiencias mediante una matriz de

diseño OHLIC. Se realizarán ensayos de separación sólido-líquido (SSL) con la idea de establecer una zona de “confort” para la operación de filtración.

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización de la suspensión modelo empleada en los ensayos de filtración

Se utilizó una suspensión de concentrado de sulfuro de cobre proveniente de un proceso de flotación. La muestra a ensayar se tomó del tanque de almacenamiento del material que ingresa a la planta de filtrado, desde un mineraloducto obviaría este detalle. Para los ensayos de filtración, se tomaron muestras representativas de la suspensión, la cual fue previamente caracterizada.

El porcentaje en masa de sólidos de la suspensión se determinó sobre una porción de la muestra, mediante secado en una balanza de humedad AND modelo MX-50, con un error del 0,01%, bajo la acción de luz halógena a una temperatura pre-establecida en 120°C, empleando una rampa de intercambio calórico programada previamente.

La densidad se determinó registrando la masa (en una balanza granataria Radweg modelo PS4500C2) de un volumen de muestra conocido, medido con una probeta de 500 ml.

Sobre otra muestra representativa, que se dejó decantar previamente, se extrajo el sobrenadante, el cual se filtró con papel de filtro para eliminar cualquier partícula remanente. Se midieron el pH y la conductividad eléctrica del líquido filtrado obtenido. Los sólidos separados durante la decantación se secaron en estufa a 65°C y se utilizaron para determinar las especies minerales presentes mediante análisis de difracción de rayos X (DRX) sobre una preparación de polvo “no orientado” utilizando un equipo Philips MPDXPert con radiación de Cu en un intervalo $5^\circ < 2\theta < 70^\circ$ con una relación paso/tiempo de 0,03°/2s. La interpretación de las señales se realizó con un software High Score Plus PANalytical.

Los componentes mayoritarios presentes en la muestra se cuantificaron mediante un análisis por fluorescencia de rayos X dispersivo en longitud de onda (EDXRF), utilizando un equipo Shimadzu modelo XRF1700, sobre una pastilla preparada por prensado con agente aglomerante.

La granulometría de la muestra representativa de la suspensión, se determinó por tamizado en húmedo utilizando tamices con mallas ASTM con aberturas de 125, 90, 75, 53 y 45 micrones bajo chorro de agua. Las partículas retenidas en cada tamiz se secaron y se registró su masa. La distribución de tamaños de los sólidos con granulometría inferior a 45 micrones se determinó con un equipo Sedigraph 5100.

La densidad real del sólido se determinó por picnometría de gases utilizando helio de ultra alta pureza en un equipo Micromeritics Acupic 1330.

Descripción del funcionamiento del equipo y de los ensayos realizados en el proceso de filtración

Los ensayos de filtración de la suspensión en estudio se llevaron a cabo utilizando un equipo en escala piloto Outotec - Larox PF 0,1. El principio de funcionamiento es el de filtración por presión y en la Figura 1 se incluye un esquema general del mismo. La operatoria del filtro permite que, durante las etapas de bombeo y prensado por diafragma, la presión en la cámara se mantenga constante en un valor pre-fijado de antemano.

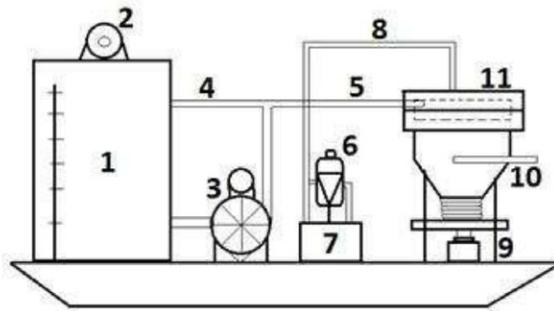


Figura 1. Esquema general del equipo y ubicación de sus componentes principales.

El equipo está provisto de un tanque con agitación donde se carga la muestra a usar durante los ensayos (1), una cámara de filtrado horizontal con una superficie de 0,1 m² (11) donde se coloca la tela filtrante previamente humedecida y tarada, cuya función es permitir que se constituya y sostener la torta de filtrado. La cámara se cierra y se abre por efecto de un pistón hidráulico (9). El líquido filtrado se recoge por una salida en la base de la cámara (10). El diafragma de prensado, en el interior de la cámara se mueve por entrada de agua (8) desde un tanque de agua (7) mediante una bomba multiplicadora de presión (6).

La homogeneidad de la pulpa en el tanque, se mantuvo en todo momento por la agitación mecánica (2) y la turbulencia que genera la bomba de doble diafragma (3) que recircula la suspensión al tanque (4), antes y después de finalizada la etapa de bombeo de material (5) a la cámara de filtrado. Pevio al inicio de cada ensayo se verificó la densidad de la suspensión, tomando una muestra en la válvula situada justo antes de la succión de la bomba (3).

Se realizaron ensayos utilizando un textiles de poliéster (PES) fabricado por TamfeltOy, con una permeabilidad al aire de 5 m³/m²/min.

El proceso de filtrado procede en tres etapas. Las mismas fueron descriptas oportunamente por (Townsend, 2003) y son:

(A) ETAPA DE BOMBEO DE LA SUSPENSIÓN A LA CÁMARA DE FILTRACIÓN

En la etapa de bombeo o de alimentación (Figura 2), la pulpa es bombeada hacia la cámara de filtración con una presión prefijada y constante.

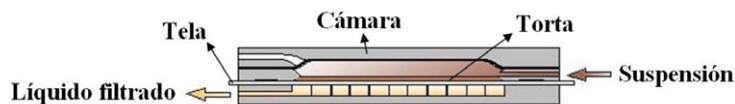


Figura 2. Representación del interior de la cámara de filtración durante la alimentación.

En esta etapa se da la separación sólido-líquido principal, ya que a medida que la suspensión ingresa a la cámara, genera la presión necesaria para que el líquido filtrado abandone el recinto, acumulándose sólido sobre el medio filtrante y permitiendo el ingreso de más suspensión.

El bombeo se prolongará durante un tiempo predeterminado. Una vez finalizado, el líquido continuará fluyendo fuera de la cámara, ya que la presión residual dentro de la misma, aún supera la resistencia que ofrecen la torta de sólido formada y el medio filtrante. Este tiempo de transición o “tiempo muerto” continuará hasta que se produzca la adecuación de los sistemas mecánicos del filtro para dar inicio a la siguiente etapa.

(B) ETAPA DE DESAGUADO MEDIANTE EL PENSADO DE LA TORTA POR UN DIAFRAGMA

El diafragma elástico que se encuentra en la parte superior de la cámara, comenzará a descender, producto del agua que es bombeada sobre este. Su desplazamiento forzará la filtración de la suspensión que aún se encuentra sobre el sólido (Figura 3). Una vez que hace contacto con la superficie de la torta conformada hasta ese momento, la presión ejercida por el diafragma podría permitir comprimir la torta, evacuando así parte del líquido que aún queda en el interior del sólido, dependiendo de cuán compresible sea el sólido.

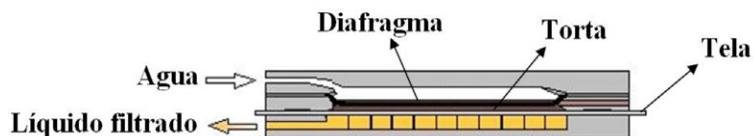


Figura 3. Representación del interior de la cámara de filtración durante el prensado.

La presión ejercida por el diafragma se mantendrá constante hasta la finalización de la etapa y al igual que con el periodo de alimentación, se prolongará durante un tiempo posterior.

(C) ETAPA DE SECADO DE LA TORTA CON AIRE COMPRIMIDO

La etapa de secado (Figura 4) consiste en hacer circular aire a presión a través de la torta, para que éste arrastre el líquido remanente que aún queda en los poros internos del lecho y que no pudo ser eliminado en las etapas anteriores.

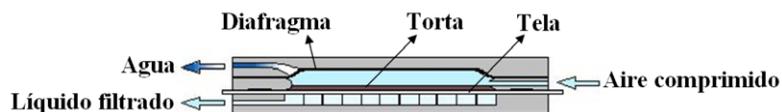


Figura 4. Representación del interior de la cámara de filtración durante la etapa de secado.

El aire introducido, además, facilita el despegue del diafragma con la torta, de la etapa anterior, y colabora con el retroceso del agua que quede sobre el diafragma. El caudal de aire se fija con una válvula que se encuentra justo antes de su alimentación.

En el caso de filtros industriales a presión, la alimentación de la suspensión se realiza, generalmente, por medio de bombas centrífugas que impulsan el concentrado. Para ello, en este tipo de

filtración, el gradiente de presión aplicado es constante durante la mayor parte de la operatoria. El flujo de filtrado depende de la resistencia ofrecida por el medio filtrante más la de la torta, que crece en espesor con el tiempo.

La duración de la etapa determinará la cantidad de sólido que ingresa a la cámara, no obstante, el volumen de la torta quedará limitado al volumen del recinto de filtración. A su vez, la presión de bombeo establecerá la velocidad con la que se realiza la filtración, como así también la forma en que se irán acomodando las partículas sobre la tela. Asimismo, la evolución de la resistencia ofrecida por el medio filtrante y por la torta en crecimiento, reducirá gradualmente el gradiente de la fuerza impulsora disminuyendo la velocidad de filtración. Dependiendo de la presión de bombeo y de las características del lecho conformado, la tasa de acumulación de líquido filtrado y de sólidos dentro de la cámara irá disminuyendo hasta hacerse nula, en casos límites.

En este sentido, establecer las zonas donde se optimice la performance del equipo, respecto a la capacidad de filtración y a la humedad de la torta, requerirá analizar el proceso en diferentes condiciones de operación.

Caracterización del producto sólido y del efluente líquido obtenidos en los ensayos de filtración.

Una vez que finalizado el ciclo completo de filtración, se procede con la despresurización y apertura de la cámara, para retirar la tela junto con la torta de sólido formada sobre ella (Figura 5). Antes de iniciar otro ensayo con la misma tela, es necesario lavarla manualmente para mantener su eficiencia en los distintos ciclos de filtrado.



Figura 5. Torta formada sobre la tela filtrante, en el filtro Larox PF 0,1.

Al final del proceso, se registró el volumen de filtrado en función del tiempo de operación de cada etapa.

La masa de la torta húmeda (M_{th}) de cada ensayo se determinó en una balanza granataria Sartorius BP 34000P. Asimismo, en cada torta obtenida, se determinó el contenido de agua en su volumen (humedad) y la altura correspondiente. Para la determinación de la humedad de la torta (H) se tomaron cinco puntos elegidos al azar, basados en un estudio estadístico (Arnaudo et al., 2018), para asegurar la reproducibilidad de la medición. La misma se realizó en una balanza de humedad AND modelo MX-50, con un error del 0,01%, bajo la acción de luz halógena a una temperatura pre-establecida en 120°C, empleando una rampa de intercambio calórico programada previamente. La altura de la torta se midió con un calibre digital, en los mismos sitios donde se extrajeron las muestras para la determinación de la humedad.

Con los datos empíricos obtenidos en cada ensayo, se calculó la capacidad de filtración (\dot{C}_f) a partir de la ecuación 1.

$$\dot{C}_f = \frac{M_{th} \cdot (1 - H)}{A \cdot t_t} \quad [1]$$

donde, H es el porcentaje en masa del líquido retenido en la torta, A es el área de filtración del equipo piloto ($0,1 \text{ m}^2$) y t_t es el tiempo que duró el ciclo completo de filtración.

Estudio de las variables operativas de la etapa de bombeo

Se realizaron ensayos en el equipo de filtración de planta piloto Outotec - Larox PF, 0,1 donde se analizó la influencia de las variables tiempo y presión de bombeo sobre los parámetros de salida: capacidad de filtración y humedad de torta; manteniendo constante las condiciones de la etapa de prensado y secado.

El límite inferior del rango de presiones de bombeo para la alimentación del filtro se estableció en 3 bar. Por cuestiones operativas de la línea de presión utilizada, el límite superior de presión de bombeo fue 7 bar.

Al comienzo de la etapa de bombeo la cámara se encuentra vacía y a presión atmosférica. A medida que la suspensión comienza a inundar el recinto y las primeras capas de sólido son retenidas, la presión en el interior se irá incrementando hasta el valor fijado para la operación, lo que se logra a los 5 segundos desde el inicio. Se estableció un tiempo de 15 segundos como tiempo mínimo de duración de la etapa de bombeo. El límite superior del tiempo de bombeo, se estableció en 60 segundos a partir de lo observado en ensayos preliminares. Cuando el llenado se prolongó más de ese tiempo, la tasa de acumulación de líquido filtrado, durante la parte final la etapa, se reduce drásticamente por la elevada cantidad de sólidos retenidos dentro de la cámara.

Los rangos de operación establecidos permiten obtener una extensa serie de combinaciones de tiempo y presión de bombeo. Sin embargo, el número de ensayos que es posible realizar, acorde al volumen de suspensión disponible, fuerza a definir las condiciones de operación para una limitada cantidad de pruebas.

Las condiciones intermedias de operación, se establecieron a partir de una matriz de diseño experimental OHLC (Hiper Cubos Latinos Ortogonales). Este diseño se implementó para seleccionar puntos (ensayos) lo más espaciadamente posible, evitando que haya más de un ensayo con el mismo tiempo o misma presión de bombeo. Este método permite obtener una primera impresión del comportamiento del sistema, en un amplio rango de valores, con unos pocos ensayos. La cantidad de niveles (tiempos y presiones) se calcula con la siguiente ecuación:

$$2^m + 1 = n$$

donde n es el número de mediciones (o de niveles), m es un número entero mayor que 1 y el término que se suma representa el punto central del diseño.

Teniendo en cuenta los rangos de presión y tiempo establecidos, se fraccionó cada uno en 9 niveles diferentes ($m = 3$). De esta manera, la presión de bombeo aumenta de 3 a 7 bar con un factor de 0,5 bar y el tiempo de bombeo aumenta desde 15 hasta 55 segundos (inferior a 60 s) con incrementos de 5 segundos y queda definida una matriz general de operación de 9×9 (81 puntos

de prueba posibles) y por medio del diseño OHLC, se fijan 9 ensayos de forma predeterminada, para generar una primera serie de pruebas preliminares.

Los puntos identificados en la matriz (Tabla 1) son los ensayos seleccionados y se encuentran con una numeración característica que representa el orden en que fueron realizados.

Tabla 1. Matriz de presión y tiempo de bombeo. Se identifican los puntos de prueba distribuidos en la matriz por un diseño OHLC.

Tiempo [s]	Presión [bar]								
	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7
15						Ensayo 1			
20							Ensayo 3		
25		Ensayo 5							
30	Ensayo 4								
35					Ensayo 2				
40									Ensayo 9
45								Ensayo 8	
50			Ensayo 6						
55				Ensayo 7					

Como se puede apreciar en la Tabla 1, los puntos se encuentran distribuidos de forma que abarcan la mayor “superficie” posible de la matriz y, a la vez, no hay ensayos que tengan el mismo tiempo o la misma presión de bombeo.

En todos los ensayos, la etapa de prensado se realizó durante 120 segundos a una presión de compresión de 15 bar y la etapa de secado se llevó a cabo durante 90 segundos empleando un caudal de aire de 100 l/min.

La elección de las variables de entrada por el diseño OHLC, permite localizar posibles zonas de mayor capacidad de filtración y zonas donde la humedad cumpla con los requisitos para el transporte.

A partir de la información producida, en los ensayos preliminares, se procedió a realizar una serie de nuevas pruebas de separación en la región de mayores capacidades del filtro y valores adecuados para la humedad de la torta. Para ello, se empleó nuevamente el diseño OHLC, utilizando la mínima cantidad de puntos posibles. Se llevaron a cabo cinco ensayos experimentales ($m = 2$). Finalmente, se determinará la región de operación donde el proceso de filtración presenta la mejor performance.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de la suspensión empleada en los ensayos de filtración

En la Tabla 2 se resumen los valores obtenidos en los ensayos de caracterización realizados a la suspensión de partida y a los sólidos que contiene.

Tabla 2. Características de la suspensión original.

Parámetro	Valor medido
% de sólidos en la suspensión	55,5
Densidad suspensión [g/cm ³]	1,84
Conductividad eléctrica del líquido (mS/cm)	3,79
pH del líquido	6,69
Densidad real del sólido (g/cm ³)	4,2892 ± 0,0070

Se puede observar que más del 50 % de la suspensión está conformada por la fase sólida y que el medio es casi neutro.

En la Tabla 3 se detallan los componentes minerales mayoritarios, minoritarios y accesorios que conforman los sólidos de la suspensión modelo. En la Tabla 4 se incluyen los resultados del análisis químico elemental de los mismos.

Tabla 3. Resultados del análisis mineralógico del sólido separado de la suspensión original, obtenido por DRX.

Componente	Identificación	Fórmula
Mayoritarios	Calcopirita	CuFeS ₂
Minoritarios	Pirita	FeS ₂
Accesorios	Esfalerita	ZnS
	Tennantita	Cu ₁₂ As ₄ S ₁₃
	Molibdenita	MoS
	Cuarzo	SiO ₂

Tabla 4. Análisis químico del sólido separado de la suspensión original, obtenido por EDXRF.

Analito	g/100g	Analito	g/100g
CuO	34,00	Al ₂ O ₃	0,18
Fe ₂ O ₃	28,70	P ₂ O ₅	0,09
SO ₃	16,40	CaO	0,06
As ₂ O ₃	1,00	K ₂ O	0,05
MoO ₃	3,00	SeO ₂	0,02
ZnO	0,85	Sb ₂ O ₃	0,01
SiO ₂	0,58	PbO	0,24
		Ppc (100°C)	16,70

Estos resultados muestran que en el concentrado de sulfuros metálicos la calcopirita (CuFeS₂), especie portadora de cobre, es el componente mayoritario. Otros sulfuros metálicos presentes son la pirita y la molibdenita. El hierro total analizado se reparte entre las especies calcopirita y pirita (FeS₂) y el arsénico se encuentra en la especie tennantita. La presencia de cuarzo como componente minoritario se confirma con el bajo contenido de SiO₂ que indica el análisis químico. El bajo contenido de aluminio y elementos alcalinos y alcalinotérreos indica la ausencia de arcillas u otro tipo de silicoaluminatos. La Ppc a 100°C es coincidente con el contenido de SO₃ que corresponde a los sulfuros presentes en la muestra. En consecuencia, se estudió la distribución granulométrica del sólido, obtenida por tamizado en húmedo. Los resultados obtenidos se resumen en la Tabla 5.

Tabla 5. Análisis granulométrico del sólido obtenido por tamizado en húmedo.

Tamaño de partícula [μm]	% m/m
> 125	0,3
90 – 125	1,3
75 – 90	3,2
53 – 75	10,3
53 – 45	12,1
< 45	72,8
Total	100,0

La distribución de tamaños obtenida, refleja una baja presencia de partículas superiores a 75 μm . En general, para este tipo de sulfuros este es un requerimiento importante para el transporte de suspensiones por cañerías, para evitar la sedimentación durante el trayecto. La mayor proporción de partículas (por encima del 70%) se distribuye en granulometrías menores a los 45 μm . Estos últimos se analizaron con el analizador de partículas Sedigraph 5100. Los resultados alcanzados se incluyen en la Tabla 6. En la misma, se incluye la distribución de tamaños de los sólidos con granulometría inferior a los 45 μm en su fracción y referidos a la muestra total de sólidos. La distribución de tamaños muestra una asimetría, con un valor modal ubicado en el rango comprendido entre los 16 y 24 μm . Además, la muestra de partículas comprendidas entre los 12 y los 45 μm representa casi el 60 % de la población total.

Tabla 6. Análisis granulométrico del sólido obtenido por tamizado en húmedo.

Tamaño [μm]	% m/m referido a la fracción <45 μm	% m/m referido al total de sólidos
0-2	3,24%	2,36%
2-3	4,87%	3,54%
3-4	4,62%	3,36%
4-6	8,50%	6,19%
6-8	7,73%	5,62%
8-12	12,42%	9,04%
12-16	9,65%	7,02%
16-24	17,91%	13,03%
24-32	15,78%	11,48%
32-40	9,22%	6,71%
40-45	6,05%	4,40%
Total	100,00%	72,8%

Selección de los ensayos representativos de la etapa de bombeo y determinación de la zona óptima de operación

Los valores obtenidos para la capacidad del filtro y la humedad de la torta en los ensayos preliminares seleccionados se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7. Capacidad del filtro y humedad de la torta obtenidos en los ensayos preliminares.

Ensayo	Tiempo [s]	Presión [bar]	Capacidad [kg/m ² h]	Humedad [% m/m]
1	15	5,5	494	5,9
2	35	5,0	522	6,7
3	20	6,0	553	5,8
4	30	3,0	508	5,8
5	25	3,5	499	6,0
6	50	4,0	572	6,2
7	55	4,5	575	6,8
8	45	6,5	629	6,5
9	40	7,0	595	6,7

En las Figuras 6 y 7 se representa la capacidad del filtro de los 9 ensayos preliminares, en función del tiempo de bombeo y la presión de operación. Ambas figuras muestran la misma superficie vista de diferentes orientaciones, para que de esta manera, se pueda apreciar la evolución de la variable de salida en función de las variables de entrada. El patrón de colores utilizado va desde los valores más bajos de capacidad de filtración en color azul hasta los valores más elevados en color rojo.

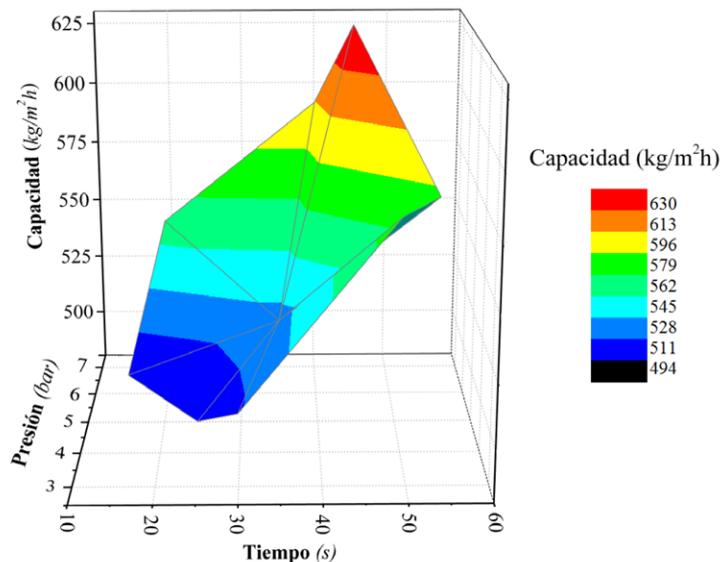


Figura 6. Capacidad del filtro para los ensayos de filtración en función del tiempo de bombeo y la presión de operación.

La superficie obtenida presenta una tendencia ascendente hacia los tiempos más elevados. La zona indicada en coloración roja representa la de mayor capacidad y se da en el entorno de los 45 segundos. Este sería el tiempo de bombeo del ensayo con mayor capacidad de filtración.

Por otro lado, se observa que al incrementar la presión de bombeo se produce el aumento de la capacidad de filtración. Sin embargo, el máximo valor de la variable de salida se da a una presión inferior a la máxima ensayada.

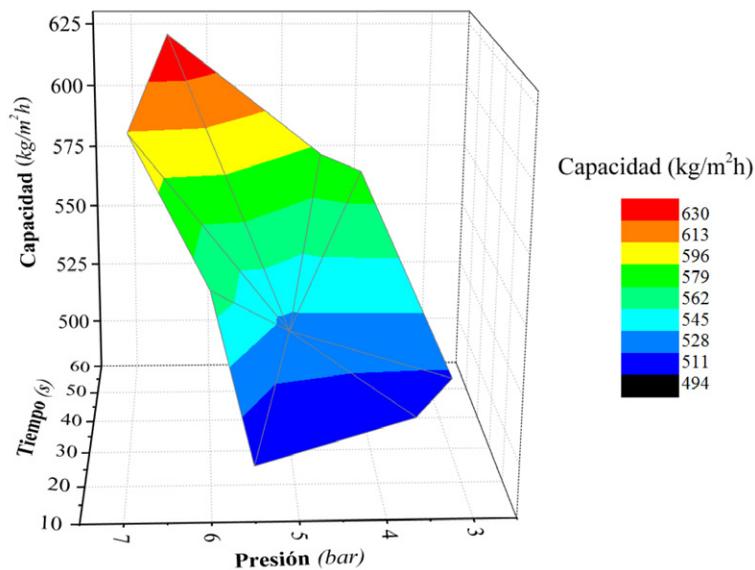


Figura 7. Capacidad del filtro para los ensayos de filtración en función del tiempo de bombeo y la presión de operación.

La capacidad depende de los kilogramos de sólido seco que sean retenidos por hora y por metro cuadrado de la superficie filtrante, la cual aumenta con el tiempo de bombeo ya que ingresará una mayor cantidad de suspensión a la cámara filtrante. El tiempo considerado para calcular la capacidad es el correspondiente al ciclo total; este incluye todas las etapas del proceso más un cierto tiempo muerto. Cabe resaltar que la duración de la etapa de bombeo no modifica apreciablemente el tiempo total del ciclo, pero sí provoca una variación significativa de la cantidad de sólidos retenidos por el filtro. Sin embargo, el tiempo que puede prolongarse la etapa de bombeo se encuentra limitado por el tamaño de la cámara de filtración.

El aumento en la presión de bombeo permite el ingreso de una mayor proporción de sólidos, provocando el crecimiento de la torta incrementándose la resistencia al pasaje del flujo.

Asimismo, la fuerza impulsora se amplifica y permite que la filtración se dé con mayor rapidez. No obstante, cuando la cámara se encuentra completa con el material sólido, no será posible el ingreso de la suspensión, independientemente de la presión de bombeo.

En la Figura 8 se muestra la misma superficie de las Figuras 6 y 7 vista desde un plano superior. De esta manera, la superficie queda proyectada sobre el plano presión de operación – tiempo de bombeo. En la misma se ve que los valores mayores de capacidad de filtración se obtienen en el entorno de un tiempo de bombeo algo menor a los 50 segundos y una presión de operación un tanto mayor a los 6,5 bar.

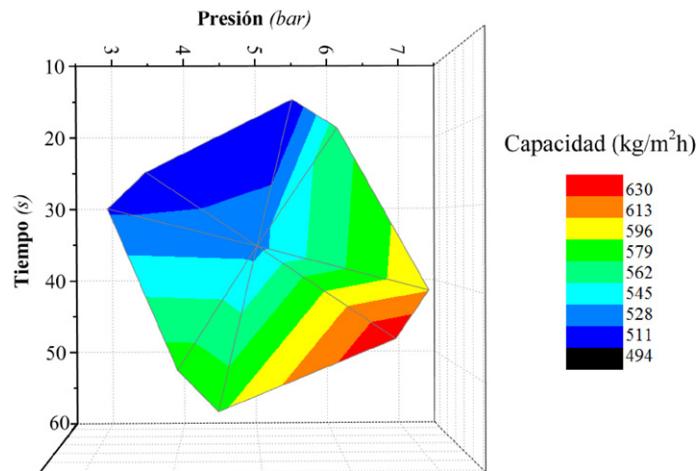


Figura 8. Proyección de la capacidad de filtración sobre el plano presión - tiempo.

De la misma forma, se analizó la cantidad de líquido remanente en la torta en el proceso de filtración. En la Figura 9 se representan los valores para la humedad de la torta obtenidos en los ensayos seleccionados en función del tiempo de bombeo y la presión de operación.

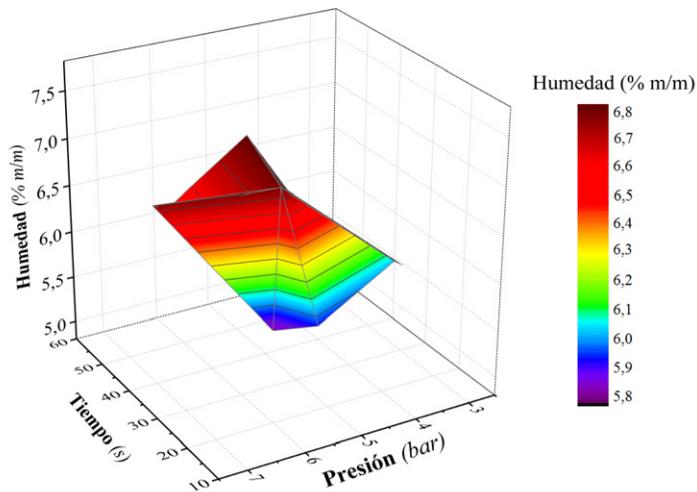


Figura 9. Humedad de la torta para los ensayos de filtración en función del tiempo de bombeo y la presión de operación.

Al observar la superficie obtenida para la humedad de la torta, no se visualiza una tendencia idéntica a la registrada para la capacidad de filtración. Para una observación más clara de los resultados, se muestra dicha superficie desde una vista superior proyectada sobre el plano presión - tiempo; esto se puede apreciar en la Figura 10. En la misma se puede divisar un patrón en forma de "V invertida" con cierta inclinación, correspondiente a la zona de mayor retención de líquido por parte de la torta. Es importante resaltar que a presiones cercanas a los 4,5 bar y a tiempos superiores a los 50 segundos se encuentran los mayores valores de humedad.

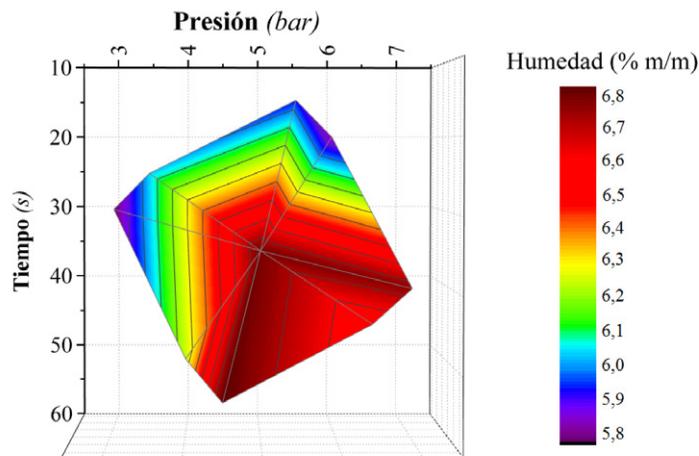


Figura 10. Proyección de la humedad de la torta sobre el plano presión-tiempo.

El rango de humedades considerado óptimo, para el producto mineralógico estudiado, se encuentra entre el 7 y el 10%. En función de los ensayos estudiados, se podría inferir que a presiones superiores a los 4,5 bar y tiempos por encima de los 40 segundos, los valores de humedad obtenidos se encuentran en una zona aceptable. Además se puede afirmar que la mayoría de la superficie registra valores de humedad superiores al 6%, lo que nos permitiría el transporte del material sólido en forma segura, por su proximidad a la región óptima.

A partir de la información producida, se llevaron a cabo cinco ensayos experimentales ($m=2$), donde se acotó la presión de operación máxima a un valor de 6,5 bar.

La selección de esta presión se hizo debido a que a partir de la misma, la capacidad comienza a disminuir, como se ve en la Figura 7.

En la Tabla 8 se presenta la primera matriz acotada de los ensayos elegidos, con una numeración arbitraria vinculada al diseño experimental propuesto.

Tabla 8. Matriz acotada de presión y tiempo de bombeo. Se muestran los puntos de prueba distribuidos en la matriz por un diseño OHLC.

	Presión [bar]				
Tiempo [s]	4,5	5	5,5	6	6,5
40		Ensayo 10			
45					Ensayo 8
50			Ensayo 11		
55	Ensayo 7				
60				Ensayo 12	

Como se puede observar, se llevaron a cabo tres nuevos ensayos de acuerdo al diseño OHLC (resaltados en la Tabla 8), con la finalidad de abarcar la mayor extensión posible de la matriz presentada. Los ensayos se encuentran distribuidos de forma que los tiempos de bombeo sean distintos y se opere a diferentes presiones, con el propósito que no haya ensayos con tiempos o presiones de bombeo iguales. El rango acotado de operación abarcó, también, las condiciones en las que se habían realizado los Ensayos 7 y 8.

Los valores obtenidos para la capacidad del filtro y la humedad de la torta en los ensayos seleccionados para la matriz acotada, se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9. Capacidad del filtro y humedad de la torta para los ensayos de la matriz acotada.

Ensayo	Tiempo [s]	Presión [bar]	Capacidad [kg/m ² h]	Humedad [% m/m]
7	55	4,5	575	6,8
8	45	6,5	629	6,5
10	40	5,0	538	6,8
11	50	5,5	578	6,6
12	60	6,0	616	7,0

Los valores de la humedad máxima y mínima difieren aproximadamente en un 7%; en todos los casos se obtienen registros aceptables para esta variable. Por otro lado, se aprecian dos ensayos con valores de la capacidad de filtración superior a los 600 kg/h m²; ambos se obtienen a las mayores presiones de operación: 6 y 6,5 bar, con una variación en la capacidad del filtro, entre los valores máximo y mínimo, del orden del 15%.

Los resultados indicarían que para las mayores presiones ensayadas, la capacidad del filtro es mayor como sería esperable. Además, los valores de líquido retenido por la torta para estos registros son adecuados. Por otra parte, no se observan cambios significativos en las variables de salida con respecto a los tiempos de bombeo estudiados.

En la dirección de optimizar las variables de entrada, se estudia la zona de máxima capacidad de filtración. A partir de lo analizado, queda definida en la Tabla 10 la matriz de ensayos optimizada donde se establecen los tiempos y presiones de operación.

Tabla 10. Matriz optimizada. Se muestran los ensayos enumerados en forma arbitraria.

Tiempo [s]	Presión [bar]	
	6	6,5
40	Ensayo 14	Ensayo 13
45	Ensayo 15	Ensayo 8
50	Ensayo 17	Ensayo 16
55	Ensayo 19	Ensayo 18
60	Ensayo 12	Ensayo 20

En este caso, se llevaron a cabo todos los ensayos resaltados en la tabla anterior que completan la matriz en su totalidad.

Los resultados obtenidos para la capacidad del filtro y la humedad de la torta para los nuevos ensayos y los realizados con anterioridad (8 y 12) se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11. Capacidad del filtro y humedad de la torta para los ensayos de la matriz optimizada.

Ensayo	Tiempo [s]	Presión [bar]	Capacidad [kg/m ² h]	Humedad [% m/m]
14	40	6	551,42	6,8
15	45		555,02	6,8
17	50		558,22	7,0
19	55		616,17	6,7
12	60		616,07	7,0
13	40	6,5	551,09	6,9
8	45		629,07	6,5
16	50		591,80	7,2
18	55		578,71	6,7
20	60		631,76	6,6

Cuando se analizan los valores a una presión de 6 bar se observa que con el aumento del tiempo del bombeo se incrementa la capacidad del filtro alcanzando un valor máximo de 616 kg/m²h. Cuando se incrementa la presión a 6,5 bar se observa la misma tendencia pero afectada, probablemente, por el error empírico asociado al proceso no automatizado. Sin embargo, se observa un incremento en la capacidad del filtro con el aumento de la presión alcanzándose un valor en el orden de los 630 kg/m²h.

En líneas generales, para el rango de presiones y tiempos estudiados, la capacidad de filtración se encuentra entre los 550 y los 630 kg/m²h aproximadamente, con un valor medio de 588 kg/m²h y un desvío de 33 kg/m²h. La variabilidad de este parámetro se encuentra en el entorno del 6 % para todos los ensayos realizados.

Por otro lado, el contenido de líquido retenido se encuentra muy próximo al 7%, siendo este valor admisible para este tipo de muestras mineralógicas.

CONCLUSIONES

La muestra utilizada en este estudio, se corresponde con las generalidades esperadas para un concentrado de cobre obtenido por proceso de flotación espumante.

A partir de los ensayos realizados en diferentes condiciones de bombeo, se pudo observar que la presión y el tiempo en los que se realiza esta etapa poseen una influencia marcada en la capacidad de filtración. A medida que se incrementan ambas variables de entrada, la filtración es más rápida, aumentando la cantidad de sólidos retenidos en la cámara. Como consecuencia de esto, la capacidad del proceso se incrementa.

Sin embargo, el máximo valor de la capacidad de filtración se da a una presión inferior a la máxima posible de operación y a un tiempo intermedio. Esto se debe a que la capacidad de filtración llegaría a un máximo, a causa del aumento de la resistencia al flujo ofrecida por la torta en crecimiento y por el espacio limitado dentro de la cámara.

La humedad retenida por el sólido se vio afectada levemente, por las condiciones de operación durante la etapa de bombeo.

Para presiones de bombeo superiores a los 4,5 bar y tiempos de operación por encima de los 40 segundos, se optimizarían los valores de la humedad de la torta. En este sentido, el contenido de líquido retenido fue del orden del 7%, siendo este valor admisible para este tipo de muestras mineralógicas.

REFERENCIAS

Arnaudo, F., Celeda, A. M., de Celis, J. & Correa, A. F. (2018). Determinación confiable de la humedad y la altura de tortas de filtración mediante mediciones según un diseño NOHLC, Congreso Latinoamericano de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, San Rafael, Mendoza, Argentina, p. 194.

Ballester, A.; Verdeja, L.F.; Sancho, J.: (2000). Metalurgia extractiva: Volumen I y II, Editorial Síntesis, S. A. (Madrid, 2000). Vol. I de 507 pags. y Vol. II de 428 pags. ISBN: 84-7738-804-0.

Beregovski, V. y Kistiakovski, B. (1972). La metalurgia del cobre y del níquel. Editorial MIR.

Concha, F. (2001). Manual de filtración & separación. Universidad de Concepción, Departamento de Ingeniería Metalúrgica.

Townsend, I. (2003). Automatic pressure filtration in mining and metallurgy. Minerals engineering, 16(2), 165-173.

ANÁLISIS DE AGLOMERACIONES INDUSTRIALES. CASO DE LOS PARQUES INDUSTRIALES DE LA COSTA DEL RÍO URUGUAY, PROVINCIA DE ENTRE RÍOS

Recibido: 31 de Mayo, 2021 • Aceptado: 15 de Julio, 2021

Autores:

Rafael Blanc*

Daniel Hegglin

Leandro Lepratte

Leonardo Ruhl

Damian Ratto

Grupo de Investigación en Desarrollo, Innovación y Competitividad (GIDIC) Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Concepción del Uruguay, Ingeniero Pereira 676, CP: 3260, Concepción del Uruguay, Entre Ríos, Argentina.

Contacto:

*Autor a quien la correspondencia debe ser dirigida: rafaellujanblanc@yahoo.com.ar

Roles autorales:

Administración del Proyecto: Daniel Hegglin

Investigación: Leonardo Ruhl, Damian Ratto.

Conceptualización: Rafael Blanc

Curaduría de Datos: Leandro Lepratte

Análisis formal: Rafael Blanc

Redacción – Borrador original: Leandro Lepratte; Rafael Blanc

Escritura – Revisión y Edición: Leandro Lepratte; Rafael Blanc

Cómo citar este artículo:

Blanc, R., Hegglin, D.; Lepratte, L. ; Ruhl, L. y Ratto, D. Análisis de aglomeraciones industriales. Caso de los parques industriales de la costa del río uruguay, provincia de entre ríos. Revista *Rumbos Tecnológicos*, Volumen 13, 2021, pp. 117-133. Secretaria de Ciencia, Tecnología y Posgrado, Facultad Regional Avellaneda, Universidad Tecnológica Nacional. <http://rumbostecnologicos.utnfrainvestigacionyposgrado.com/tipo-de-articulo/reportes/analisis-de-aglomeraciones-industriales-caso-de-los-parques-industriales-de-la-costa-del-rio-uruguay-provincia-de-entre-rios>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue analizar aglomeraciones industriales en la provincia de Entre Ríos (Argentina) en el período 2018 - 2020, y los factores que consideran las firmas al localizarse en una aglomeración, sumado a la utilización de incentivos fiscales, las necesidades de servicios y la interacción interfirmas e institucionales en el territorio. El estudio se desarrolló en los parques industriales de Concordia, Concepción del Uruguay y Gualaguaychú. Del análisis de los casos se concluye que los factores más relevantes de atractividad de los territorios analizados son de tipo geográfico: ubicación y cercanía a clientes y/o proveedores; y de tipo fiscal: incentivos municipales y provinciales. Se determina la necesidad de mejorar el sistema de incentivos y los servicios ofrecidos a las firmas en los aglomerados, como así también la cooperación tecnológica, a fin de lograr nuevas radicaciones y diversificar los rubros industriales de la provincia de Entre Ríos.

Palabras Claves: Parque industrial, Localización, Incentivos, Aglomeraciones, Atractividad

ABSTRACT

The aims of this study were to analyze industrial agglomerations in Entre Ríos (an Argentinian province) in the 2018-2020 period, and the factors considered by the firms when locating in an industrial agglomeration, such as the use of tax incentives, the needs of services and the inter-firm and institutional interaction in the territory. The study was developed in the industrial parks of Concordia, Concepción del Uruguay and Gualaguaychú. From the analysis of the cases, it is concluded that the most relevant factors of territory attractiveness are of a geographical nature such as: location and proximity to customers and / or providers; and of fiscal type: municipal and provincial incentives. The study determined the need to improve the incentive system and the services offered to firms in the agglomerates, and also the technological cooperation, in order to achieve new settlements and diversify the industrial sectors of Entre Ríos.

Key-words: Industrial Promotion, Industrial Parks, Development, Attractiveness, Location.

INTRODUCCIÓN

La identificación y análisis de las aglomeraciones de firmas, ha sido objeto de estudios desde la década de 1970 en Argentina. Al entender que estas formas de localizar y organizar la producción constituyen una ventaja competitiva para empresas y regiones se constituyeron en un factor determinante en las decisiones de políticas industriales y de desarrollo económico en los territorios (Marshall, 1920; Krugman, 1995; Fujita, Krugman & Venables, 2000). En casos como el de Italia, la investigación sobre aglomeraciones industriales ha alcanzado un elevado desarrollo del cual surge el concepto del distrito industrial (Bianchi, 1988; Quintar y Gatto, 1990, Carminati, 2006; ISTAT, 2006). Los estudios se centraron en las relaciones de cooperación y competencia que se establecen dentro de estas concentraciones de firmas y de los recursos compartidos a los que las mismas tenían acceso por el hecho de pertenecer a una aglomeración (Becattini, 2005). Tanto el abordaje marshalliano como el de los distritos industriales, plantean la importancia de las concentraciones geográficas como regiones particulares en lo socioeconómico con capacidades endógenas para lograr ventajas competitivas y fomentar el desarrollo local. Lo anterior, logra un efecto atracción tanto para inversiones como para nuevos incumbentes en forma de empresas o instituciones que se benefician de los efectos positivos de la aglomeración en el territorio.

En el caso argentino uno de los fenómenos de aglomeración de firmas industriales surge a través de las áreas llamadas parques industriales, que son el resultado de acciones coordinadas por el sector público y/o privado que se caracterizan por ofrecer infraestructura, equipamiento y servicios comunes necesarios para la radicación de empresas. Estos tienen como fin volver atractivos los territorios para la radicación de empresas localizadas en otras zonas del país o del exterior, tanto por los beneficios brindados por los servicios del parque como por los incentivos fiscales para hacerlo. Entre Ríos tiene una política de desarrollo de parques y en un sentido más amplio de promoción industrial que busca la realización de aglomeraciones industriales mediante el ordenamiento territorial (parques y áreas industriales) y los incentivos fiscales (Ley 10.204) a fin de fomentar el desarrollo económico de su territorio. Diversos estudios han abordado la temática de parques industriales en Argentina (Borello, 1989 y 1998; Borello, Fritzsche y Fernández; 2000), sin embargo en el caso de Entre Ríos, si bien se han estudiado aspectos relacionados con diferentes parques de la provincia en los mismos se trabaja en forma individual y se han enfocado en el desarrollo hacia cuestiones como el ordenamiento territorial, análisis del cumplimiento de la ley de fomento industrial, y el análisis de cómo la demanda condiciona la variedad de industrias (Barzelogna, 1982; Bollati 2008; Morra, 2018). Por tanto, no se ha profundizado sobre los factores de atracción de las aglomeraciones, y son escasos los análisis sobre estos desde la perspectiva de las firmas.

En este trabajo se aborda esta cuestión. Para esto se orienta a responder a una serie de preguntas sobre las aglomeraciones industriales de la provincia de Entre Ríos: ¿qué factores fueron relevantes para la decisión de las firmas de localizarse dentro de una aglomeración?, ¿qué nivel de disponibilidad y uso de incentivos fiscales se da dentro de la aglomeración?, ¿qué necesidades se encuentran insatisfechas dentro de este territorio en forma de servicios?, y si ¿se da una interacción de las firmas con otras pertenecientes al territorio y con organismos de apoyo?. Para ello se efectuó el análisis desde la perspectiva de las firmas de tres parques industriales de la provincia de Entre Ríos: Concordia, Concepción del Uruguay y Gualaguaychú.

El trabajo se estructura, luego de la introducción, de la siguiente forma: el marco de referencia,

que explicita cuestiones sobre aglomeraciones productivas, las principales variables a analizar y el papel de los parques industriales. Luego el apartado metodológico con la descripción del enfoque utilizado en el estudio. En la sección de resultados se consideran las variables relacionadas con la atractividad de los parques industriales desde la perspectiva de las firmas. Se plantea en la sección de discusión los principales problemas que tienen los parques industriales para impulsar la atractividad hacia ellos y finalmente, en las conclusiones, se enuncian posibles mejoras y soluciones para optimizar la calidad de la atractividad hacia los mismos.

MARCO DE REFERENCIA

Los estudios sobre economías de aglomeración e industrial clustering (Krugman, 1995; Duranton, 2015; Scott, 2006; Rosenthal y Strange, 2003) han sido objeto de diversas disciplinas científicas y tecnológicas (ingenierías, economía, sociología, geografía económica), enfoques teóricos e instrumentos de políticas orientados a mejorar la competitividad territorial (Porter, 1996). Así han surgido diferentes tipos de abordajes, tales como: los distritos industriales (Bianchi, 1988; Quintar y Gatto, 1990), innovativemilieux (Camagni, 1995), clusters (Porter, 1996; Bathelt, 2008), sistemas productivos locales (Vázquez Barquero, 1996), capital social (Boisier, 2000), densidad institucional (Amin, 1996), comercio interdependiente (Storper, 1994); competitividad sistémica (Esser et al, 1996); entre otros. Cada una de estas tipologías han puesto el acento en diferentes factores causales de estas aglomeraciones, como así también el impacto que tienen a nivel de la competitividad y desarrollo económico regional y su conexión con la economía globalizada (Scott, 2006; Puga, 2010).

Dentro de los factores que explican la existencia de las aglomeraciones productivas se pueden identificar dos grandes grupos de fenómenos. Estos se relacionan, por un lado, con la disponibilidad de acceso y/o tamaño de los mercados a los que se vinculan las firmas de un territorio (en adelante FactProd), y por otro, con los componentes de carácter relacional e institucional territorial (en adelante FactTechKnow) (Duranton y Puga, 2004).

En el primer grupo de factores FactProd se consideran: los niveles de atractividad, proximidad-efectos clustering en las industrias y grado de simbiosis industrial. Se utiliza una distinción clásica de la literatura sobre aglomeraciones industriales y territorio de Poma (2000), donde los FactProd formarían parte de los fenómenos de “producción” en el desarrollo productivo territorial. Mientras que los vinculados con sistemas locales y regionales de innovación, modos de aprendizaje y capital humano, corresponden a los fenómenos de “producción” o gestión tecnológica y del conocimiento, considerados aquí como FactTechKnow (Poma, 2000; Boscherini y Poma, 2000).

Los fenómenos relacionados con “producción” que se centran en los factores de atractividad analizan a las aglomeraciones en términos de espacios infraestructurales que poseen diferentes recursos accesibles para el desarrollo productivo, tales como: telecomunicaciones, telefonía, internet, energía (precio, disponibilidad en potencia requerida y nivel de servicio brindado), accesos al mercado doméstico y proveedores de calidad y cobertura del sistema de caminos, disponibilidad de puntos de envío internacional como son los puertos de aguas profundas y aeropuertos internacionales. A estos aspectos hay que considerar también el marco institucional para la producción como son los servicios financieros y con diversos actores (banca pública y privada), las regulaciones, el acceso al crédito, tasas competitivas a nivel internacional. Por otra parte, el sistema fiscal

de la región puede ser o no beneficioso a las firmas y se valoran en especial los instrumentos públicos de impuestos para radicaciones e inversiones (Doh, Teegen y Mudambi, 2004; Mia, Estrada y Geiger, 2007).

El análisis de la atractividad se focaliza en considerar el balance competitivo de infraestructura y servicios anexos a fin de poder determinar las ventajas comparativas que le permitan competir a un territorio con otras regiones en función de la radicación de firmas en el mismo, para los cuales se aplican diferentes instrumentos de políticas productivas, de infraestructura y sectoriales para promoverlos.

Mediante políticas de promoción de la radicación de pequeñas y medianas empresas, el subsidio parcial de recursos humanos especializados, mediante fondos para financiar la I+D dentro de las empresas radicadas en los parques, acceso a crédito fiscal a tasas accesibles, la creación y mantenimiento de incubadoras con el objetivo de crear empresas complementarias a las radicadas (Boekholt y Thuriaux, 1999; Isaksen y Hauge, 2002, Andersson et al., 2004; Proprius y Driffield, 2006; Aharonsona, 2008; Fontagnéy, Koenigz y Maynerisx, 2011). Estas políticas, han variado durante el tiempo logrando en mayor o menor medida elevar o disminuir la atractividad de los parques, durante ciertos períodos de tiempo frente a otras localizaciones. De lo anterior, se desprende la necesidad de observar la estructura de incentivos a fin de comprender la atractividad actual de los parques industriales de la provincia.

A los fenómenos de “producción” se le han ido incorporando progresivamente el estudio de otros factores relacionados con aglomeraciones que se centran en los fenómenos de proximidad y transacciones. Así como las aglomeraciones favorecen la creación de infraestructuras comunes (carreteras, puertos, centrales de energía, tratamiento de efluentes, etc.) que tiene efectos positivos en la reducción de costos y el desarrollo tanto de las firmas como del espacio que las contiene, también favorecen interacciones, transacciones y modos de cooperación entre estas. Las firmas en las aglomeraciones establecen transacciones intensivas tanto en un sentido estático (las transacciones son numerosas y finamente granuladas) como dinámicos (las transacciones están sujetas a un flujo constante debido a los rápidos cambios en los arreglos de producción y las inestabilidades del mercado).

El segundo grupo FactTechKnow se consideran entre otras a las capacidades de absorción y las formas de cooperación entre firmas y entre estas e instituciones (en especial de ciencia y tecnología y universidades). La vecindad entre empresas posibilita modalidades de cooperación e interacción intensivas, en parte porque reduce los costos de transacción y en parte debido a una serie de otros factores que intensifican mecanismos positivos de imitación, externalizaciones, diversificación y clusterización (Bertini, 2000). Los beneficios de estas clases se identifican más generalmente como economías de aglomeración a escala regional o también denominadas economías de localización (Beardsell y Henderson 1999). La proximidad mutua de las empresas en redes compuestas por transacciones es un factor importante para disminuir tanto costos como riesgos en los intercambios entre las empresas (Scott, 1988, Krugman 1991; Porter 2001). La cercanía propicia la aparición de fenómenos de transacciones y vinculaciones entre las empresas que favorecen la creación e intercambio de información y conocimientos, tácitos y codificados, logrando en muchos casos cooperaciones que propician procesos de aprendizaje y generación de capacidades tecnológicas y de absorción (Cohen y Levinthal, 1990; Zahra y George, 2002; Rothaermel y Alexandre, 2008; Grimpe y Sofka, 2009). De ahí que se introduce en los estudios de aglomeraciones productivas los factores de gestión tecnológica y del conocimiento (Gilbert y

Cordey-Hayes, 1996; Rothaermel y Hess, 2007; Grimpe y Sofka, 2009). Los fenómenos relacionados con gestión tecnológica y del conocimiento se inscriben en la tradición de los estudios sobre sistemas locales y regionales de innovación que ponen el acento en los procesos de aprendizajes y construcción de capacidades tecnológicas de las firmas, networks de conocimientos entre firmas y de éstas con los marcos institucionales territoriales, en especial de Ciencia y Tecnología (en adelante CyT) y universitarios (Boschma y Frenken, 2003; Boschma, 2005).

A continuación, se hará una breve descripción del estado de estos fenómenos en el caso argentino.

Los Parques Industriales y su situación en Argentina

En Argentina es importante establecer que en 1973 fueron creados los primeros parques industriales en la provincia de Buenos Aires: Chivilcoy, Bahía Blanca y Olavarría y se han constituido en los instrumentos para la promoción de la radicación, ordenamiento urbano y aglomeración de industrias típicas en el territorio (Borello, 1989 y 1998; Borello, Fritzsche y Fernández; 2000).

Los parques industriales son así la modalidad tradicional de aglomeraciones productivas, siendo en 2021, según el Registro Nacional de Parques Industriales, 190 activos con una distribución centrada sobre todo en la provincia de Buenos Aires con el 34% de los mismos, seguida por la provincia de Santa Fe con el 13% y Entre Ríos con el 9%. De los cuales el 90% son de administración pública, el 8% privada, y solo el 2% mixta (RENPI 2019). De acuerdo a los datos del Observatorio Nacional de Parques Industriales (ONPI), en 2016 los parques industriales en Argentina generaban 122.379 empleos directos, que dependen de 6219 empresas, pertenecientes a 238 municipios de 22 provincias.

La referencia normativa vigente sobre estas aglomeraciones la establece el Programa Nacional para el Desarrollo de Parques Industriales Públicos en el Bicentenario creado en julio de 2010 y actualizado en 2020 como “Programa Nacional para el Desarrollo de Parques Industriales”. Los parques, conforme al programa, tienen los siguientes objetivos: 1) ordenamiento territorial, 2) planificación productiva local, 3) desarrollo sustentable e inclusivo, 4) generación de empleo local, 5) potenciar las sinergias derivadas de la localización común.

La actualización del Programa en 2020 plantea nuevos alcances tales como: 1) proyectos de desarrollo de parques industriales con una visión integral del territorio local y regional, 2) fomento de los parques industriales tecnológicos o del conocimiento 3) prioridad en parques sustentables o parques verdes y 4) la incorporación de políticas de género e inclusión.

Más recientemente en algunas provincias se han comenzado a desarrollar experiencias de parques científicos y tecnológicos, polos tecnológicos, entre otras innovaciones institucionales relacionadas con sectores productivos más intensivos en conocimientos que pretenden potenciar las sinergias con instituciones universitarias y de ciencia y tecnología de los territorios. Hacia fines de 2020 se encontraban vigentes el Parque de Innovación de la Ciudad de Buenos Aires, el Polo Tecnológico Rosario, el Mendoza TIC Parque Tecnológico y el Parque Tecnológico Mendoza, la Fundación Parque Tecnológico Misiones, el Parque Empresarial Austral – Científico Tecnológico, el Parque Tecnológico del Litoral Centro, el Parque Tecnológico de Puerto Madryn, el Parque Tecnológico UNNE - Provincia de Corrientes, el Polo Tecnológico Bahía Blanca y el Polo Tecnológico Esperanza entre otros.

En el presente estudio nos centramos en los parques industriales, los mismos son terrenos urbanizados y subdivididos en parcelas, que cuentan con una infraestructura común a las firmas

radicadas en el mismo: caminos, cerco perimetral, alumbrado, instalaciones anti-incendio, estaciones transformadoras de energía, seguridad, servicios de ablandamiento y provisión de agua entre otros. Los servicios comunes pueden estar relacionados con la mejora de la productividad de las empresas ocupantes, con el suministro de servicios técnicos y/o con el mejoramiento de la infraestructura (Peddle, 1990). Esto, conforme a un plan general establecido por el municipio de la ciudad a la que pertenezca o en acuerdo con un ente privado, o en sistemas de dominio mixto público-privado. Pueden contar con patrocinadores: estatal (generalmente municipios), privado (consorcio de empresas o desarrollo de tipo inmobiliario) y privado con asistencia crediticia estatal. Además, se denomina parque industrial mixto, donde intervienen organismos públicos (Estado nacional, provincial o municipal) y privados (empresas o cámaras/asociaciones de empresas) (Farberoff, 1998).

La creación de parques industriales en general responde a dos objetivos principales. Primero, la formación de un medio de desarrollo económico; o más específicamente, de mejora o aumento del nivel de actividad industrial y empleo. Segundo, como elemento de ordenamiento y planificación del desarrollo regional y urbano.

La provincia de Entre Ríos cuenta con la ley N°:10.204 de promoción industrial y el decreto reglamentario N°: 3044 que tiene por objetivos favorecer el desarrollo integral y armónico de la economía provincial; promover la transformación del perfil productivo de la provincia (que tiene una fuerte impronta del sector primario), mediante la promoción de la creación de valor agregado y empleo de base industrial.

A su vez considera, la formación de entramados productivos locales fortaleciendo la acumulación de capital y desarrollo empresarial con especial énfasis en las pequeñas y medianas empresas y generar capacidades y competencias tecnológicas locales que vinculen el complejo científico-técnico con el sistema productivo. Esto se impulsa bajo un sistema de beneficios: impositivos, laborales, energéticos, preferencia en compras del Estado y municipales. Actualmente la provincia cuenta con 16 parques industriales de los cuales el 94% son públicos y el 6% privados y un área industrial de carácter público de acuerdo al listado de parques industriales inscriptos en el RENPI 2019.

METODOLOGÍA

Este artículo proviene de un estudio orientado a analizar en firmas industriales de Entre Ríos (Argentina) su conducta en cuanto a decisiones de radicación y la relación con las instituciones locales y de la región. Para esto se relevaron industrias ubicadas en los parques industriales de tres ciudades de la costa del Río Uruguay en la provincia de Entre Ríos. Se consideraron las de los parques industriales dado que son las firmas más relevantes en cuanto a su tamaño. El relevamiento, en base a encuestas, se aplicó entre mayo de 2019 y diciembre de febrero de 2020, relevó 44 firmas sobre un total de 88 ubicadas en los parques industriales de Concepción del Uruguay, Gualeguaychú y Concordia. De estas 44 firmas, el 34,4% son micro, el 31,8% pequeñas y el 34,1% medianas.

Los rubros de mayor importancia en la muestra fueron: elaboración de productos alimenticios (13,64%); producción de madera y fabricación de productos de madera y corcho, excepto muebles; fabricación de artículos de paja y de materiales trenzables (13,64%); fabricación de vehículos automotores, remolques y semirremolques (11,36%); fabricación de productos minerales no

metálicos (9,09%); fabricación de productos elaborados de metal, excepto maquinaria y equipo (9,09%); fabricación de maquinaria y equipo n.c.p. (9,09%); fabricación de sustancias y productos químicos (6,82%) y fabricación de productos de caucho y plástico (6,82%) fabricación de productos elaborados de metal, excepto maquinaria y equipo 9,1% y fabricación de maquinaria y equipo n.c.p. (no clasificadas previamente) 9,1%. El 20,45% de los casos se distribuye entre siete rubros de baja representación. Por su parte, el 44% de las firmas realizaron exportaciones (2016-2019). En base a la muestra se aplicó estadística descriptiva a fin de analizar el comportamiento de las firmas en las variables relacionadas con las preguntas de investigación.

RESULTADOS

Variables de carácter territorial (FactProd)

A fin de introducir las distintas realidades de los parques que se encuentran en la muestra (ver Tabla 1), se exhiben una serie de características de las ciudades asociadas a los mismos.

Tabla 1. Datos generales de los parques industriales incluidos en la muestra y de sus ciudades asociadas.

Fuente: elaboración propia en base a datos secundarios del Ministerio de producción de la República Argentina, Ministerio de producción de Entre Ríos y páginas web de los parques.

Ciudad	Concordia	Concepción del Uruguay	Galeguaychú
Habitantes	174.000	96.930	114.633
Escuelas técnicas	Si	Si	Si
INTI	No	Si	No
INTA	Si	Si	Si
Universidades	Si	Si	Si
Año de fundación del parque	1980	1974	1974
Parque Superficie total hectáreas	100	83	211
Parque cantidad de lotes	41	102	109
Distancia a CABA, Buenos aires	429	331	232
Distancia a Rosario, Santa Fe	361	276	262
Distancia a Córdoba, Córdoba	651	668	654
Promedio de distancias	480,33	425	382,67
Autopista/ Autovía	Si	Si	Si

De las empresas entrevistadas el 70,5% conoce las ventajas del régimen de promoción industrial de la provincia, y el 77,3% se encuentra en el registro industrial de Entre Ríos que es condición necesaria para acceder al régimen de promoción industrial (ver Tabla 2).

Tabla 2. Conocimiento de y aplicación a la ley promoción industrial de la provincia de Entre Ríos.

Fuente: elaboración propia en base al relevamiento en las firmas del parque industrial.

¿Su empresa se encuentra inscrita en el Registro Industrial de la Provincia?	Frecuencia
Si	77,3%
¿Conoce los beneficios de la Ley Provincial de Promoción Industrial?	Frecuencia
Si	70,5%

De las empresas que son beneficiarias del régimen de promoción industrial la mayor cantidad obtienen exención de ingresos brutos a ventas mayoristas alcanzando el 43,2%, seguido de los descuentos en el consumo de energía eléctrica el cual alcanza el 27,3%, en tercer lugar, se coloca la exención de los impuestos inmobiliarios el 18,2% a la cual sigue la exención de impuestos de sellos a la inversión en el 13,6% (ver Tabla 3). En menor medida, se dan los beneficios de: la preferencia en licitación del estado, reintegro en inversiones en infraestructura en energía, la extensión de la ley 4035 y el descuento del impuesto automotor.

Tabla 3. Beneficios utilizados del régimen provincial de promoción industrial.
Fuente: elaboración propia en base al relevamiento en las firmas del parque industrial.

Beneficios régimen provincial de promoción industrial	Frecuencia
Exención Ingresos Brutos a ventas mayoristas.	43,2%
Descuentos en las prestaciones de servicios de energía eléctrica.	27,3%
Exención Impuesto Inmobiliario respecto al lugar de radicación de la planta fabril	18,2%
Exención Impuesto a Sellos sobre las tareas vinculadas a la inversión.	13,6%
Preferencia en licitaciones y compras del Estado Provincial (Ley 9353)	11,4%
Reintegros en obras de infraestructura vinculadas a servicio eléctrico y de gas para plantas a radicarse en parques y áreas industriales.	9,1%
Exención Aporte patronal de la ley 4035 para nuevos puestos de trabajo.	9,1%
Exención Impuesto Automotor sobre unidades afectadas a la operatoria fabril.	9,1%

Existe un conjunto de las firmas que, si bien no se encuentran actualmente en el régimen de promoción industrial, si fueron beneficiarias del mismo en el pasado y por diferentes variables como el plazo o los requisitos para mantener el beneficio quedarán fuera del mismo. Las mismas afirman haber obtenido exención en los ingresos brutos el 6,8%, exención del impuesto inmobiliario el 4,5%, exención del impuesto automotor sobre los vehículos de la planta fabril el 2,3% y finalmente el 2,3% exención del impuesto de sellos para inversiones (ver Tabla 4).

Tabla 4. Beneficios que utilizó en el pasado del régimen provincial de promoción industrial.
Fuente: elaboración propia en base al relevamiento en las firmas del parque industrial.

Que utilizo del régimen provincial de promoción industrial	Frecuencia
Exención Ingresos Brutos a ventas mayoristas.	6,8%
Exención Impuesto Inmobiliario respecto al lugar de radicación de la planta fabril	4,5%
Exención Impuesto Automotor sobre unidades afectadas a la operatoria fabril.	2,3%
Exención Impuesto a Sellos sobre las tareas vinculadas a la inversión.	2,3%

Sin duda uno de los temas de mayor relevancia en la política de aglomeración industrial, que por lo tanto impacta en los parques industriales, son los motivos por los cuales las firmas se radican en determinadas áreas (ver Tabla 5). De la consulta a la muestra surge: como primer motivo el acceso a las vías de comunicación, con el 36,4%, en este caso terrestre, se debe aclarar que los tres parques relevados se encuentran a escasa distancia a la Ruta Nacional 14, denominada José Gervasio Artigas que es una autopista que nace en Ceibas y termina en Bernardo de Irigoyen siendo una de las principales arterias del comercio entre Argentina, Brasil y Uruguay.

En segundo lugar, se encuentra la distancia a los clientes con el 22,7%, seguidos por los ante-

riormente mencionados beneficios del régimen de promoción de la provincia que si bien la radicación en un parque no es necesaria si suele ser positiva al momento de la aplicación, esta razón alcanza el 22,7% seguido al mismo nivel de los beneficios inmobiliarios ofrecidos por el municipio que sobre todo son el valor económico del m² y la exención de tasas municipales (15,6%) por cierto período de tiempo.

Otros motivos de importancia para la radicación son cuestiones de ordenamiento territorial (empresas que quedan dentro de áreas residenciales) y crecimiento de plantas que hace necesario más espacio para su ampliación no disponible en espacios urbanos. Los parques en ocasiones cuentan con plantas en desuso por traslado o quiebra que ofrecen precios competitivos para la infraestructura asociada, este motivo fue el 15,9% de los casos. Al contrario de lo esperado, la presencia de recursos humanos (en adelante RR.HH.) capacitados y servicios relacionados en la ciudad cercana no fue un factor de importancia alcanzando solo el 4,5% de las empresas.

Tabla 5. Motivos que llevaron a la empresa a radicarse en el parque industrial.
Fuente: elaboración propia en base al relevamiento en las firmas del parque industrial.

Motivos de Radicación	Frecuencia
Vías de comunicación rutas, autopista.	36,4%
Distancia a clientes.	22,7%
Beneficios de la ley de promoción	22,7%
Beneficios inmobiliarios ofrecidos por el municipio.	22,7%
Crecimiento planta	18,2%
Distancia a proveedores.	15,9%
A pedido del Municipio por cuestiones de ordenamiento territorial	15,9%
Beneficios fiscales ofrecidos por el Municipio	15,9%
Planta disponible	15,9%
Puerto o cercanía a uno.	11,4%
Cercanía socio	9,1%
Origen de la familia fundadora (para el caso de empresas familiares)	6,8%
Ambiente	6,8%
Aeropuerto o cercanía a uno.	4,5%
Cantidad de habitantes de la ciudad cercana.	4,5%
Disponibilidad de RR.HH. ciudad cercana.	4,5%
Disponibilidad de profesionales especializados (consultoría)	4,5%
Legislación	4,5%
Disponibilidad de servicios para sus RR.HH. (vivienda, salud, comercio, etc.)	2,3%

Se preguntó a las firmas qué servicios necesita, y que no posee dentro del parque industrial donde se radica (2019-2020). Se debe tener en cuenta que los tres parques no poseen la misma cantidad de servicios por lo cual una carencia de uno puede no serlo en otro.

En el caso del parque de Concepción del Uruguay los principales problemas, enunciados por las empresas son: 1) calles de acceso e internas, 2) cerramiento perimetral 3) transporte urbano 4) seguridad privada 5) sistema contra incendio y 6) servicios médicos y asistenciales. En el parque de Gualeguaychú los principales problemas enunciados son: 1) servicio de internet (fibra óptica) y 2) estacionamiento p/camiones. mientras que en el de Concordia se plantean como problemas principales: 1) servicio de internet (fibra óptica) 2) servicios médicos y asistenciales 3) red de gas

4) transporte urbano y 5) telefonía.

Si consideramos los problemas en sentido general los principales puntos a solucionar fueron: 1) cerramiento Perimetral (exclusiva parque), 2) servicio de Internet fibra óptica, 3) transporte urbano 4) servicios médicos y asistenciales, 5) seguridad privada, 6) sistema contra incendio, 7) oficinas administrativas disponibilidad para su renta, 8) desagües sanitarios, 9) red de gas natural y 10) mantenimiento de áreas comunes.

Variables de carácter relacional e institucional territorial (FactTechKnow).

Se consultó a las firmas por la relación con los principales organismos regionales de ciencia y tecnología (CyT) representados por las Universidades, el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) (ver Tabla 6).

La relación con INTI es la que se da en mayor medida con el 52,3% de los casos, seguida por las universidades con el 29,5% y finalmente el INTA con el 15,9% de los casos. Se debe tener en cuenta que los principales objetos de estas relaciones son: a) pasantías, prácticas pre-profesionales, concursos para alumnos, responsabilidad social empresaria y, b) consultoría técnica, análisis de laboratorio y/o técnicos, informes técnicos, estudios de factibilidad.

Tabla 6. Relación de las firmas con los organismos de CyT.

Fuente: elaboración propia en base al relevamiento en las firmas del parque industrial.

Organismo de CyT	Frecuencia
Universidades	29,5%
INTI	52,3%
INTA	15,9%

Respecto a la vinculación con otras empresas cercanas del parque o alrededores, el 50% de firmas afirmó tenerla con diferentes objetivos. Entre los principales objetivos se encuentra el intercambio de información con el 31,8%, el desarrollo de productos con el 22,7%, el desarrollo de proveedores y compras conjuntas con el 18,2%, el tratamiento de efluentes o residuos con el 13,6%, ventas conjuntas con el 9,0% y finalmente la creación de nuevas unidades de negocios con el 4,5% de los casos (ver Tabla 7).

Tabla 7. Motivos de vinculaciones con otras empresas cercanas.

Fuente: elaboración propia en base al relevamiento en las firmas del parque industrial.

Motivos vinculación	Frecuencia
Intercambio de información.	31,8%
Desarrollo de productos.	22,7%
Desarrollo proveedores	18,2%
Compras conjuntas.	18,2%
Tratamiento de residuos y/o efluentes.	13,6%
Ventas conjuntas	9,0%
Nuevas unidades de negocio.	4,5%

DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados de las variables analizadas se observa que el fenómeno de producción de los territorios abordado por Boscherini y Poma (2000) que apunta a entender las necesidades del mercado global y aprovecharlas a través de la incorporación y gestión del conocimiento asociado a lo externo como organismos de CyT, tecnologías de información, recursos humanos calificados y patentes entre otros no es particularmente virtuoso en el caso de los parques industriales de la costa del río Uruguay en Entre Ríos.

Esto se verifica también en el desempeño de los motivos de radicación, donde la importancia de los recursos humanos y servicios calificados no resultan relevantes. Y a su vez, si bien los vínculos con los organismos de CyT existen, y es pertinente en casos como el INTI, los objetivos de los mismos no superan los servicios básicos de estas instituciones. Son casi inexistentes las alianzas para el desarrollo de productos, procesos, servicios o mercados que involucran un elevado nivel de conocimiento a fin de obtener ventajas competitivas frente a competidores regionales o globales.

El modelo de atractividad de los parques analizados está fuertemente sesgado a cuestiones geográficas, por un lado, como así también la calidad de las vías de comunicación y rutas, la distancia a cliente y proveedores, disponibilidad y valor de las naves y terrenos. Y por otro, al aprovechamiento de la política de incentivos fiscales tanto de la provincia como del municipio que alberga el parque. No teniendo mayor relevancia las características de la ciudad que acoge el parque, ni la calidad de los servicios asociados a la producción que están disponibles en los parques industriales. Esto puede deberse a múltiples motivos que exceden a este estudio de carácter descriptivo.

La cuestión de los servicios ofrecidos es de particular relevancia, dado que los parques industriales modernos aseguran la disponibilidad y calidad de los mismos, tanto como las ventajas de localización geográfica. Si consideramos a estos como factores de atractividad, en el caso analizado hay grandes falencias en servicios considerados básicos en la producción como Internet de fibra óptica, transporte urbano, seguridad, sistema contra incendio, disponibilidad de oficinas para renta entre otros. Lo cual es un aspecto negativo al momento de intentar conseguir nuevas radicaciones y demuestra una falla en la articulación pública (municipios, provincia) y privada (empresas proveedoras y empresas de los parques) que perjudica a las empresas radicadas e interesadas.

En forma complementaria surgen tres cuestiones a corregir para lograr mejor desempeño de estas aglomeraciones industriales con el fin de impulsar el desarrollo económico regional:

- 1) Promover y actualizar la ley de promoción industrial y los esquemas de beneficios municipales dado que son el factor más relevante junto con el geográfico de radicación de firmas.
- 2) Implementar y mejorar infraestructuras y servicios de apoyo a la industria que en la actualidad y en el futuro son y serán claves como comunicaciones, transportes, logística y seguridad.
- 3) Incentivar los vínculos para la creación y apropiación de conocimientos de las industrias en relación al tejido de instituciones de CyT y educativas, en redes locales - globales.

CONCLUSIONES

El estudio contribuye al conocimiento sobre el estado actual de las aglomeraciones industriales de la provincia de Entre Ríos mediante el análisis de tres parques industriales de la región de la costa del río Uruguay. De los resultados surge que la mayor parte de las empresas relevadas el 70,5% conoce las ventajas del régimen de promoción industrial de la provincia, y el 77,3% se

encuentra en el registro industrial de Entre Ríos que es condición necesaria para acceder al régimen de promoción industrial. De las empresas que son beneficiarias del régimen de promoción industrial obtienen sobre todo los beneficios de exención ingresos brutos a ventas mayoristas, descuentos en el consumo de energía eléctrica, y por último exención de los impuestos inmobiliarios.

Los motivos de radicación de las empresas en los parques industriales son el acceso a las vías de comunicación (terrestre). Seguido por distancia a los clientes, en tercer lugar, se encuentran los beneficios del régimen de promoción industrial de la provincia. Esto evidencia una propensión a identificar factores tradicionales de localización y no aquellos que tengan que ver con cuestiones de marco científico y tecnológico o de disponibilidad de recursos humanos con capacidades específicas.

En este sentido la relación con los principales organismos regionales de ciencia y tecnología, el INTI y las universidades son los más frecuentes. Ahora bien, se debe tener en cuenta que los principales objetos de estas relaciones son de escasa complejidad en términos de cooperación tecnológica. Respecto a la vinculación con otras empresas cercanas del parque o alrededores la mitad de las firmas afirmó tenerla con objetivos de orientados a producción y/o comercialización. Ambas modalidades de cooperación, interfirmas y con instituciones de CyT, evidencia una marcada tendencia a establecerse procesos de aprendizaje y generación de conocimientos del tipo DUI (doing, using, interacting) entre firmas y de éstas con instituciones de CyT y universitarias. Es de esperar entonces, escasa propensión al desarrollo de actividades de cooperación tecnológica como proyectos de I+D conjuntos, a lo que se suman otros factores relacionados con la conducta innovativa de las firmas e instituciones que exceden a este trabajo. En tal sentido, es importante considerar este panorama al momento de diseñar políticas e instrumentos para impulso a la innovación que deberían estar planteados en sintonía con los de promoción y desarrollo industrial, infraestructura y de servicios relacionados a la industria. Punto clave resulta aquí, cómo se interpreta y aplica la Ley de Economía del Conocimiento (Ley 27506) y sus instrumentos de impulso a procesos de cambio tecnológico orientados por la transformación digital, la servitización, la industria 4.0, entre otros en el contexto de los entramados industriales de la provincia. En especial, reconociendo el perfil de especialización productiva de la misma en sectores con escasa intensidad tecnológica como los que se evidencian en las firmas analizadas.

Un factor relevante en cuanto a las empresas radicadas en las aglomeraciones analizadas es la escasa diversidad de rubros de productos dado que la mayoría de las empresas se dedican a cuatro actividades: elaboración de productos alimenticios; producción de madera y fabricación de productos de madera y corcho, excepto muebles; fabricación de artículos de paja y de materiales trenzables y fabricación de vehículos automotores, remolques y semirremolques. La persistente promoción, con instrumentos sectoriales top-down, de las denominadas economías regionales y sus intentos por mejorar los procesos de industrialización, sin una evaluación en profundidad y con sentido prospectivo desde el punto de vista de las oportunidades de desarrollo en términos estratégicos, desatiende las potencialidades de nuevos sectores atractivos a nivel intensidad de conocimientos e ingresos de divisas como son el sector software en la provincia (Blanc et al., 2020). Es fundamental que las áreas gubernamentales, organizaciones empresariales y espacios público - privados contemplen las oportunidades de diversificación a luz de los nuevos desafíos internacionales planteados por los procesos de cambio tecnológico.

Esto lleva a reflexionar si es necesario la creación de parques industriales como método para atraer firmas a una ciudad a fin de mejorar las perspectivas de desarrollo de la misma, o es más

atractivo promover un régimen de incentivos de tipo fiscal y de infraestructura que integre tanto acciones a nivel provincial como municipal para lograrlo. Por otro lado, se plantea la necesidad de fomentar el logro de esquemas de inversión público - privado en infraestructura y servicios que propicien la radicación y expansión de firmas industriales, y de servicios de soporte.

Queda el interrogante para futuras investigaciones de cómo reforzar y desarrollar nuevos esquemas de incentivos a fin de promover el desarrollo industrial de la provincia logrando nuevas radicaciones de firmas industriales tanto de sectores tradicionales, como de sectores de elevada intensidad tecnológica que actualmente son escasos en la matriz industrial de Entre Ríos, fomentando así, un proceso de diversificación de los rubros contenidos por las aglomeraciones.

REFERENCIAS

Aharonson, B., Baumb, J., Plunket, A. (2008). Inventive and uninventive clusters: The case of Canadian biotechnology. *Research Policy*, 37 (6-7): 1108-1131.

Amin, A. (1996). The difference between small firm clusters and industrial districts. Paper for presentation at ECLAC/IPEA seminar on Decentralised Industrial Policies, Brasilia, 11-12 november.

Andersson, T., Serger, S., Soervik, J., Hansson, W. (2004). *Cluster Policies Whitebook*.

International Organisation for Knowledge Economy and Enterprise Development (IKED)

Bathelt, H. (2008). Knowledge-Based Clusters: Regional Multiplier Models and the Role of 'Buzz' and 'Pipelines'. In: *Handbook of Research on Cluster Theory* (Ed.: KARLSSON, C.). pp. 78-92. Edward Elgar: Cheltenham and Northampton (MA).

Barzelogna, T. (1982). Parque industrial Concordia, provincia de Entre Ríos. Consejo Federal de Inversiones (CFI).

Beardsell, M. y Henderson, V. (1999). Spatial evolution of the computer industry in the USA. *European Economic Review*. Volume 43, Issue 2, 15 February, Pages 431-456.

Becattini, G. (2005). La oruga y la mariposa. Un caso ejemplar de desarrollo en la Italia de los distritos industriales: Prato (1954-1993). Valladolid: Secretariado de Publicaciones e Intercambio Editorial.

Bertini, S. (2000). El fomento al desarrollo espontáneo y al clustering entre las PyMEs: un intento de marco conceptual para las políticas a partir de algunas experiencias empíricas. En Boscherini y Pomma (Comp.), *Territorio, conocimiento y competitividad de las empresas. El rol de las instituciones en el espacio global*, Miño y Dávila, Madrid.

Bianchi, P (1988). Competencia dinámica regiones industriales e intervención local. *Economía Industrial*. marzo abril.

BID (2012). Los parques científicos y tecnológicos en América Latina Un análisis de la situación actual. Banco Interamericano de Desarrollo.

Blanc, R; Rodriguez, M. A.; Hegglin, D. y Lepratte, L. (2020). El sector software y servicios informáticos en Entre Ríos. Caracterización y desafíos para su Desarrollo. *EJES de Economía y Sociedad. Revista Especializada en Ciencias Sociales*. UNER, Facultad de Ciencias Económicas.

Boekholt, P., Thuriaux, B. (1999). *Public Policies To Facilitate Clusters: Background, Rationale And Policy Practices In International Perspective*, in (Ed.), *Boosting Innovation: The Cluster Approach*, OECD Publishing: Paris, pp.381-412.

Boisier S. (2000). *Conversaciones sociales y desarrollo regional*, Ediciones Universidad de Tal-

ca, Talca, Chile.

Bollati, A. (2008). Gestión tecnológica: un análisis de la relación oferta-demanda de tecnología y factores incidentes. el caso del parque industrial de Gualeguaychú (CODEGU). Entre Ríos. Argentina. Universidad Nacional del Litoral, Facultad de Ciencias Económicas, Maestría en Administración de Empresas.

Borello, J. (1989). La Rioja, 1980-1987. Evaluación de la política de promoción industrial. Buenos Aires: CEUR.

Borello, J. (1998). El parque industrial en el mercado de propiedades industriales: perspectivas sobre la localización de la industria argentina. San Miguel: Instituto del Conurbano (ICO), Universidad Nacional de General Sarmiento (UNGS).

Borello, J., F. Fritzsche y M. Fernández (2000). La industria de Morón y las acciones para su impulso. Morón: Acuerdo Programa de Desarrollo Local, UNGS-Legislatura de Morón.

Boscherini, F. y Poma, L. (2000) Territorio, conocimiento y competitividad de las empresas. El rol de las instituciones en el espacio global, Buenos Aires, Miño y Dávila Editores.

Boschma, R. (2005). Proximity and innovation: A critical assessment. *Regional Studies*, vol. 39, N° 1, pp. 61-74.

Boschma, R. y Frenken K. (2003). Evolutionary economics and industry location. *International Review for Regional Research*, vol. 23, pp. 183-200.

Camagni, R. (1995). The concept of innovative milieu and its relevance for public policies in European lagging regions. *Papers in Regional Science*, n. 4, 317-340.

Carminati, M. (2006). La legislazione italiana e regionale sui distretti industriali: situazione e evoluzione. *cranec. Working Papers del Centro di Ricerche in Analisi Economica e Sviluppo Economico Internazionale, Università Cattolica del Sacro Cuore.*

Chertow, M. (2000). Industrial symbiosis: literature and taxonomy. *Ann. Rev. Energy Environ.* 25, 313-337.

Cohen, W. y Levinthal, D. (1990). Absorptive Capacity: A New Perspective on Learning and Innovation. *Administrative*

Science Quarterly, 35(1), 128-152

Doh, Teegen y Mudambi (2004). Balancing Private and State Ownership in Emerging Markets-Telecommunications Infrastructure: Country, Industry, And Firm Influences. *Journal of International Business Studies*, forthcoming.

Duranton, G. (2014). "Growing through cities in developing countries." *World Bank Research Observer*.

Duranton, G. y Puga, D. (2004). "Micro-foundations of urban agglomeration economies," *Handbook of Regional and Urban Economics*, in: J. V. Henderson & J. F.

Esser, K., Hillenbrand, W y Meyer-Stamer J. (1996). Competitividad Sistémica: Nuevo Desafío a las empresas y a la política, *Revista de la CEPAL*, (59), agosto, Santiago de Chile. 39-52 pp.

Farberoff, R. (1998). "Parque industrial 'La Cantábrica'. Un polo de modernización tecnológica en Morón". Consejo Profesional de Ciencias Económicas de la Provincia de Buenos Aires, diciembre.

Fontagnéy, L., Koenigz, P., Maynerisx, F. (2011). Analyzing selection into subsidized clusters: The French policy of competitiveness clusters.

Fracascia, L., Giannoccaro, I., Albino, V. (2017) Rethinking Resilience in Industrial Symbiosis: Conceptualization and Measurements. *Ecological Economics*, 137, pp. 148-162.

Fujita, M., Krugman, P & Venables, A. (2000). *Economía espacial: las ciudades, las regiones y el*

comercio internacional, Barcelona: Ariel.

Gilbert, M., y Cordey-Hayes, M. (1996). Understanding the process of knowledge transfer to achieve successful technological innovation. *Technovation*, 16(6), 301–312

Grimpe, C. y Sofka, W. (2009). Search patterns and absorptive capacity: Low- and high-technology sectors in European countries. *Research Policy*, 38(3), 495–506.

Istituto Nazionale di Statistica (Istat). (2006). Distretti industriali e sistemi locali del lavoro 2001. 8° Censimento Generale dell'industria e dei servizi. Roma: Istat.

Isaksen, A. y Hauge, E. (2002). Regional clusters in Europe. European Commission, Observatory of European SMEs: Brussels.

Krugman, P. (1991). *Geography and trade*, Gaston Eyskens lecture series. Leuven, Belgium: Leuven University Press.

Krugman, P. (1995). *Development, geography, and economic theory*. Cambridge: The MIT Press.

Ley 4.035 de 1954, Fondo de asistencia social destinado a la ancianidad, a la madre y a la invalidez, que se forma con el aporte patronal. Gobierno de la Provincia de Entre Ríos.

Ley 9.353 de 2001, Ley de Compre Provincial, Gobierno de la Provincia de Entre Ríos.

Ley 10.204 de 2013. Régimen Provincial de Promoción y Desarrollo Industrial. Gobierno de la Provincia de Entre Ríos.

Ley 27.506 de 2019. Régimen de promoción de la economía del conocimiento. Honorable congreso de la nación Argentina.

Marshall, A. 1920. *Principles of Economics*, 8th ed. London, Macmillan

Mia, I; Estrada, J. y Geiger, T. (2007) Benchmarking National Attractiveness for Private Investment in Latin American Infrastructure. World Economic Forum, Global Competitiveness Network.

Paquin, R., Howard-Grenville, J. (2009). Facilitating regional industrial symbiosis: network growth in the UK's National Industrial Symbiosis Programme. In: Boons, F. (Ed.), *The Social Embeddedness of Industrial Ecology*. Edward Elgar, Cheltenham, UK.

Morra, M. A. (2018). El parque industrial del municipio de Urdinarrain, Entre Ríos, como eje de la política de desarrollo local. FLACSO. Maestría en diseño y gestión de programas sociales.

Peddle, M. (1990) Industrial Park Location: Do Firm Characteristics Matter? *Journal of Regional Analysis and Policy*, Volume 20, Issue 2 26-36.

Poma, L. (2000). La nueva competencia territorial". En Boscherini, Fabio y Poma, Lucio (Comp.) *Territorio, conocimiento y competitividad de las empresas. El rol de las instituciones en el espacio global*. Buenos Aires, Miño y Dávila Editores.

Porter, M. (2001). Regions and the new economics of competition. In *Global city regions: Trends, theory, policy*, ed. A. J. Scott, 139–57. Oxford, U.K.: Oxford University Press.

Porter, M. (1996) *Competitive Advantage, Agglomeration Economies, and Regional Policy*. *International Regional Science Review* 19, nos. 1-2.

RENPI (2019). Listado de Parques Industriales inscriptos en el RENPI ACTUALIZADO AL 1-04-2019. Ministerio de Producción y Trabajo de la República Argentina.

Rothaermel, F. y Alexandre, M. (2008). Ambidexterity in Technology Sourcing: The Moderating Role of Absorptive Capacity. *Organization Science*, 20(4), 759–780.

Rothaermel, F. y Hess, A. (2007). Building Dynamic Capabilities: Innovation Driven by Individual-, Firm-, and Network Level Effects. *Organization Science*, 18(6), 898–921.

Proprius, L. and Driffield, N. (2006). FDI, clusters and knowledge sourcing, in Pitelis, C., Sugden, R., Wilson, J. (Ed.), *Clusters and globalisation: the development of urban and regional economies*,

Edward Elgar: Cheltenham, pp.133-158.

Quintar, A. y Gatto, F. (1990). Distritos Industriales Italianos: experiencias y aportes para el desarrollo de políticas industriales locales, Documento de Trabajo N° 29, Buenos Aires, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Rosenthal, S. S. and W. C. Strange (2003), "Geography, Industrial Organization, and Agglomeration," *Review of Economics and Statistics*, 85 (2): 377-393.

Scott, A. (1988) *Metropolis: From the division of labor to urban form*. Berkeley: University of California Press.

Scott, A (2006). *Entrepreneurship, Innovation and Industrial Development: Geography and the Creative Field Revisited*.

Storper (1994). *The Transition to flexible specialization in the US Film Industry: External economies, the division of labour and the crossing Industrial Divides*. In Ash Amin (Ed.) (1994) *PostFordism A Reader Studies in Urban and Social Change*. Blackwell Publishers Ltd. Oxford, UK.

Vázquez Barquero, A. (1996). *Desarrollos Recientes de la Política Regional. La Experiencia Europea*. *Revista Eure*, Vol. XXII, núm. 65, pp. 101-116.

Zahra, S. y George, G. (2002). *Absorptive Capacity: A Review, Reconceptualization, and Extension*. *The Academy of Management Review*, 27(2), 185–203.

NOTAS TÉCNICAS

DESARROLLO CON FINES DIDÁCTICOS DE LA CAPA DE COMUNICACIÓN, ADQUISICIÓN DE DATOS Y EJECUCIÓN DE COMANDO DE CONTROL DE UNA MICRORRED ELÉCTRICA IMPLEMENTADA CON HARDWARE Y SOFTWARE LIBRE

Recibido: 31 de Mayo, 2021 • Aceptado: 15 de Julio, 2021

Autores:

Gustavo Real ^{1*}

 <https://orcid.org/0000-0003-1146-8074>

María Florencia Jauré ¹

 <https://orcid.org/0000-0002-1701-9846>

Amado Vitali ¹

 <https://orcid.org/0000-0002-8078-9712>

Gonzalo Ribera ¹

¹ Universidad Nacional de General Sarmiento, Instituto de Industria, Juan María Gutiérrez 1150, Los Polvorines (1613), Buenos Aires, Argentina

Contacto:

**Autor a quien la correspondencia debe ser dirigida: greal@campus.ungs.edu.ar*

Roles autorales:

Conceptualización: Gustavo Real.

Curaduría de datos: Gustavo Real; María Florencia Jauré.

Adquisición de fondos: Amado Vitali; María Florencia Jauré.

Investigación: Gustavo Real; Gonzalo Ribera.

Metodología: Gustavo Real.

Administración del proyecto: Amado Vitali.

Recursos: Amado Vitali.

Software: Gustavo Real; Gonzalo Ribera.

Supervisión: Gustavo Real; Amado Vitali.

Validación: Gustavo Real; Gonzalo Ribera; María Florencia Jauré.

Visualización: María Florencia Jauré.

Redacción - borrador original: Gustavo Real; María Florencia Jauré.

Escritura - revisión y edición: María Florencia Jauré; Amado Vitali.

Cómo citar este artículo:

Real, G., Jauré, M.F., Vitali, A., Ribera, G. Desarrollo con fines didácticos de la capa de comunicación, adquisición de datos y ejecución de comando de control de una microrred eléctrica implementada con hardware y software libre. Revista Rumbos Tecnológicos, Volumen 13, 2021, pp. 137-154. Secretaria de Ciencia, Tecnología y Posgrado, Facultad Regional Avellaneda, Universidad Tecnológica Nacional. <http://rumbostecnologicos.utnfrainvestigacionyposgrado.com/tipo-de-articulo/notas/desarrollo-con-fines-didacticos-de-la-capa-de-comunicacion-adquisicion-de-datos-y-ejecucion-de-comando-de-control-de-una-microrred-electrica-implementada-con-hardware-y-software-libre>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

RESUMEN

Debido a la necesidad de abordar uno de los principales temas de interés nacional y mundial, como es el suministro de energía eléctrica a través de microrredes, sumado a la inquietud manifestada por estudiantes y docentes de la carrera de ingeniería electromecánica en profundizar en la capacitación y en el desarrollo de competencias específicas acerca de este tema, un equipo de investigadores se comprometió en el abordaje y desarrollo de una microrred eléctrica con integración de fuentes de energías renovables, la cual comenzó a implementarse en el laboratorio de ingeniería de la universidad. En el presente trabajo, inicialmente se presenta la estructura y los elementos constitutivos de la microrred eléctrica, para luego focalizarse en la presentación de la capa de comunicación, adquisición de datos y ejecución de comandos de control de la microrred; incluyendo la descripción específica de su diseño, su descripción funcional para, finalmente, llegar a la etapa de pruebas, ensayos y verificación de su funcionamiento. Para cerrar el trabajo se presentan las conclusiones alcanzadas y cómo se le dará continuidad en un futuro cercano a esta investigación.

Palabras Claves: Microrredes, Lazo de Control, Adquisición de Datos, Calidad de Energía, Hardware Abierto y Software Libre

ABSTRACT

The supply of electricity through microgrids is one of the main issues of national and global interest, which has raised the concern of students and professors of Electromechanical Engineering courses. In this context, they express the need to deepen the training and work in the development of specific competences on this topic. For this reason, a team of researchers committed themselves to the development of an electrical microgrid with the integration of renewable energy sources, which began to be implemented in the engineering laboratory at the university. In this paper, the structure and constituent elements of the electrical microgrid are presented, followed by a description of the communication layer, the data acquisition and the execution of microgrid control commands, which includes the specific description of its design, its functional description, and tests and trials to verify its operation. Finally, conclusions reached are presented, and some ideas on how this research will continue in the near future are addressed.

Key-words: Microgrids, Control Loop, Data Acquisition, Power Quality, Open Hardware and Free Software

INTRODUCCIÓN

Es bien sabido que la sociedad moderna depende inexorablemente de las fuentes de suministro de energía eléctrica y que estos sistemas deberán ser cada vez más ecológicos en lo que respecta a la utilización de los recursos energéticos del planeta, buscando maximizar la utilización de las energías renovables.

Recordemos que el objetivo central del Acuerdo de París (2015) es reforzar la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático manteniendo el aumento de la temperatura media mundial en este siglo muy por debajo de los dos grados centígrados por encima de los niveles preindustriales.

Por otro lado, se acelera enormemente la demanda de energía eléctrica, con un envejecimiento de la infraestructura de transporte y distribución; cosa que indefectiblemente repercutirá en la seguridad, fiabilidad y calidad de dicho suministro.

La sociedad empuja permanentemente a nuevos cambios tecnológicos que modifican los valores de la sociedad, la economía, el medio ambiente e incluso la forma de interpretar el mundo. Y de eso se trata, ya que las redes de energía eléctrica del futuro, deberán soportar esos permanentes cambios de paradigma para sostener en el tiempo la rentabilidad, sostenibilidad, fiabilidad y versatilidad con el menor impacto sobre el medioambiente.

Así, y gracias al abaratamiento de las tecnologías emergentes y ecológicas, se introducirá el concepto de generación distribuida, debido a que los hoy llamados consumidores, irán incorporando cada vez más la posibilidad de producción local de energía, transformándose en “prosumidores”, ya que consumirán en algunos momentos del día y en otros aportarán energía a la red interconectada (Hernández Callejo, 2019; Paredes Tapia et al., 2019).

En este contexto, las llamadas *Smart Grids* (SG) vienen a afrontar este cambio de paradigma que nos propone la sociedad que viene, aportando a la red elementos fundamentales que, si bien muchos de ellos ya existen en algunas instalaciones, en el caso de las SG están embebidas en su misma infraestructura, como ser: generación distribuida, sostenibilidad, fiabilidad, rentabilidad, gestión de la oferta y la demanda energética, inteligencia; pasando de esta forma de un concepto arcaico de “redes pasivas” a un concepto más moderno de “redes activas”. En este sentido, las microrredes, que generalmente operan en baja tensión, se pueden considerar como la estructura primaria para estas redes inteligentes o *Smart Grids* (Bordons et al., 2015; Amoedo et al., 2020; López A. et al., 2019; Hermana y Sánchez, 2020).

A principios del 2019, y como consecuencia de distintos debates internos de las posibilidades de una SG, y de constantes preguntas que, como es lógico, los estudiantes hacen acerca de lo que se viene en tecnología de redes eléctricas, se conformó un grupo de investigadores con el objetivo de dar respuestas a algunos de estos interrogantes. Pero, inmediatamente se impuso la necesidad de ir más allá del estudio y afrontar conjuntamente con los alumnos la construcción y puesta en marcha de una pequeña microrred.

Debido a que una implementación de este tipo, aún pequeña, demandaría un gran esfuerzo, se decidió empezar con una microrred aislada, de esta forma se iba a poder enfrentar la problemática de una forma más accesible, en donde se puedan estudiar los distintos componentes y capas que la integran, estabilizando los elementos que la componen, sin tener que lidiar, al principio, con la complejidad adicional que demanda estar conectadas a la red pública.

Lo primero que se impuso como necesidad, debido a la gran cantidad de elementos que la conforman, era dividir el desarrollo de la microrred en capas; de forma tal que cada una de estas

capas pudiera ir avanzando en forma paralela, pero sin dejar de ver el conjunto, buscando que las interacciones de estas capas estuvieran contempladas desde la etapa inicial de diseño.

De esta forma, se establecieron cuatro capas iniciales: 1.-Hardware de base, 2.- Comunicaciones, adquisición de datos y ejecución de comandos, 3.- Control y estabilidad de los sistemas y 4.- Gestión de la microrred. Así se conformaron los grupos de trabajo, cada uno bajo el liderazgo de un responsable de todas las actividades de desarrollo y puesta en marcha.

En este sentido, este artículo presentará los avances realizados en las definiciones, desarrollo de prototipos y primeras mediciones hechas sobre la capa 2: comunicaciones, adquisición de datos y ejecución de comandos.

El desarrollo de esta capa del sistema está centrado en la utilización de una placa de adquisición de datos basada en la Plataforma Arduino Due (ACQ-II), diseñada previamente en el marco de otro proyecto de investigación (Real et al., 2018; Jauré et al., 2020). Justifica esta decisión el amplio progreso logrado y la disponibilidad de información. De esta forma, la incorporación fundamental, respecto a desarrollos previos que ya habían utilizado esta plataforma, es todo lo que respecta a los nuevos módulos que demandará este desafío, pudiendo reutilizar mucho del código generado previamente.

DESARROLLO

Estructura y composición de la microrred eléctrica propuesta

La solución propuesta para la estructura de la microrred a implementar en el laboratorio de ingeniería de la universidad se puede apreciar en el esquema de la Figura 1.

La misma consiste en distintos elementos de hardware de base (capa 1), como la estación fotovoltaica, baterías, convertidores AC/DC y DC/AC; comunicación, medición y actuación (capa 2), puntos remotos y estación de monitoreo y control; control de la red (capa 3), estación de control; y finalmente la gestión operativa de la red (capa 4), estación de gestión y base de datos.

Es importante que se observe la horizontalidad propuesta para la capa de comunicaciones, ya que su función es llevar toda la información que hace al funcionamiento de la red, como así también a su operatividad y fiabilidad. Para el diseño de esta etapa se tuvieron en cuenta dos aspectos: por un lado, las particularidades específicas de las fuentes de energía con la que se disponía y, por otro lado, la realización de un análisis preliminar de ejemplos específicos ya desarrollados (Gaona-García et al., 2014; López A. et al., 2019).

Estructura y composición de la capa de comunicación, adquisición de datos y ejecución de comandos de control de la microrred eléctrica

La capa de comunicación, adquisición de datos y ejecución de comandos de la microrred eléctrica se conforma básicamente de dos tipos de elementos:

- a. Central de monitoreo y comunicaciones (CMyC). Este dispositivo tiene como función conformar toda la mensajería necesaria para la comunicación entre la central y los puntos remotos de monitoreo, esto implica realizar las consultas y adquisición de datos, así como la configuración y el envío de acciones. Cabe destacar que este dispositivo tendrá también la función de “control” de lazos de estabilidad (capa 3), tema que no se desarrollará en el presente artículo.

ESQUEMA PROYECTO MICRORREDES

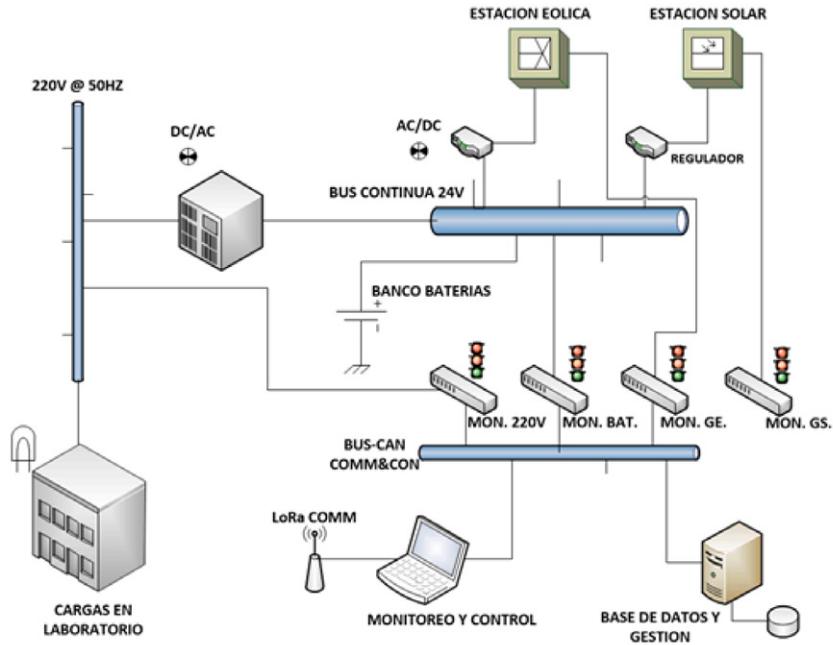


Figura 1. Estructura de la microrred eléctrica

b. Puntos remotos de monitoreo y accionamiento (PRMA). Tienen por finalidad establecer todo el accionamiento electromecánico con el dispositivo de base controlado, la adquisición de datos operativos y la comunicación con la CMYC.

Estos elementos están interconectados por un bus de alta velocidad, muy utilizado en ambientes industriales automotrices que es el CAN-BUS. Como lo indican las especificaciones, este es un bus cableado en donde los ceros y unos viajan en modo diferencial sobre dos líneas de comunicación (CANH y CANL), de acuerdo al esquema de la Figura 2.

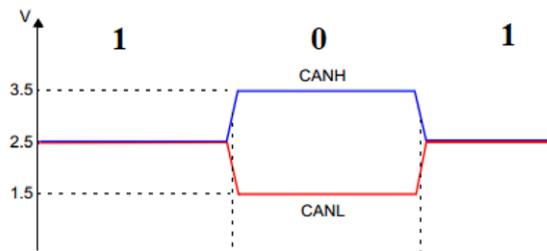


Figura 2. Esquema conceptual de la transmisión CAN.

Cabe destacar que la especificación del CAN (ISO 11898) usa los términos “dominante” y “recesivo” para referirse a los bits, donde un bit dominante equivale al valor lógico 0 y un bit recesivo equivale al valor lógico 1. El estado inactivo del bus es el estado recesivo (valor lógico 1). El acceso al bus se basa en eventos y se realiza de forma aleatoria. Si dos nodos intentan ocupar el bus simultáneamente, evento llamado colisión, el acceso se implementa con un arbitraje bit a bit no

destrutivo, en donde el valor del bit dominante prevalece sobre el valor del bit recesivo. Es decir, no destructivo significa que el nodo ganador del arbitraje simplemente continúa con el mensaje, sin que el mensaje sea destruido o corrompido por otro nodo.

Se seleccionó este tipo de BUS para el proyecto debido a las siguientes particularidades:

- buena inmunidad frente al ruido electromagnético (modo diferencial);
- detección de colisiones
 - o a nivel de bits individuales
 - o sin retardo ni pérdida de información para el mensaje más prioritario;
- velocidad 1Mbps @ 40m;
- simple a nivel lógico, físico, topológico;
- requiere poco hardware adicional (*transceiver*).

También se tuvo en cuenta la posibilidad de incorporar a futuro otro tipo de comunicación para aquellos casos en donde el acceso cableado no sea una opción. La elección definitiva de cuál se va a usar no está totalmente definida, pero en base al material bibliográfico analizado al momento y a las conclusiones consensuadas por el equipo de investigación, existe una alta probabilidad de que se implemente con el estándar de red LoRaWan. Esto está en principio determinado por la facilidad de uso, las bibliotecas disponibles, el alcance de la comunicación y lo económico de los módulos.

La arquitectura de comunicaciones propuesta se basa enteramente en un esquema tipo cliente/ servidor, en donde los clientes son los puntos PRMA_i y el servidor es el CMyC, como lo muestra la Figura 3. De esta forma, el CMyC puede comunicarse con cada punto remoto como si estableciera un canal individual con cada PRMA_i, tanto para parametrizaciones, mediciones, accionamiento o consultas de estado. A su vez, ningún PRMA puede establecer comunicación con otro de su mismo tipo, garantizando la solidez del conjunto operacional.

ESQUEMA PROYECTO MICRORREDES - CAPA 2

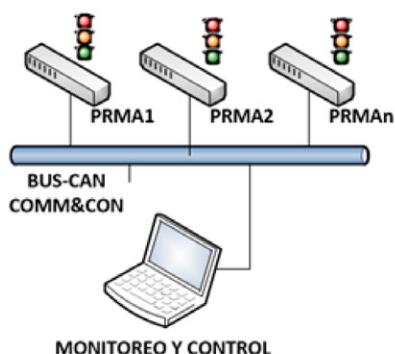


Figura 3. Esquema conceptual capa de comunicación, adquisición de datos y ejecución de comandos control del sistema (capa2)

Central de monitoreo y comunicaciones (CMyC)

Como central de monitoreo y comunicaciones se utilizará una notebook con Intel Core i7, 8 Gb de RAM y disco rígido de 1 Tb, monitor color, sistema operativo Windows 10, comunicaciones por WiFi, USB, y *transceiver* CAN-BUS.

Para proveer a los usuarios de una primera interfaz de comunicación, se desarrolló un software

utilizando lenguaje Python (Hughes, 2010; Sitio web Python, 2021). La selección de este lenguaje se justifica principalmente por las siguientes particularidades: i) su código es abierto; ii) cuenta con el soporte de una comunidad activa de usuarios y programadores; iii) los programas se ejecutan en múltiples plataformas, prácticamente, sin modificaciones en el código fuente; iv) soporta variados paradigmas de programación; v) permite desarrollar aplicaciones complejas; vi) dispone de nutridas bibliotecas de código abierto, adecuadamente documentadas, para aplicaciones específicas como gráficos 2D y 3D, comunicaciones, interfaces gráficas de usuario, cálculo científico y desarrollo web; y vii) el equipo de trabajo tiene conocimiento del mismo. Para este desarrollo se utilizó puntualmente la versión Python 3.6, pudiéndose en el futuro compilar en versiones superiores.

Actualmente la aplicación solo permite al usuario, de una manera simple y amigable, poder realizar cualquier comando definido a la fecha vía CAN-BUS, o sea, una aplicación de *testing*. La intención a futuro es empaquetar las funciones ya realizadas dentro de una única biblioteca que permita que, respetando los formatos definidos en la misma, cualquier aplicación de control pueda convocar a estas funciones solamente sabiendo cómo hacerlo; estableciendo una especie de *middleware* que garantice, por un lado, la facilidad de comunicación con los PRMA y, por otro, poder modificar y agregar comandos de comunicación sin impacto sobre la aplicación de nivel superior.

Desde el punto de vista del usuario, lo que ve en la pantalla se puede apreciar en la Figura 4. En esta interfaz el usuario puede elegir el destino, el tipo de mensaje, ya sean consultas de un PRMA respecto de sus variables de entrada, parametrización, sincronización del reloj de tiempo real, imponer valores de las variables analógicas y digitales, e inclusive mandar un mensaje tipo *broadcast* en donde todos los PRMA estarán escuchando y realizando lo solicitado.

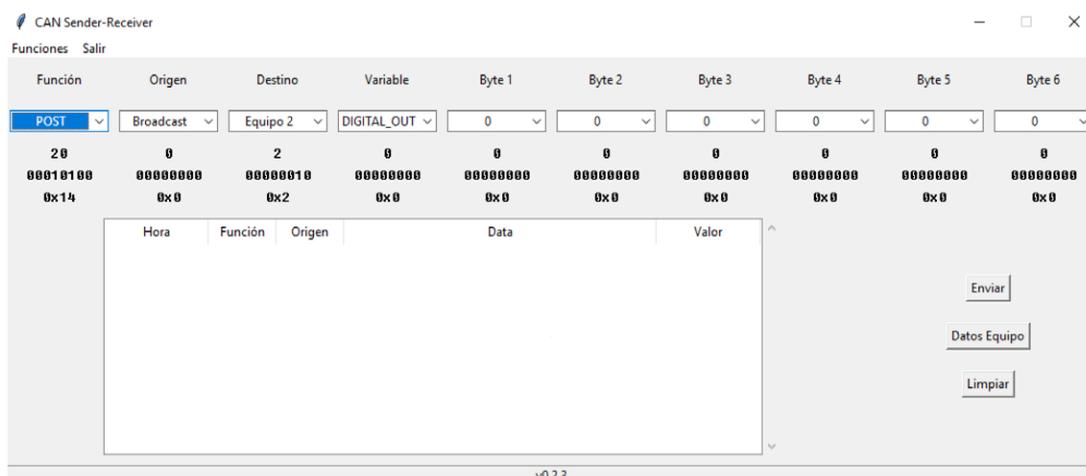


Figura 4. Vista de la interfaz del programa de *testing*

Esta primera aproximación aplicativa, quedará como una aplicación de *testing* para poder probar las comunicaciones, sin necesidad de tener que correr una aplicación de control, pudiendo de esta forma realizar un adecuado seguimiento de un problema, aislando lo que es estrictamente comunicacional de las capas de control y de negocio.

Puntos remotos de monitoreo y accionamiento (PRMA)

Dado que el desarrollo de este proyecto tiene como objetivo dar soluciones o respuestas a las

necesidades de la microrred, la definición de los requerimientos para el hardware de los puntos remotos se realizó en función de esta premisa.

Por esta razón, se optó por reutilizar y adaptar las placas diseñadas oportunamente para adquisición de datos y control en ambientes industriales (ACQ-II) (Real et al., 2018; Jauré et al., 2020).

A continuación, se presentan sus principales especificaciones:

- Salidas
 - o Cuatro salidas a relé – 24V @ 1A
 - o Cuatro salidas Open Drain – 24V @ 0.5A
 - o Cuatro salidas PWM – 0 a 3,3V @ 10mA
 - o Dos salidas analógicas (DAC) – 0 a 10V - 0 a 20mA, seleccionable por *jumper*
- Entradas
 - o Ocho entradas digitales optoacopladas – 0 a 24V
 - o Ocho entradas analógicas (*single ended*) – 0 a 10V - 0 a 20mA, seleccionable con *jumpers*
 - o Cuatro entradas analógicas de instrumentación para mediciones especiales – 0 a 3.3V @ 0.5mA
- Buses
 - o Bus I2C, SPI, GPIO genérica (por ejemplo: para 1-wire, interrupciones y *triggers*)
- Comunicación
 - o RS485
 - o RS232
 - o USB (por placa Arduino Due)
 - o CAN
 - o Conector para placa LoRaWan
- Almacenamiento
 - o Conector para memoria SD
 - o Memoria EEPROM (I2C)
 - o Memoria Flash (SPI)
- RTC
 - o Por I2C con pila de litio
- Frecuencia máxima de muestreo
 - o 52µs @ 12 bits. Cada 52µs se dispone de todos los canales elegidos
- Alimentación
 - o Entrada por transformador: 9Vac+9Vac - 40VA
 - o Entrada en continua: 15Vdc - 40VA

En aquellos puntos remotos donde se necesite evaluar la calidad de energía (trifásica o monofásica) se acopla al bus SPI de esta placa una solución de la marca Microchip denominada ATM90E36A-DB. La misma tiene varias modalidades de funcionamiento, usándose para esta prestación el modo esclavo, en donde se obtienen por cada canal mediciones de valor medio de tensiones y corrientes, potencia activa, reactiva, aparente, factor de potencia, frecuencia, distorsión armónica y temperatura ambiente (todos al +/-0,5% de error fiducial). También se puede obtener mediciones de energía en el tiempo (+/-0,2% de error, rango dinámico 6000:1).

De esta forma, el conjunto de las dos placas, como se ve en la Figura 5, pasa a ser un punto de monitoreo y actuación de enormes posibilidades, y por cierto más que suficiente para cualquiera de las necesidades planteadas en este proyecto.



Figura 5. Conjunto de nodo remoto (izquierda) con placa medidora de energía eléctrica (derecha)

Definición de mensajes

El diseño de los mensajes implica, específicamente, la definición del funcionamiento de la solución. Analizando los objetivos y el marco del proyecto existían distintas opciones de diseño, sin embargo, se consideró pertinente que la definición de los mensajes tenga en cuenta las ventajas que ofrece el CAN-BUS en cuanto a la priorización de los mensajes basado en el tratamiento de las colisiones.

La Figura 6 nos muestra la trama CAN estándar. En la misma se puede observar en blanco los campos que puede definir el usuario, y en gris aquellos que son propios del protocolo y deben ser respetados como están. La asignación de prioridad a los mensajes en el identificador es una característica de CAN que lo hace particularmente atractivo para su uso en un entorno de control en tiempo real. Cuanto menor sea el número de identificación del mensaje binario, mayor será su prioridad. Un identificador que consta completamente de ceros es el mensaje de mayor prioridad en una red porque sostiene el bit dominante por más tiempo. Por lo tanto, si dos nodos comienzan a transmitir simultáneamente, el nodo que envía un último bit de identificación como un cero (dominante), mientras que los otros nodos envían un uno (recesivo), retiene el control del bus CAN y continúa para completar su mensaje. Un bit dominante siempre sobrescribe un bit recesivo en un bus CAN.



Figura 6. Representación de la trama CAN estándar

Por lo tanto, se procedió a asignar un formato específico a cada tipo de mensajes, teniendo en cuenta el tema de la priorización, y que el campo “Identifier” es de 11 bits en el formato estándar, y el campo “Data” es de 8 bytes. La asignación realizada para dispositivos remotos sin control de la calidad de energía se puede ver en las Tablas 1 y 2, en donde se expresa claramente la codificación de los elementos intervinientes en el protocolo para que los datos fluyan adecuadamente de acuerdo al estándar CAN-BUS.

Tabla 1. Identificador CAN para los PRMAAn y CMyC.

IDENTIFICADOR - 11 BITS		FUNCIONES			DISPOSITIVOS ORIGEN		
ID MENSAJE	ID DISPOSITIVO	FUNCION	ACRONIMO	HEX	DISPOSITIVO	ACRONIMO	HEX
6 BITS	5 BITS						
FUNCIONES							
	ORIGEN	Error	ERR	0x01	Difusión	BROADCAST	0x00
		Acción	DO	0x04	PC central	MASTER	0x01
		Configuración	SET	0x08	Gen. Eólico	GEN	0x02
		Consulta	QRY	0x0C	Conv. Pan. Solares	SOL	0x03
		Acuse recibo	ACK	0x10	Banco de Baterías	BAT	0x04
		Anuncio	POST	0x14			
		Saludo periódico	HB	0x18			

Tabla 2. Asignación de mensajes CAN (DATA) para los dispositivos PRMAAn y CMyC, sin medición de calidad de energía eléctrica.

DATA - 8 BYTES								DISPOSITIVOS DESTINO			
BYTE 0	BYTE 1	BYTE 2	BYTE 3	BYTE 4	BYTE 5	BYTE 6	BYTE 7	DISPOSITIVO	ACRONIMO	HEX	
DESTINO	VARIABLE	VALORES									
								Difusión	BROADCAST	0x00	
								PC central	MASTER	0x01	
								Gen. Eólico	GEN	0x02	
								Conv. Solar	SOL	0x03	
								Banco de Baterías	BAT	0x04	

VARIABLE			VALORES						FUNCION
TIPO	ACRONIMO	HEX	BYTE 2	BYTE 3	BYTE 4	BYTE 5	BYTE 6	BYTE 7	
DIGITAL_OUT	DOUT	0x00	Pin 2 a 9	0 o 1	0	0	0	0	DO
DIGITAL_IN	DIN	0x01	0	0	0	0	0	0	QRY
DIGITAL_IN	DIN	0x01	Can.Dig's	0	0	0	0	0	ACK
ANALOG_OUT	AOUT	0x02	Pin 0 o 1	Steps(H)	Steps(L)	0	0	0	DO
ANALOG_IN	AIN	0x03	Pin 0 a 7	0	0	0	0	0	QRY
ANALOG_IN	AIN	0x03	Pin 0 a 7	Steps(H)	Steps(L)	0	0	0	ACK
MODO FUNC	MOD	0x04	Modo 1,2,3,4	0	0	0	0	0	SET
ANALOG	ANA	0x05	Cant. Can. 1 a 8	0	0	0	0	0	SET
IN-AMP	INAMP	0x06	Cant. Can. 1 a 4	0	0	0	0	0	SET
AMP_INAMP	AINAMP	0x07	Pin 9 a 12	Amplif. 0 a 3	0	0	0	0	SET
PWM	PWM	0x08	Pin 10 a 13	DtyCycle 0 a 255	0	0	0	0	DO
ECHO	ECHO	0x09	Char 0 a 127	0	0	0	0	0	HB
ECHO	ECHO	0x09	Char 0 a 127	0	0	0	0	0	ACK
RTC - hhmss	RTC	0x0A	h	h	m	m	s	s	SET
RTC - DDMMAA	RTC	0x0A	D	D	M	M	A	A	SET
RTC	RTC	0x0A	0	0	0	0	0	0	QRY
RTC	RTC	0x0A	h	h	m	m	s	s	ACK
RTC	RTC	0x0A	D	D	M	M	A	A	ACK
PARADA	PAR	0x0B	0	0	0	0	0	0	DO
SOFT RESET	SRST	0x0C	0	0	0	0	0	0	DO

Para el caso de que el punto remoto deba medir las variables que nos permiten determinar cómo se está entregando o recibiendo la energía eléctrica, se realizó una tarea similar a la anterior (ver Tabla 3) en donde se codificaron los mensajes para parametrizar la placa de Microchip ya mencionada, y para poder consultar el estado de tensiones, corrientes, potencias, frecuencia, factor de potencia y distorsión armónica.

En el 95% de los casos, será el nodo CMyC el que, desde su función de master de la red CAN, inicie una secuencia de comunicación con un nodo remoto, quien deberá conformar el mensaje de respuesta conforme al mensaje recibido.

En aquellos casos en donde algún nodo tiene configuradas alarmas respecto del hardware de base (capa 1) con el que está relacionado, tendrá la atribución de iniciar una conversación con el CMyC, enviando un mensaje de atención para poder informar la anomalía encontrada respecto de la parametrización recibida.

También será el caso en que se requiera establecer un lazo de control local en el nodo remoto, en donde una vez cargados los parámetros del lazo, el mismo dispositivo controlará la estabilidad del mismo, pudiendo en caso de ser necesario, requerir la intervención del CMyC cuando los desvíos se encuentren fuera de especificación, dejando la decisión final al controlador de toda la red. Esta modalidad no se encuentra prevista para estas etapas iniciales del proyecto.

Ensayos realizados

En esta primera etapa del proyecto, los ensayos se focalizaron en la correcta transmisión de los mensajes por la red, su interpretación y accionamiento correspondiente.

Justifica esto el hecho de que las placas originales ya mencionadas, ACQ-II y ATM90E36A-DB, demostraron ser altamente eficientes y plenamente operativas en proyectos anteriores, por lo que se priorizó la realización de ensayos sobre las comunicaciones. Por supuesto que, cuando las capas 1 y 2 de la red estén acopladas, se deberá verificar la correcta medición de las variables en juego, como así también lo que respecta al control cuando las capas superiores 3 y 4 se unifiquen al conjunto.

Establecido el entorno de prueba, que puede observarse en la Figura 7, vemos que se dispone de tres nodos: 1) el CMyC (Notebook), 2) un PRMA sin placa analizadora de energía eléctrica y, finalmente, 3) un PRMA con placa esclava de medición de energía eléctrica conectada por SPI. Así, el conjunto representa la totalidad de los tipos de nodos que se nos van a presentar al momento que se integren todas las capas en un ensayo unificado.

Tabla 3. Asignación de mensajes CAN(DATA) para los dispositivos PRMA y CMYC, con medición de calidad de energía eléctrica.

M90E36A	ACRÓNIMO	HEX	BYTE 2	BYTE 3	BYTE 4	BYTE 5	BYTE 6	BYTE 7	
TENSION F1	U_A	0x10	0	0	0	0	0	0	QRY
TENSION F1	U_A	0x10	UrmsA(H)	UrmsA(L)	UrmsALSB(H)	UrmsALSB(L)	0	0	ACK
TENSION F2	U_B	0x11	0	0	0	0	0	0	QRY
TENSION F2	U_B	0x11	UrmsB(H)	UrmsB(L)	UrmsBLSB(H)	UrmsBLSB(L)	0	0	ACK
TENSION F3	U_C	0x12	0	0	0	0	0	0	QRY
TENSION F3	U_C	0x12	UrmsC(H)	UrmsC(L)	UrmsCLSB(H)	UrmsCLSB(L)	0	0	ACK
CORRIENTE F1	I_A	0x13	0	0	0	0	0	0	QRY
CORRIENTE F1	I_A	0x13	IrmsA(H)	IrmsA(L)	IrmsALSB(H)	IrmsALSB(L)	0	0	ACK
CORRIENTE F2	I_B	0x14	0	0	0	0	0	0	QRY
CORRIENTE F2	I_B	0x14	IrmsB(H)	IrmsB(L)	IrmsBLSB(H)	IrmsBLSB(L)	0	0	ACK
CORRIENTE F3	I_C	0x15	0	0	0	0	0	0	QRY
CORRIENTE F3	I_C	0x15	IrmsC(H)	IrmsC(L)	IrmsCLSB(H)	IrmsCLSB(L)	0	0	ACK
CORRIENTE N	I_N1	0x16	0	0	0	0	0	0	QRY
CORRIENTE N	I_N1	0x16	IrmsN1(H)	IrmsN1(L)	0	0	0	0	ACK
POT. ACT. F1	PA_A	0x17	0	0	0	0	0	0	QRY
POT. ACT. F1	PA_A	0x17	PmeanA(H)	PmeanA(L)	PmeanALSB(H)	PmeanALSB(L)	0	0	ACK
POT. ACT. F2	PA_B	0x18	0	0	0	0	0	0	QRY
POT. ACT. F2	PA_B	0x18	PmeanB(H)	PmeanB(L)	PmeanBLSB(H)	PmeanBLSB(L)	0	0	ACK
POT. ACT. F3	PA_C	0x19	0	0	0	0	0	0	QRY
POT. ACT. F3	PA_C	0x19	PmeanC(H)	PmeanC(L)	PmeanCLSB(H)	PmeanCLSB(L)	0	0	ACK
POT. ACT. TOT.	PA_TOT	0x1A	0	0	0	0	0	0	QRY
POT. ACT. TOT.	PA_TOT	0x1A	PmeanT(H)	PmeanT(L)	PmeanTLSB(H)	PmeanTLSB(L)	0	0	ACK
POT. REACT. F1	PR_A	0x1B	0	0	0	0	0	0	QRY
POT. REACT. F1	PR_A	0x1B	QmeanA(H)	QmeanA(L)	QmeanALSB(H)	QmeanALSB(L)	0	0	ACK
POT. REACT. F2	PR_B	0x1C	0	0	0	0	0	0	QRY
POT. REACT. F2	PR_B	0x1C	QmeanB(H)	QmeanB(L)	QmeanBLSB(H)	QmeanBLSB(L)	0	0	ACK
POT. REACT. F3	PR_C	0x1D	0	0	0	0	0	0	QRY
POT. REACT. F3	PR_C	0x1D	QmeanC(H)	QmeanC(L)	QmeanCLSB(H)	QmeanCLSB(L)	0	0	ACK
POT. REACT. TOT.	PR_TOT	0x1E	0	0	0	0	0	0	QRY
POT. REACT. TOT.	PR_TOT	0x1E	QmeanT(H)	QmeanT(L)	QmeanTLSB(H)	QmeanTLSB(L)	0	0	ACK
POT. APAR. F1	PS_A	0x1F	0	0	0	0	0	0	QRY
POT. APAR. F1	PS_A	0x1F	SmeanA(H)	SmeanA(L)	SmeanALSB(H)	SmeanALSB(L)	0	0	ACK
POT. APAR. F2	PS_B	0x20	0	0	0	0	0	0	QRY
POT. APAR. F2	PS_B	0x20	SmeanB(H)	SmeanB(L)	SmeanBLSB(H)	SmeanBLSB(L)	0	0	ACK
POT. APAR. F3	PS_C	0x21	0	0	0	0	0	0	QRY
POT. APAR. F3	PS_C	0x21	SmeanC(H)	SmeanC(L)	SmeanCLSB(H)	SmeanCLSB(L)	0	0	ACK
POT. APAR. TOT.	PS_TOT	0x22	0	0	0	0	0	0	QRY
POT. APAR. TOT.	PS_TOT	0x22	SAmeanT(H)	SAmeanT(L)	SAmeanTLSB(H)	SAmeanTLSB(L)	0	0	ACK
FACTOR POT. F1	FP_A	0x23	0	0	0	0	0	0	QRY
FACTOR POT. F1	FP_A	0x23	PFmeanA(H)	PFmeanA(L)	0	0	0	0	ACK
FACTOR POT. F2	FP_B	0x24	0	0	0	0	0	0	QRY
FACTOR POT. F2	FP_B	0x24	PFmeanB(H)	PFmeanB(L)	0	0	0	0	ACK
FACTOR POT. F3	FP_C	0x25	0	0	0	0	0	0	QRY
FACTOR POT. F3	FP_C	0x25	PFmeanC(H)	PFmeanC(L)	0	0	0	0	ACK
FACTOR POT. TOT.	FP_TOT	0x26	0	0	0	0	0	0	QRY
FACTOR POT. TOT.	FP_TOT	0x26	PFmeanT(H)	PFmeanT(L)	0	0	0	0	ACK

Se dispone del instrumental necesario para los ensayos, constituido por un generador de señales electrónicas para las entradas, una fuente de poder, un multímetro digital y un osciloscopio de dos campos (analógico y digital), el cual se utilizó para poder visualizar lo que ocurre en el tiempo con las señales analógicas y digitales y, por otro lado, en el bus de comunicación digital por SPI.

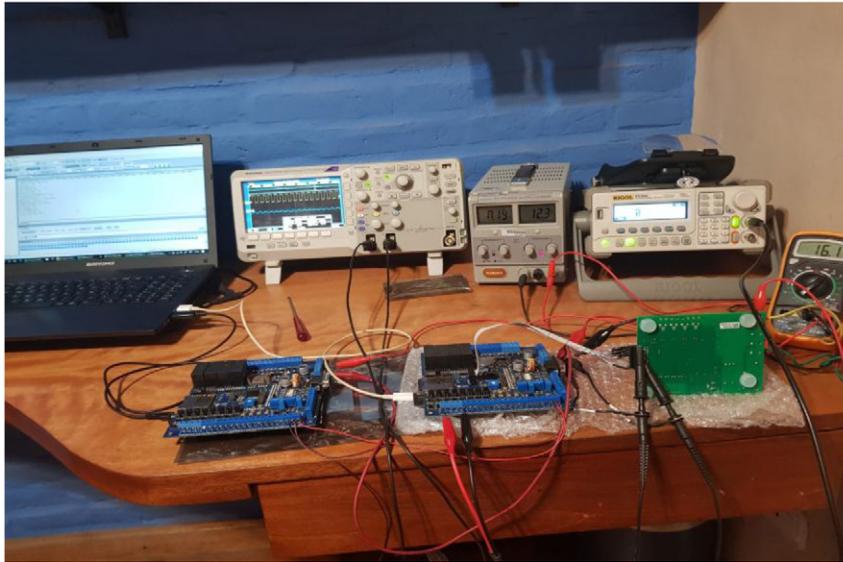


Figura 7. Ensayo de comunicación CAN-BUS y protocolo de comandos cliente/servidor.

La secuencia de ensayos que se hicieron abarcó todo el espectro definido de posibles eventos de comunicación, tratando de separar los problemas que pudieran venir de la CMyC de aquellos provenientes de los PRMA.

Cabe destacar en este punto que la placa ACQ-II, que es la base de todo punto remoto PRMA, ya dispone de un esquema interno de atención por comandos en su firmware (ver Tabla 4), por lo que la actividad sobre esa parte del sistema consistió, por un lado, en la reutilización de las funciones que tienen que ver con los comandos existentes, y por otro, en la validación por BUS-CAN de los mensajes que utilizan esas funciones (Real et al., 2018; Jauré et al., 2020). Esto implica una división interna de tareas en el nodo que ayuda a la reutilización del código, pero además para poder simplificar el camino de resolución de errores.

Tabla 4. Formato genérico de los comandos internos de la placa ACQ-II

Formato genérico del comando interno	
Esc	Atención
Carácter o número	Tipo de comando
Data	Datos del comando

De esta forma, no solo se logra una comunicación concreta y versátil, sino que cualquier especificación adicional que se quiera incorporar y que implique una relación con los periféricos, se podrá realizar de la misma forma, estandarizando así toda la comunicación presente y futura.

En cuanto al funcionamiento, el nodo remoto trabaja por modos. Esto está directamente asociado con cada una de las prestaciones que dispone, de acuerdo con la medición y/o el control que se quiera realizar. Dichos modos son:

- Adquisición de datos (ADQx)
- Automatización (AUI)

A continuación, en la Tabla 5, se especifica el detalle de los modos de trabajo.

Tabla 5. Modos de trabajo

Especificaciones básicas por modo	Descripción por modo
ADQ1 "On Line" (Modo 1): - Canales Analógicos de entrada - Máximo 8 - Canales Digitales de entrada - Máximo 8	El nodo será consultado en tiempo real vía BUS-CAN acerca del estado de los canales analógicos y digitales elegidos al momento de configurar la medición.
ADQ2 "On Line" (Modo 2): - Canales Analógicos de entrada - Máximo 4 - Tipo instrumentación	El nodo será consultado en tiempo real vía BUS-CAN acerca del estado de los canales analógicos y digitales elegidos al momento de configurar la medición.
ADQ3 "En Elec" (Modo 3): - Modo referido a la calidad de energía eléctrica y sus variables.	El nodo será consultado en tiempo real vía BUS-CAN acerca del estado de las variables involucradas (tensiones, corrientes, frecuencia, etc)
AUI (Modo 4): - Canales Analógicos de entrada - Máximo 8 - Canales Analógicos de salida - Máximo 2 - Canales Digitales de entrada - Máximo 8 - Canales Digitales de salida a relé - Máximo 4 - Canales Digitales de salida Open Drain - Máximo 4 - Salidas PWM - Máximo 2 - Medición monofásica y Trifásica con placa adicional - Comunicación CAN-BUS	El nodo deberá ser capaz de medir sobre todos los canales de entrada especificados en la configuración, y, de acuerdo a la programación, actuar sobre los canales de salida correspondientes. Esto implica la existencia de un lazo de control, ya sea remoto vía BUS-CAN (la toma de decisión está en la CMyC.) o un lazo local, en donde el nodo es responsable de la toma de decisiones correspondientes. NOTA: El presente proyecto no abarca la implementación de un lazo de control local, pero tiene todo lo necesario para implementar un lazo de control remoto.

Si bien algunas de las bibliotecas disponibles para uso en el entorno de programación Arduino podrían no estar lo suficientemente probadas, planteando así dudas relativas a la fiabilidad y/o estabilidad del firmware, cabe destacar que como el proyecto se desarrolló planteando la apertura del firmware, cualquier interesado puede reescribirlo con las bibliotecas que considere adecuadas. Es decir, si la estabilidad o fiabilidad no es suficiente, se puede reescribir la biblioteca que está generando el problema o, en su defecto, todo el firmware.

En la Figura 8 se puede observar la pantalla de usuario que posee el programa de *testing* con los comandos emitidos y las respuestas correspondientes de los puntos remotos.

El seguimiento de las versiones del software de las CMyC, como así también el del firmware de los PRMA, se realiza a través del uso de la herramienta Github (disponible en: <https://github.com/SADyCUNGSIDEI/>). Esta constituye un elemento muy importante para llevar adelante el desarrollo del sistema, con una adecuada revisión sistemática de la evolución de los elementos constituyentes a medida que se avanza en el proyecto.

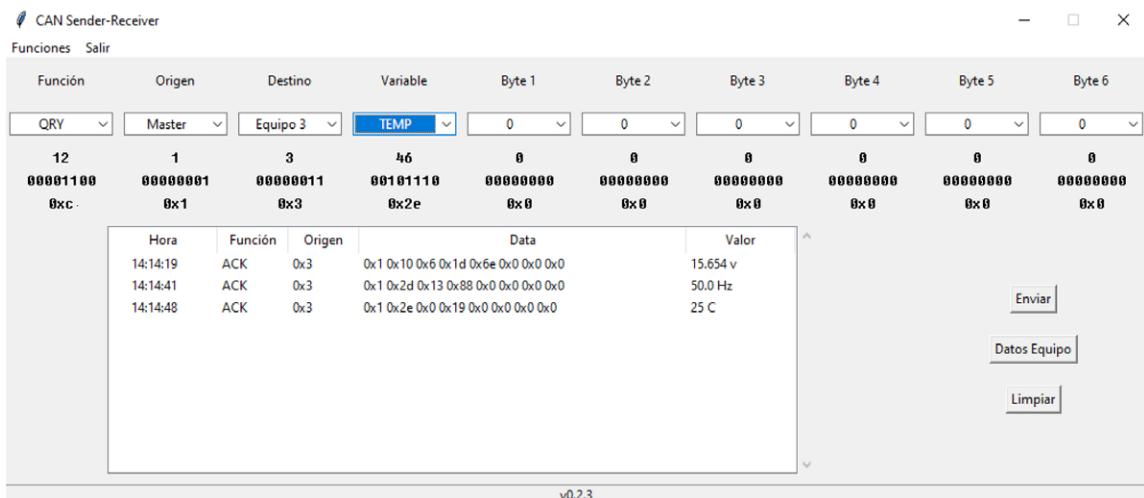


Figura 8. Captura de pantalla de las pruebas de comunicación

RESULTADOS OBTENIDOS

Debido a las imposiciones gubernamentales respecto de la pandemia, que indefectiblemente alcanzaron a los ambientes universitarios, ha sido imposible disponer de todos los recursos del laboratorio de ingeniería. Ante esta realidad, y para no detener completamente el proceso de pruebas previstas en el marco del proyecto, la universidad autorizó la salida de algunos equipamientos fuera del ámbito universitario, con lo que se pudieron armar pequeños laboratorios, obviamente con un alcance menor al original.

Dentro de este nuevo marco de trabajo, se hicieron los ensayos mencionados anteriormente y, si bien las mediciones realizadas no demuestran cómo se va a comportar el equipamiento en el ambiente definitivo de trabajo, las mismas permitieron ajustar el funcionamiento individual de los componentes.

Hasta este momento ya se ha probado todo el set de comandos y se logró establecer una comunicación satisfactoria entre la PC, que funciona como un CMyC, y los dos puntos remotos o PRMA. Todos los mensajes que fluyeron en ambas direcciones fueron completamente interpretados y ejecutados, siempre manteniendo el esquema planteado de cliente/servidor.

Distintos tipos de señales conectadas a las entradas desde el generador de señal fueron correctamente medidas dentro del error esperado del 0,5%, tanto para los canales analógicos de la placa base, como para las mediciones desde la placa de Microchip. También se incorporaron señales de tensión a través de un transformador reductor, para medir tensión, frecuencia y distorsión armónica; estos también estuvieron dentro del error esperado de acuerdo a especificación del fabricante.

Además, se midieron velocidades sobre el CAN-BUS con el osciloscopio en modo digital, verificándose velocidades de 1 Mb/s, lo que satisface ampliamente nuestras expectativas de comunicación para un entorno de tiempo real. Luego se midieron velocidades de comunicación SPI entre la placa base y la placa de Microchip, siendo las mismas del orden de los 10Mb/s.

DESARROLLO DE RECURSOS HUMANOS

El desarrollo de los PRMA prototipos, supuso la formación específica de un estudiante de la carrera de ingeniería electromecánica quien, a pesar de no tener una formación específica en ingeniería electrónica, sus inclinaciones hacia el hardware permitieron ajustar la señalización entre la placa ACQII y la placa de Microchip.

Para el desarrollo del software de la CMyC participó un estudiante de la tecnicatura en automatización y control, cuya orientación hacia los sistemas y su formación de trabajo sobre comunicaciones le permitieron brindar aportes significativos para la realización de los ensayos, como así también, la elaboración del código fuente.

Este trabajo les brindó a estos estudiantes la posibilidad de participar en el desarrollo de casos concretos de diseño, que exceden el ámbito teórico, en los cuales suelen presentarse problemáticas que en simulaciones áulicas no se manifiestan. Por otro lado, les permitió tener contacto directo con microcontroladores de 32 bits, conocer su arquitectura y elaborar bibliotecas para los respectivos *drivers*.

Finalmente, se incorporó a un recientemente graduado de ingeniería electromecánica con orientación en automatización para contribuir en aspectos de mejoras del código de los PRMA, y considerando que actualmente se desempeña como jefe de trabajos prácticos de la cátedra de Desarrollo Avanzado con Microcontroladores de la Tecnicatura en Automatización y Control, se espera que se puedan establecer posibles trabajos prácticos futuros de laboratorio sobre el hardware que quedará, oportunamente, a disposición del Laboratorio de Ingeniería.

CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

En principio, se han alcanzado ciertos hitos que indican que la investigación se encuentra en el camino correcto. Particularmente, resulta importante destacar que:

- se han diseñado todos los módulos de hardware, firmware y software de la capa 2 del proyecto;
- se probaron satisfactoriamente el total de las posibles transmisiones consideradas hasta este momento;
- los primeros resultados de las pruebas fueron satisfactorios; lográndose configurar parámetros, accionar sobre salidas digitales y analógicas, leer entradas analógicas y digitales, como así también, realizar la lectura de las variables de calidad de energía;
- se corrigieron los pocos errores de firmware que se fueron manifestando en los ensayos.

Por otro lado, el trabajo que queda por realizar en lo inmediato tiene distintas aristas, de las cuales las más destacables son:

- realizar el acoplamiento entre las cuatro capas pensadas para el proyecto en su totalidad;
- verificar el correcto funcionamiento del conjunto, tanto en sus aspectos de medición, como en los de comunicación, control y gestión de energía;
- caracterizar el error de medición en cada uno de los modos de funcionamiento, contrastando los resultados con los entregados por sendos instrumentos patrones en el laboratorio de ingeniería;
- documentar exhaustivamente la arquitectura y el uso del sistema facilitando a los profesores y alumnos su uso en las prácticas y para un posible crecimiento del proyecto.

Finalmente, una vez que se haya avanzado en estos últimos ítems y, con la consecuente publicación en la página web de toda la información y los resultados de las pruebas, se torna importante la adhesión que tenga de la comunidad universitaria y de investigación para enriquecer un sistema que está pensado para ser mejorado, ampliado y enriquecido con nuevos componentes, tanto de hardware como de software.

AGRADECIMIENTOS

En el marco de las pruebas de laboratorio, queremos expresar nuestro especial agradecimiento al personal del Laboratorio de Ingeniería del Instituto de Industria de la Universidad Nacional de General Sarmiento por la buena voluntad de hacernos llegar todo el instrumental necesario para estas primeras pruebas, aún dentro del marco restrictivo de la pandemia. Gracias a estas acciones se pudo armar un laboratorio fuera de las instalaciones de la Universidad, posibilitando la realización de las pruebas vinculadas a las mediciones de parámetros y a la comunicación entre CMyc y las PRMAN.

REFERENCIAS

Amoedo, P., Junco, S., Romero, M., Alba, D. (2020). Convertidor electrónico multipropósito para la enseñanza de la electrónica de potencia. XIV Congreso de Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica (TAEE). Porto, Portugal, 2020, pp. 343-351. Disponible en: http://taee.etsist.upm.es/actas/2020/Libro%20de%20Actas%20TAEE_2020.pdf (Última fecha de acceso: 23/07/2021)

Bordons, C., García-Torres, F. y Valdeverde, L. (2015). Gestión Óptima de la Energía en Microredes con Generación Renovable. Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial 12 (2015) p.p 117–132. Disponible en <https://core.ac.uk/download/pdf/250238958.pdf>. (Última fecha de acceso: 26/05/2021).

Gaona-García, E., Trujillo, C. y Rojas Cubides, H. (2014). Infraestructura de comunicaciones en microrredes eléctricas. Redes de Ingeniería, volumen 5, número 2, pp. 28-38, diciembre 2014. Disponible en: <file:///C:/Users/usuario/Downloads/8044-38044-1-PB.pdf> (Último acceso: 23 de julio de 2021)

Hermana, R. y Menéndez Sánchez, J. (2020). Cuadernos Orkestra- Casos de Microrredes. Instituto Vasco de Competitividad. Fundación Deusto. Disponible en: https://www.orkestra.deusto.es/images/investigacion/publicaciones/informes/cuadernos-orkestra/200028_Casos_Microrredes.pdf?v (Última fecha de acceso: 23/07/2021)

Hernández Callejo, L. (2019). Microrredes eléctricas. Garceta Grupo Editorial, Madrid.

Hughes, J.M. (2010). Real World Instrumentation with Python. O' Reilly.

Jauré, M.F., Real, G. y Vitali, A. (2020). Desarrollo de sistemas de adquisición de datos y control para uso didáctico. Revista Argentina de Ingeniería, Año 8, Vol. 15, pp 51-60, julio 2020. Disponible en <https://confedi.org.ar/download/RADI-15-Desarrollo-de-sistemas-de-adquisicion-de-datos-y-control-para-uso-didactico.pdf>. (Última fecha de acceso: 25/05/2021)

López, A., Schulze, J., Alba, D., Tomassini, J., Junco, S. (2019). Si MIIER Bidirectional AC DC controlled converter for stand alone and grid connected applications. Bidirectional AC DC Controlled Converter for Stand Alone and Grid Connected Applications. Disponible en: https://www.academia.edu/40876202/Si_MIIER_Bidirectional_AC_DC_controlled_converter_for_stand_alone_and_grid_connected_applications (Última fecha de acceso: 23/07/2021)

Microchip Technology (2021). Ficha técnica ATM90E36A-DB. Disponible en: <https://www.microchip.com/DevelopmentTools/ProductDetails/ATM90E36A-DB>. (Última fecha de acceso: 29/05/2021).

Naciones Unidas, noviembre de 2015. Acuerdo de París. Disponible en: https://unfccc.int/sites/default/files/spanish_paris_agreement.pdf (Última fecha de acceso: 27/05/2021).

Paredes Tapia, L., Serrano, B. y Molina, M. (2019). Nuevo paradigma de los sistemas eléctricos: generación distribuida y microrredes eléctricas. Un vínculo de accesibilidad a la electricidad en América Latina y el Caribe. Revista ENERLAC. Volumen III. Número 2, pp88-110. Diciembre, 2019. Disponible en: <http://enerlac.olade.org/index.php/ENERLAC/article/view/94/54> (Última fecha de acceso: 23/07/2021)

Python Software Foundation (2001-2021). Python Website. Disponible en: <http://python.org> (Última fecha de acceso: 25/05/2021).

Real, G., Jauré, M.F. y Vitali, A. (2018). Data acquisition and industrial control system based on Arduino Due using open-source hardware and software. XIII Technologies Applied to Electronics Teaching Conference (TAEE). IEEE Xplore Digital, La Laguna, España, 2018, pp. 1-7, doi: 10.1109/TAEE.2018.8476072.

CALCULO DE LA TRANSMISION DE CALOR A TRAVES DE CAMARAS DE AIRE NO VENTILADAS EN MUROS DOBLES VERTICALES, UTILIZANDO DOS METODOS DIFERENTES DE CÁLCULO Y FINALMENTE COMPARACION DE ESTOS VALORES CON LA ALTERNATIVA DE COLOCAR EN ESA MISMA CAMARA UN AISLANTE TERMICO DE LANA DE VIDRIO

Recibido: 11 de Febrero, 2021 • Aceptado: 14 de Septiembre, 2021

Autor:

Horacio Edmundo López

Facultad Regional Avellaneda, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica Nacional, Ramón Franco 5050, 1874, Villa Dominico, Avellaneda, Provincia de Buenos Aires, Argentina.

Contacto:

**Autor a quien la correspondencia debe ser dirigida: horacio.edu.lopez@gmail.com*

Rol autorial:

Conceptualización, Curaduría de datos, Análisis formal, Metodología, Supervisión, Validación, Visualización, Redacción - borrador original, Escritura - revisión y edición.

Cómo citar este artículo:

López, H. E. Calculo de la transmisión de calor a través de cámaras de aire no ventiladas en muros dobles verticales, utilizando dos métodos diferentes de cálculo y finalmente comparación de estos valores con la alternativa de colocar en esa misma cámara un aislante térmico de lana de vidrio. Revista *Rumbos Tecnológicos*, Volumen 13, 2021, pp. 155-165. Secretaria de Ciencia, Tecnología y Posgrado, Facultad Regional Avellaneda, Universidad Tecnológica Nacional. <http://rumbostecnologicos.utnfrainvestigacionyposgrado.com/tipo-de-articulo/notas/calculo-de-la-transmision-de-calor-a-traves-de-camaras-de-aire-no-ventiladas-en-muros-dobles-verticales-utilizando-dos-metodos-diferentes-de-calculo-y-finalmente-comparacion-de-estos-valores>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

RESUMEN

El diseño y construcción de edificios en Argentina, en general, presta poca atención al ahorro de energía. El presente trabajo está vinculado al uso de cámaras de aire no ventiladas en muros dobles verticales pertenecientes a la envoltura exterior de edificios. Estas cámaras de aire que se “dejan” entre dos muros paralelos cercanos, se utilizan con el ánimo de proporcionarles una mayor Resistencia Térmica y con ello menor consumo de energía y mayor confort en el edificio al que envuelven. Se plantea el caso de una cámara de aire no ventilada de 50 mm de espesor y para ella se calcula por dos métodos diferentes la cantidad de calor transmitida en W/m^2 . Comparando los dos resultados obtenidos se corrobora el razonable acierto de ambos métodos. Finalmente y a la luz de estos resultados se plantea la alternativa de “rellenar” este espacio de la cámara de aire con un aislante térmico de lana de vidrio. Mediante un simple cálculo de transmisión de calor por conducción se determina la resistencia térmica para esta segunda alternativa y se compara con la resistencia térmica de la cámara de aire. La segunda alternativa es una mejor solución.

Palabras Claves: Cámaras de aire, Resistencia térmica, Conductividad térmica, Análisis dimensional, Radiación térmica

ABSTRACT

In general, building design and construction at Argentina pay little carefull to energy saving. This job is about air chambers without ventilation, inside vertical double walls as part of external envelope of buildings. This air chambers are used in order to increase Thermal Resistance of the walls to get a lower energy consumption and higher confort inside the buildings. It is shown the case of an air chamber without ventilation with 50 mm thickness and for it was calculated the heat transmission in W/m^2 by means of two different methods. The two results obtained are enough close then is proved that both methods are suitable. Finally is consider the alternative of “filling” the air chamber with glass wool insulation and with a simple calculus of heat transmission is find out its Thermal Resistance. This second alternative is a much better solution.

Key-words: Air chambers, Thermal resistance, Thermal conductivity, Dimensional analysis, Thermal radiation

INTRODUCCION

El propósito de este trabajo es calcular la cantidad de calor que se transmite por unidad de tiempo y por metro cuadrado de superficie a través de una cámara de aire vertical no ventilada, típica de un muro doble con cámara de aire, mediante dos métodos diferentes de cálculo.

Primero, siguiendo el método propuesto en el libro de Çengel y Ghajar (2011), luego con el método incluido en las Normas IRAM 11601:2002 y 11605:1996 y comparando después ambos resultados.

Por último realizar el cálculo suponiendo que en esta misma cámara colocáramos un aislante térmico de lana de vidrio para hacer una comparación final de resultados y sacar conclusiones.

Breves Conceptos Generales

El calor puede transmitirse por conducción, convección o radiación.

Existe transmisión de calor por conducción cuando el calor se transmite a través de un sólido o bien a través de un fluido (líquido o gas) en reposo.

Existe transmisión de calor por convección cuando el calor se transmite entre la superficie de un sólido y un fluido (líquido o gas) en movimiento o bien entre distintas partes de un fluido en movimiento.

Radiación es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas. Para distintos rangos de longitudes de onda existen distintos tipos de radiaciones. En el caso particular de la radiación térmica que es la que ahora nos interesa, esta depende de la temperatura absoluta de los emisores, sean sólidos, líquidos o gases. Toda superficie sólida y aun muchos fluidos, incluyendo líquidos y gases, pueden emitir y absorber calor por radiación. Tratándose de un fenómeno ondulatorio, la radiación térmica puede propagarse aun en el vacío.

DESARROLLO

A continuación se presenta el análisis del caso para dos alternativas, la primera con cámaras de aire verticales no ventiladas y la segunda para una cámara con un aislante térmico como lana de vidrio ocupando los 50 mm de espesor.

Cámaras de aire verticales no ventiladas – un primer análisis

En la Figura 1, a continuación, se presenta un muro vertical doble constituido por dos paredes de ladrillos cerámicos huecos y una cámara de aire intermedia no ventilada, de 50 mm de espesor. Una de las paredes de ladrillos cerámicos se encuentra en contacto con el aire exterior, en condiciones de invierno, mientras que la otra pared se encuentra en contacto con el aire interior de un edificio.

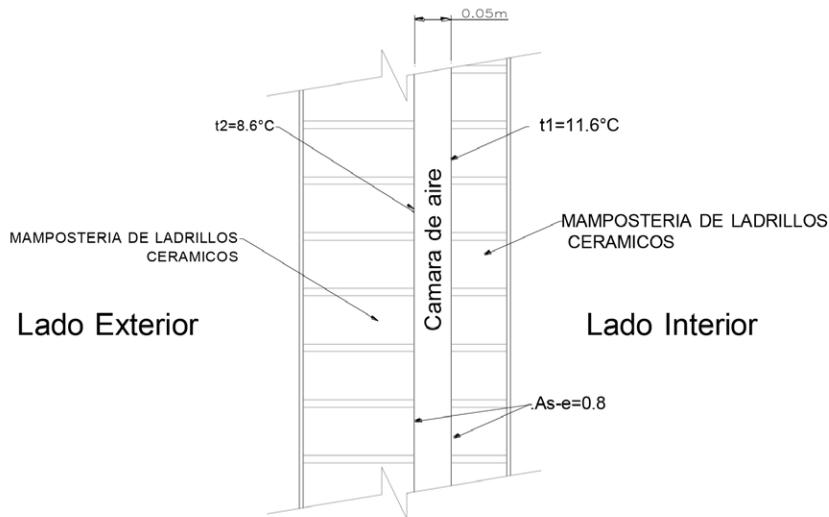


Figura 1. Muro vertical doble constituido por dos paredes de ladrillos cerámicos huecos y una cámara de aire intermedia no ventilada, de 50 mm de espesor.

Si analizamos las conductividades térmicas de distintos materiales de construcción y de varios materiales aislantes, encontraremos que el aire es entre todos ellos uno de los que más bajo valor de conductividad térmica tiene, $K = 0,02439 \text{ W/m K}$, a 10 °C , por supuesto este valor es para aire en reposo (estamos hablando de transmisión de calor por conducción).

La conductividad térmica es una propiedad definida por la ley de Fourier que corresponde a transmisión de calor por conducción y como hemos dicho los fenómenos de transmisión de calor por conducción se verifican a través de sólidos o fluidos en reposo. Si este fuera el caso del aire encerrado en una pared doble con cámara, como la planteada en la Figura 1, el calor transmitido por conducción a través de la cámara de aire, sería:

$$Q = \frac{K \cdot A_s \cdot (T_1 - T_2)}{L_c} \text{ [W]} \quad (1) \text{ donde,}$$

K : es la conductividad térmica del aire [W/m K]

A_s : es el área de la cámara de aire que es atravesada perpendicularmente por el flujo de calor en [m^2], que en este caso es la misma área de las superficies sólidas que limitan la cámara. T_1 y T_2 : temperaturas de cada una de las superficies sólidas que limitan la cámara [K] L_c : espesor de la cámara de aire [m]

Pero ocurre que el aire de la cámara a la que nos estamos refiriendo, a causa de las diferencias de temperatura entre las superficies verticales que la limitan, comenzará a moverse por convección natural y entonces el calor que se transmitirá entre dichas superficies verticales a través del aire ya no será por conducción sino por convección natural debido al aire en movimiento.

Por lo expuesto, en la mayoría de los casos, el aire deja de ser uno de los mejores aislantes térmicos, ya que es muy difícil convencerlo de que se quede quieto, tanto más en cámaras de determinado espesor (en este caso 0,05 m) y donde existen marcadas diferencias de temperatura entre las paredes que las limitan verticalmente, lo que inevitablemente genera corrientes convectivas.

Ahora bien, aparte del calor transmitido por convección natural, es necesario considerar también el calor transmitido por radiación entre las dos superficies que limitan la cámara, esto se debe a que el aire es un medio no absorbente en cuanto a la radiación térmica por lo cual no presenta oposición alguna al paso de la radiación entre dichas superficies, por tanto el calor total transmitido por unidad de tiempo a través de la cámara de aire será igual a la suma del calor transmitido por convección más el calor transmitido por radiación.

$$Q = Q_{\text{convec}} + Q_{\text{rad}} [W]$$

Si ahora se considera el concepto de flujo de calor (q) por unidad de tiempo y por unidad de la superficie perpendicular que atraviesa este flujo,

$$q = Q / A_s [W / m^2]$$

$$q = q_{\text{convec}} + q_{\text{rad}} [W/m^2] \quad (2)$$

Se calculan ahora para el caso planteado, q_{convec} y q_{rad} en forma separada.

Calculo del calor transmitido por convección natural (q_{convec}) aplicando el método propuesto por Çengel y Ghajar (2011).

Considerando ahora específicamente el fenómeno de convección natural que ocurre dentro de la cámara de aire vertical no ventilada, la ecuación clásica para resolver casos de convección es,

$$Q = h A_s (T_1 - T_2) \quad [W] \quad (3) \quad \text{donde,}$$

h : coeficiente correspondiente a este fenómeno de convección natural [$W / K m^2$].

Conforme a lo que establece la teoría de transmisión de calor el valor de (h), coeficiente de convección, usualmente se calcula aplicando el análisis dimensional y utilizando para ello distintos números adimensionales, en los casos de convección natural suele utilizarse el número de NUSSELT (Nu)

$$Nu = \frac{h L_c}{K} \quad (4)$$

Si de la (4) se despeja h ,

$$h = \frac{K Nu}{L_c} \quad \text{y reemplazando en la (3)}$$

$$Q = \frac{K Nu A_s (T_1 - T_2)}{L_c} \quad [W] \quad (5)$$

Si ahora se compara la (1) con la (5) puede definirse el concepto de "Conductividad Térmica Efectiva", (Cengel y Ghajar, 2011. Página 539).

$K_{\text{ef}} = K Nu$ luego,

$$Q = \frac{K_{ef} A_s (T_1 - T_2)}{L_c} \quad [W] \quad (6)$$

Es decir que el aire encerrado en una cámara como la descrita, se comporta como un fluido cuya conductividad térmica efectiva es $K_{ef} = K Nu$, como consecuencia de las corrientes convectivas que se generan dentro de la cámara.

Como puede verse Çengel y Ghajar (2011) en este caso, asimila el fenómeno de convección natural a un fenómeno de conducción utilizando para el cálculo un K_{ef} que será mayor que el K del aire ya que en estos casos Nu siempre es mayor que 1.

Ahora debemos calcular el valor de Nu . Para ello en Çengel y Ghajar, (2011) (Ecuación (9-54), pág. 541).

$$Nu = 0,42 Ral^{0,25} Pr^{0,012} \left(\frac{H}{L_c} \right)^{-0,3} \quad (9-54) \text{ donde,}$$

Ral: número de Rayleigh, adimensional. Pr: número de Prandtl, adimensional.

H: altura de la cámara de aire.

Esta ecuación se aconseja para calcular Nu , si se cumple,

$$10 < H/L_c < 40$$

$$1 \leq Pr \leq 2 \cdot 10^4$$

$$10^4 \leq Ral \leq 10^7$$

Como puede verse en la Figura 1, el espesor de la cámara de aire (L_c) es 0,05 m y en base a un cálculo efectuado anteriormente aplicando las Normas IRAM 11601 y 11625 a un muro con cámara de aire ídem a esta, para un caso de invierno, las temperaturas de las superficies que limitan la cámara son $t_1 = 11,6 \text{ }^\circ\text{C}$ y $t_2 = 8,6 \text{ }^\circ\text{C}$. Luego consideraremos al aire dentro de la cámara a una temperatura promedio de $10,1 \text{ }^\circ\text{C}$.

Si la altura H de la cámara de aire, es 2,20 m, (*) la relación H/L_c ,

$$H/L_c = 2,20 \text{ m} / 0,05 \text{ m} = 44$$

(*) Estamos suponiendo que el muro doble tiene una altura total de 2,60 m y está coronado por una viga de 0,40 m de altura por tanto la cámara tendrá 2,20 m de altura.

El número de Prandtl (Pr) de Çengel y Ghajar (2011) (Tabla A-15, página 884) , para aire a 1 Atm y una temperatura media del aire de $10,1 \text{ }^\circ\text{C}$,

$$Pr = 0,7336$$

Para calcular ahora el número de Rayleigh (Ral), encontramos en Çengel y Ghajar (2011), la ecuación (9-40) (pág. 539),

$$Ral = \frac{g \beta (t_1 - t_2) L_c^3}{\nu^2} Pr \quad (9-40) \quad \text{donde,}$$

g : aceleración de la gravedad en $[m/seg^2]$

β : coeficiente de expansión volumétrica en $[1/K]$

t_1 : temperatura de la pared "caliente", en nuestro caso $t_1 = 11,6 \text{ }^\circ\text{C}$

t_2 : temperatura de la pared "fría", en nuestro caso $t_2 = 8,6 \text{ }^\circ\text{C}$

ν : Viscosidad cinemática $[m^2/Seg]$

$\beta = 1/T$ adoptando para el aire de la cámara una temperatura media de $10,1 \text{ }^\circ\text{C}$

$\beta = 1/283,26 \text{ K}$

En Çengel y Ghajar, (2011) (Tabla A-15, pág. 884), encontramos el valor de la viscosidad cinemática del aire a 1 Atm y $t = 10,1 \text{ }^\circ\text{C}$

$\nu = 1,426 \cdot 10^{-5} [m^2/seg]$ luego,

$$Ra_l = \frac{9,81 (11,6-8,6) 0,05^3}{283,26 \cdot 1,426^2 \cdot 10^{-10}} = 0,7336$$

$$Ra_l = 4,69 \cdot 10^4$$

Volviendo a las tres condiciones de validez de la ecuación para calcular el Nusselt, la relación $H/e = 44$, es algo mayor que el límite de 40.

$Pr = 0,7336$ es cercano a 1.

El valor de $Ra_l = 4,69 \cdot 10^4$ está dentro del rango.

Entendemos que la (9-54) es aceptable, luego,

$$Nu = 0,42 Ra_l^{0,25} Pr^{0,012} (H/e)^{-0,3}$$

$$Nu = 0,42 \cdot 4,69^{0,25} \cdot 10 \cdot 0,7336^{0,012} \cdot 44^{-0,3}$$

$$Nu = 1,977$$

Recordando el valor de la conductividad térmica del aire en reposo y a $10 \text{ }^\circ\text{C}$,

$$K = 0,02439 [W/m K]$$

La conductividad térmica efectiva del aire que se encuentra dentro de la cámara, será:

$$K_{ef} = K Nu = 0,02439 \cdot 1,977 = 0,0482 [W/m K]$$

Como puede verse el K_{ef} (K real) es prácticamente el doble que el K del aire en reposo.

Entonces el calor transmitido por convección natural a través de la cámara de aire vertical no ventilada es:

$$q_{convec} = K_{ef} (t_1 - t_2) / L_c = 0,0482 [W / m K] (11,6 - 8,6) [^\circ\text{C}] / 0,05 [m]$$

$$q_{convec} = 2,893 [W/m^2]$$

Calculo del calor transmitido por radiación (q rad) aplicando el método propuesto por Çengel y Ghajar

La transmisión de calor por radiación entre las dos superficies que limitan la cámara de aire puede calcularse aplicando las ecuaciones (9-64) y (9-65) de Çengel y Ghajar (pág. 543), donde considerando $A = 1 \text{ m}^2$,

$$q_{\text{rad}} = e_{\text{ef}} \sigma (T_1^4 - T_2^4) \quad (9-64) \text{ (esta es la ecuación de Stefan – Boltzmann)}$$

Donde (e_{ef}) es la emisividad efectiva considerando las emisividades de ambas paredes. En la Tabla A-18, página 889, de Çengel y Ghajar, se encuentra para mampostería a una temperatura de 300 K que la emisividad es:

$$\begin{aligned} e_1 = e_2 = 0,80 & \quad \text{y por otra parte,} \\ e_{\text{ef}} = 1 / (1/e_1 + 1/e_2 - 1) & \quad (9-65) \\ e_{\text{ef}} = 1 / (1/0,80 + 1/0,80 - 1) & \\ e_{\text{ef}} = 0,67 & \end{aligned}$$

Como en la ecuación de Stefan – Boltzmann deben utilizarse temperaturas absolutas,

$$\begin{aligned} T_1 &= 11,6 + 273 = 284,6 \text{ K} \\ T_2 &= 8,6 + 273 = 281,6 \text{ K} \\ \sigma \text{ (es la constante de Stefan – Boltzmann)} &= 5,67 \cdot 10^{-8} [W / m^2 K^4] \\ q_{\text{rad}} &= 0,67 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} [W / m^2 K^4] (284,6^4 - 281,6^4) [K] \\ q_{\text{rad}} &= 10,341 [W / m^2] \end{aligned}$$

Obsérvese que en esta cámara de aire es mucho mayor el q_{rad} que el q_{convec} , más del triple. Esto lleva a pensar cuán importante es la emisividad de las superficies que limitan este tipo de cámaras. Se menciona esto pensando en superficies vidriadas de edificios, con vidrios dobles o triples con cámaras intermedias de aire u otros gases ya que en esos casos la emisividad de las superficies de los vidrios es importante.

Cálculo del calor total transmitido según el método propuesto por Çengel y Ghajar (2011)

Antes se dijo que,

$$\begin{aligned} q &= q_{\text{convec}} + q_{\text{rad}} \quad \text{reemplazando con los valores obtenidos} \\ q &= 2,893 [W / m^2] + 10,341 [W / m^2] \\ q &= 13,2 [W / m^2] \end{aligned}$$

Cálculo del calor total transmitido utilizando el método propuesto en la Norma IRAM 11601:2002

Por los conceptos que se conocen de “Transmisión de Calor por Conducción”:

$$q = (t_1 - t_2) / R \quad [W / m^2]$$

Como se mencionó antes,

$$t_1 = 11,6 \text{ °C} \quad \text{y} \quad t_2 = 8,6 \text{ °C}$$

El valor de la Resistencia Térmica (R) para cámaras de aire no ventiladas se encuentra en la Norma IRAM 11.601: 2002, (Tabla 3, página 8), para superficies de mediana o alta emisividad (rugosas o sucias, caso de la mampostería que limita estas cámaras), espesor de la cámara de aire 50 a 100 mm y dirección del flujo de calor horizontal (muros):

$$R = 0,17 [m^2 K / W]$$

Este valor, según dice la Norma, tiene en cuenta convección natural y radiación y por algo que veremos más adelante conviene aclarar que este valor, que indica la tabla, no discrimina si se trata de condiciones de invierno o de verano.

$$q = (11,6 - 8,6) [°C] / 0,17 [m^2 K / W]$$
$$q = 17,6 [W / m^2]$$

Alternativa de colocar en esta misma cámara un aislante térmico como lana de vidrio ocupando los 50 mm de espesor

El espacio antes ocupado por aire con corrientes convectivas ahora estará ocupado por un aislante térmico de lana de vidrio. Las corrientes convectivas desaparecen, por tanto $q_{\text{convec}} = 0$ y al interponer entre las superficies sólidas que limitan la cámara un material sólido, si bien liviano, también desaparece la radiación luego $q_{\text{rad}} = 0$.

Ahora el calor a través del material sólido colocado en la cámara se transmitirá por conducción, como corresponde a un sólido y puede calcularse con la ecuación siguiente:

$$q = K (t_1' - t_2') / L_c = (t_1' - t_2') / R \quad [W / m^2]$$

t_1' y t_2' serán diferentes de los t_1 y t_2 anteriores ya que la presencia de la lana de vidrio cambiara considerablemente el comportamiento térmico del muro, por lo que estas temperaturas serán nuevas incógnitas. Por supuesto que se podrían calcular estos valores, pero ello excedería los límites de este trabajo y nos desviaría de la conclusión buscada.

Ahora bien, queda otro recurso para llevar a cabo esta comparación y este consiste en calcular la Resistencia térmica (R) que ofrecerá la lana de vidrio.

$$R = L_c / K \quad [m^2 K / W]$$

El valor de K de la lana de vidrio podemos encontrarlo en la norma IRAM 11601:2002, (Anexo A, Tabla A.1, página 19), donde para una densidad de 11 a 14 Kg / m^3 ,

$$K_{LV} = 0,043 [W / m K] \quad \text{luego,}$$
$$R_{LV} = 0,050 [m] / 0,043 [W / m K] = 1,16 [m^2 K / W]$$

RESULTADOS

Agrupando todos los resultados de los cálculos realizados en cada parte, se tiene que:

El cálculo del calor total transmitido a través del muro doble planteado en la Figura 1 siguiendo el método propuesto por Çengel y Ghajar (2011) da:

$$q = 13,2 [W / m^2]$$

Con el método propuesto por la norma IRAM 11601:2002:

$$q = 17,6 [W / m^2]$$

Por otra parte, en cuanto a las resistencias térmicas, para la cámara de aire en la norma IRAM 11601:2002, (Tabla 3, página 8), tenemos:

$$RCA = 0,17 [m^2 K / W]$$

Mientras que con la segunda alternativa de colocar lana de vidrio dentro de la cámara de aire:

$$RLV = 1,16 [m^2 K / W]$$

DISCUSION

En relación con los valores del calor transmitido a través del muro doble, la diferencia porcentual entre estos valores tomando como base el valor de las normas IRAM,

$$17,6 - 13,2 / 17,6 = 25 \%$$

En realidad, dada la complejidad de estos cálculos y todas las incertidumbres asumidas para llevarlos a cabo, un 25 % de diferencia no parece tan significativo.

Otra consideración que debe hacerse, es que las temperaturas de ambas superficies que limitan la cámara de aire y que fueran utilizadas para el cálculo siguiendo a Çengel y Ghajar, se calcularon de acuerdo con las normas IRAM 11605:1996 Y 11625:2000 planteando condiciones de invierno para la ciudad de Buenos Aires, si se plantearan condiciones de verano, las temperaturas de las referidas superficies serían bastante mayores y por tanto la diferencia entre sus cuartas potencias también sería bastante mayor, lo que incrementaría sensiblemente el q rad y de este modo se obtendría un valor más cercano al del q (total) calculado con el valor de R que indica la tabla de la Norma IRAM 11601:2002.

Ahora bien, con referencia a las resistencias térmicas, comparando el valor de la resistencia térmica de la lana de vidrio RLV con RCA resistencia térmica que antes ofrecía la cámara de aire.

$$R LV / R CA = 1,16 / 0,17 = 6,8$$

CONCLUSIONES

La conclusión con respecto a los dos métodos empleados para calcular el calor transmitido a través del muro doble, es que un método confirma al otro y ambos se validan mutuamente.

Por otra parte en la segunda alternativa planteada, la conclusión es que por el solo hecho de “rellenar” esta cámara de aire con lana de vidrio, la resistencia térmica de la cámara de aire se incrementaría casi 7 veces.

No cabe duda que esta segunda opción es mucho más ventajosa ya que como costo adicional solo tendría el costo de la lana de vidrio más el poco significativo trabajo de colocarla en la cámara, durante la construcción del muro doble.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Ing. Daniel Bujan, profesor del Departamento de Ingeniería Mecánica, la confección de la Figura 1 que muestra el muro doble con la cámara de aire de 50 mm de espesor.

REFERENCIAS

ÇENGEL Yunus; GHAJAR Afshin. (2011). Transferencia de Calor y Masa. Editorial McGraw - Hill. ISBN: 978-607-15-0540-8

Norma IRAM 11601:2002. “Aislamiento Térmico de Edificios, Métodos de Cálculo”.

Norma IRAM 11605:1996. “Acondicionamiento Térmico de Edificios, Condiciones de Habitabilidad en Edificios”.

Norma IRAM 11625:2000. “Aislamiento Térmico de Edificios, Verificación de sus Condiciones Higrotérmicas.

ANÁLISIS DEL IMPACTO DEL REEMPLAZO DE EQUIPOS DE COCCIÓN Y CALEFACCIÓN DE GAS NATURAL POR ELECTRODOMÉSTICOS EN UNA RED DE POTENCIA ADAPTADA

Recibido: 30 de Mayo, 2021 • Aceptado: 28 de Agosto, 2021

Autores:

Marcos Cea*¹

Ulises Manassero¹

Pablo Marelli¹

Diego López¹

Irene Steinmann¹

¹ Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe, Centro de Investigación en Ingeniería Eléctrica y Sistemas Energéticos (CIESE), Lavaisse 610, CP 3000, Santa Fe, Provincia de Santa Fe, Argentina.

Contacto:

*Autor a quien la correspondencia debe ser dirigida: marcos.cea@live.com.ar

Roles autorales:

Conceptualización: Marcos Cea, Ulises Manassero.

Análisis formal: Marcos Cea, Ulises Manassero.

Investigación: Marcos Cea.

Metodología: Marcos Cea.

Administración del proyecto: Ulises Manassero, Pablo Marelli.

Recursos: Diego López, Irene Steinmann.

Software: Marcos Cea.

Supervisión: Ulises Manassero, Pablo Marelli, Diego López, Irene Steinmann.

Validación: Marcos Cea.

Visualización: Marcos Cea.

Redacción - borrador original: Marcos Cea.

Escritura - revisión y edición: Ulises Manassero.

Cómo citar este artículo:

Cea, M., Manassero, U., Marelli, P., López D., Steinmann, I.

Análisis del impacto del reemplazo de equipos de cocción y calefacción de gas natural por electrodomésticos en una red de potencia adaptada. Revista *Rumbos Tecnológicos*, Volumen 13, 2021, pp.167-189. Secretaria de Ciencia, Tecnología y Posgrado, Facultad Regional Avellaneda, Universidad Tecnológica Nacional. <http://rumbostecnologicos.utnfrainvestigacionyposgrado.com/tipo-de-articulo/notas/analisis-del-impacto-del-reemplazo-de-equipos-de-coccion-y-calefaccion-de-gas-natural-por-electrodomesticos-en-una-red-de-potencia-adaptada>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

RESUMEN

En un estudio previo se analizó la posibilidad de reemplazar aquellos equipamientos de cocción y calefacción que utilizan gas natural por electrodomésticos en hogares con acceso a la red de gas natural, a fin de generar un stock excedente del recurso para poder utilizarlo en la generación de energía eléctrica. Los resultados evidenciaron que es practicable un escenario donde la conversión de usuarios convencionales a electrointensivos a nivel nacional ronde un 7% de los hogares, lo que implicaría un incremento de demanda de energía eléctrica para la red.

Es en este marco, que se debe verificar el impacto de la nueva demanda en los diferentes indicadores de operación, tanto en los niveles de transporte como en los de transmisión y subtransmisión. Para ello, se implementa una red adaptada representativa del Sistema Argentino de Interconexión, con la finalidad de determinar el impacto de la nueva demanda en indicadores de operación de la red.

Los resultados dejan entrever que técnicamente la red es capaz que soportar el incremento en la demanda de energía eléctrica, no detectándose variables de operación, por fuera de los niveles admisibles.

Palabras Claves: Usuario Electrointensivo, Red Adaptada, Cargabilidad, Niveles de Tensión

ABSTRACT

In a previous study, the possibility of replacing those cooking and heating equipment that use natural gas with electrical appliances in homes with access to the natural gas network was analyzed, in order to generate a surplus stock of the resource to be able to use it in electrical power generation. The results showed that a scenario is feasible where the conversion of conventional to electrointensive users at the national level is around 7% of households, which would imply an increase in the demand for electrical energy for the network.

It is in this framework that the impact of the new demand on the different operating indicators must be verified, both in the transport levels and in the transmission and sub-transmission levels. For this, an adapted network representative of the Argentine Interconnection System is implemented, in order to determine the impact of the new demand on network operation indicators.

The results suggest that the network is technically capable of supporting the increase in the demand for electrical energy, not detecting operating variables outside the admissible levels.

Key-words: Electrointensive User, Adapted Network, Chargeability, Voltage Levels

INTRODUCCIÓN

El Sistema Argentino de Interconexión (SADI) es una red eléctrica conformada por tendidos de alta tensión que vincula las distintas regiones de Argentina. Técnicamente, recolecta y distribuye toda la energía que se genera en el país.

La Figura 1, según lo establecido por Pampa Energía (2020), se presenta la estructura del funcionamiento y los vínculos que existen entre todos los agentes que participan del sistema eléctrico nacional.

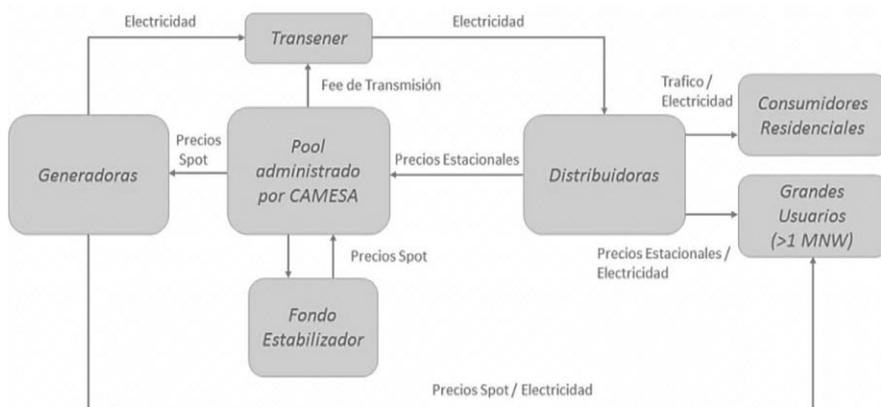


Figura 1. Estructura del Mercado Eléctrico Mayorista (Fuente: Pampa Energía, 2020)

El sistema de generación, transporte y distribución de la energía eléctrica en Argentina, bajo las políticas fijadas por la Secretaría de Energía, se encuentra administrado y regulado por dos entidades:

- El Ente Nacional Regulador de la Electricidad (ENRE), organismo que controla que las empresas del sector eléctrico nacional cumplan con las obligaciones establecidas en el Marco Regulatorio y en los Contratos de Concesión, velando por el buen funcionamiento de las redes de distribución de transporte y generación.

- La Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico Sociedad Anónima (CAMMESA), empresa de gestión privada con propósito público, donde el 80% de la misma es propiedad de los agentes del Mercado Eléctrico Mayorista (MEM – siempre que se mencione al MEM, implícitamente también se hace referencia al Mercado Eléctrico Mayorista Sistema Patagónico), comprendido por Generadores, Transportistas, Distribuidores y Grandes Usuarios con una participación igualitaria de cada uno, y el 20% restante de la empresa, está en poder de la Secretaría de Energía de la Nación que asume la representación del interés general y de los usuarios cautivos.

Cómo antes se detalla, el SADI vincula todas las etapas involucradas en el ciclo del consumo de energía eléctrica, las cuáles pueden dividirse en cuatro etapas:

- Generación, sector muy fragmentado y compuesto por compañías privadas en su gran mayoría y algunas estatales.

- El transporte, que vincula el sector de generación con los distribuidores, y que desde 2012 la Compañía de Transporte de Energía Eléctrica en Alta Tensión S.A. (Transener S.A.), opera el 100% de las líneas de 500 [kV]. A su vez, existen empresas de transporte regional, a las que se

denomina Empresas de Transporte por Distribución Troncal, tales como Transnoa S.A., Transnea S.A., Transpa S.A. y Distritocuyo S.A.(CAMMESA, 2021).

- La distribución, la realizan empresas provinciales, las cuáles poseen el monopolio del abastecimiento eléctrico a los usuarios finales dentro de la división territorial a la cuál pertenecen. Estas compañías alternan entre una mayoría de gestión privada y pública.

- La demanda, conformada por los usuarios finales de energía eléctrica, que según CAMMESA está compuesto por un gran abanico de perfiles de consumo, que va desde los Grandes Usuarios, con una demanda mínima de 1 [MW] para los Grandes Usuario Mayores (GUMA) hasta los Grandes Usuarios Particulares (GUPA), con demandas entre 30 y 100 [kW], pasando por el consumo industrial y comercial, hasta llegar finalmente a los usuarios residenciales, puntos de consumo energético particular definidos por los hogares.

Según la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA, 2018), Argentina es un país fuertemente dependiente del uso de los hidrocarburos, basando gran parte de su matriz energética en la disponibilidad y utilización de los estos (ver Figura 2). A su vez, posee un pobre desarrollo y una débil implementación de medidas respecto de la inclusión de fuentes de energía alternativas y al consumo eficiente de sus recursos energéticos. Aunque en estos últimos años hubo grandes avances en esta área, existe todavía un largo recorrido por delante, sobre todo en comparación con países desarrollados, principales precursores en materia de eficiencia e independencia energética, lo que implica principalmente desplazar el consumo de combustibles fósiles y fomentar el uso de fuentes de energía alternativas y renovables.

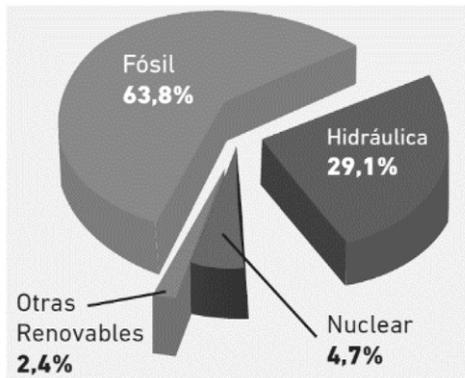


Figura 2. Generación neta del MEM, total acumulado del 2018
(Fuente: CNEA, 2018. Elaboración propia).

Considerando esa dependencia que existe en Argentina respecto de los hidrocarburos y los escenarios propuestos a futuro sobre el uso de los recursos disponibles, sumado a que el país posee una matriz primaria muy arraigada al consumo del gas natural (GN) principalmente, el cual tiene una participación casi exclusiva en la generación termoeléctrica, pero que a veces necesita del apoyo de otros combustibles (como ser diesel oil, fuel oil y carbón) para atender la demanda del sistema.

En este contexto, en un estudio previo (Manassero, 2020), los autores plantean la posible reaptación de la utilización de los recursos energéticos, analizando la viabilidad del desplazamiento

del uso de equipos que funcionan con GN en el sector residencial, para reemplazarlos por electrodomésticos y así plantear una matriz energética a futuro con usuarios electrointensivos, determinándose una distribución alternativa del GN en los diferentes sectores de consumo, cambiando el paradigma de su utilización, y de esa manera, aprovecharlo de manera óptima desde los aspectos técnicos y económicos.

Los resultados evidencian la imposibilidad de conversión a electrointensivos del 100% de los usuarios conectados a la red de GN. Por esta razón, se realizó un análisis de sensibilidad en busca de un caso de equilibrio, es decir, un escenario que sea técnicamente operativo, en donde la generación y los hidrocarburos principalmente sean suficientes para abastecer la demanda durante el período de estudio, las fallas del sistema sean bajas y el Costo Marginal de Operación (CMO) resulte beneficioso para el usuario final. Esto arrojó que en el período 2019-2023, solo el 7% de los usuarios residenciales convencionales (URC) pueden hacer la transición a usuarios residenciales electrointensivos (URE), a su vez, mediante una redistribución del stock de GN se presenta el caso en el cual el valor del CMO electrointensivo resulta menor que el CMO base (escenario con usuarios convencionales) para todos los años del período de estudio, como consecuencia de la disminución del uso de combustibles líquidos y sólidos. Ello significa que la red admite la inserción de demanda electrointensiva hasta los límites definidos, teniendo un costo operativo de generación eléctrica menor que en el caso inicial, lo que potencialmente podría significar un menor precio de la energía para el usuario final.

Como complemento de un estudio realizado previamente por los autores (Manassero et al, 2020), en el presente trabajo se pretende analizar el impacto de la demanda adicional de usuario electrointensivos en el SADI. Para lo cual, se debe realizar la elección de los componentes eléctricos a utilizar en una red adaptada de acuerdo con un estudio estadístico de topología y equipamiento normalizado de los sistemas generación, transporte, transmisión, subtransmisión y distribución de energía existentes en el SADI. Seguidamente, se realiza el modelado eléctrico de la red adaptada propuesta en un software específico de sistemas de potencia y se simulan flujos de carga para casos de red normal y red con usuarios electrointensivos. Esto, con el objetivo de cuantificar pérdidas de energía en el transporte de la red adaptada, perfiles de tensión y cargabilidad de los elementos serie de la red, de forma tal de poder realizar un estudio comparativo entre casos con usuarios residenciales electrointensivos (URE) y con usuarios residenciales convencionales (URC).

DESARROLLO

Red de potencia adaptada

Argentina posee una extensión longitudinal de 3.779 [km], medidos en sentido Norte-Sur posee una superficie aproximada de casi 2.800.000 [km²], por lo que resulta evidente la gran extensión de la infraestructura que compone al SADI, que, en su concepción, tuvo el objetivo de vincular a todo el país en un sistema eléctrico común y único, ya que conecta físicamente puntos del país que se encuentran en lugares muy alejados entre sí.

Si bien existen puntos de generación y consumo de energía eléctrica distribuidos alrededor de todo el país, dan muestra de una disposición relativa irregular entre estos dos sectores, haciendo que existan regiones importadoras de energía, es decir, zonas en donde se utiliza mucha más

energía de la que se dispone por generación propia, cómo son las regiones de Buenos Aires (Capital y Provincia) y Litoral (Santa Fe y Entre Ríos), con una fuerte presencia de generación térmica. En contraste a estas áreas, se encuentran las regiones exportadoras de energía, como lo es el COMAHUE, zona que genera cuatro veces la energía que en esta se consume, con predominio de los aprovechamientos hidroeléctricos por la naturaleza de su topografía y superficie, lo que origina la necesidad de transportar la energía hacia los centros de consumo, que usualmente se encuentran a cientos de kilómetros del lugar en que se la obtiene (CNEA, 2017).

Esta dinámica desequilibrada entre los sectores de generación y demanda de energía, la que involucra cientos de centrales y la premisa de la vinculación eléctrica común y única que tuvo como objetivo la conformación del SADI y la gran extensión del territorio argentino, son factores que implican que el sistema de transporte y transmisión de energía que conectan los centros de generación con la demanda necesariamente tenga una estructura extremadamente compleja. En total, solo si se consideran las líneas de transporte que opera Transener en 500 y 220 [kV], existen casi 12.400 [km] de tendido eléctrico (Transener, 2021), una longitud más de tres veces mayor a la que hay entre los dos puntos extremos del país.

La Figura 3 muestra un diagrama del sistema de transporte de alta tensión (AT) nacional que opera Transener, en dónde se evidencia la gran magnitud que este posee debido justamente a las dimensiones propias del territorio nacional y que implica la conexión de las grandes distancias que existen entre los centros de generación y la demanda.



Figura 3. Sistema de transporte en alta tensión de Argentina operado por Transener (Fuente: Transener, 2021).

Evidenciándose la gran complejidad que supone un hipotético análisis de la red eléctrica nacional en su totalidad, se plantea trabajar con una Red de Potencia Adaptada (RPA), la cual, según Vignolo (2004), se define como aquella red que tiene la misma topología y niveles de tensión que la red real pero donde la capacidad de los circuitos se encuentra optimizada en función a la sección de conductores y longitudes de referencia utilizadas en cada nivel de tensión.

La ventaja que presenta el estudio en una RPA es el hecho de que se elimina la gran complejidad del sistema, permitiendo centrar el análisis en una red única, que a su vez permite la extrapolación de los resultados hacia el total de la matriz debido a la representatividad del sistema eléctrico que esta posee.

Descripción de la red utilizada

La red elegida para el estudio de los escenarios con URC y URE, es un tramo del extenso y complejo tendido eléctrico que conforma el SADI. La Figura 4 muestra la traza aproximada de las líneas de transporte y transmisión de la RPA, que comienza su recorrido en extra alta tensión (EAT-500 [kV]) en el nodo Rincón Santa María, en la localidad de Ituzaingó, al noreste de la provincia de Corrientes, culminando el recorrido en 500 [kV] en el nodo Romang, ubicado en el departamento San Javier, al centro-este de la provincia de Santa Fe, dónde se produce la transformación al nivel de tensión a 132 [kV], para culminar en el nodo San Javier, en el mismo departamento y provincia.

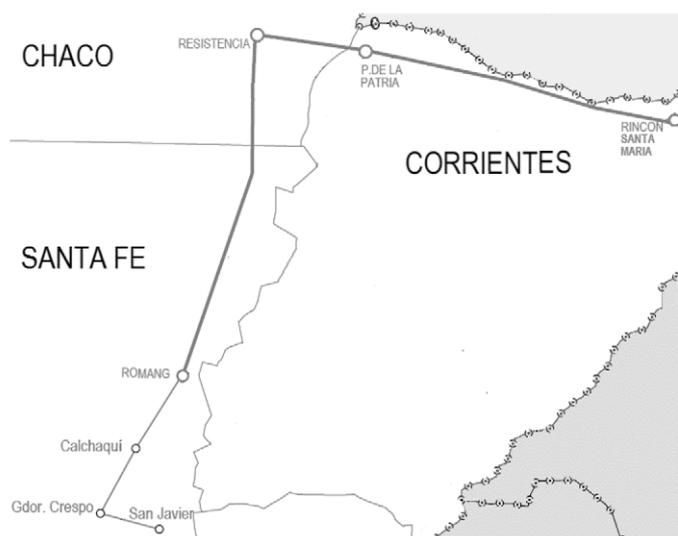


Figura 4. Red de potencia adaptada, trazado de las líneas de 500 y 132 [kV]
(Fuente: CAMMESA, 2019. Elaboración propia).

La particularidad que presenta esta red es que, para los efectos del estudio, se considera una red de potencia infinita (RPI) como fuente de energía del sistema, dejando de lado a los posibles puntos reales de generación que tienen influencia sobre la zona del nodo inicial de la red (principalmente la central hidroeléctrica Yacretá), cuestión que no goza de interés ni va a tener injerencia sobre el desarrollo y/o resultado del análisis.

La RPI definida, se ubica en el nodo Rincón Santa María, posee un nivel de tensión de 500 [kV]

y una potencia simétrica de corto circuito de 12.883 [MVA], dato obtenido de la Guía de referencia 2018-2025 del Sistema de Transporte de Alta Tensión, publicado por Transener.

Al ser una red definida exclusivamente para el estudio de los casos con URE, resulta imperioso conocer las líneas que la conforman, como así también todos los elementos que intervienen en la misma. Las características de las líneas de transmisión, nodos y cargas que componen los diferentes niveles de la RPA utilizada, se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Características y componentes de la RPA, para los niveles de tensión de 500 y 132 [kV].

Nivel de tensión: 500 [kV]											
Línea	Nodo Origen			Nodo destino			Longitud [km]				
	Nombre	Provincia		Nombre	Provincia						
1a	Rincón Santa María	Corrientes		Paso de la Patria	Corrientes		227,0				
1b	Rincón Santa María	Corrientes		Resistencia	Chaco		271,9				
2	Paso de la Patria	Corrientes		Resistencia	Chaco		44,9				
3	Resistencia	Chaco		Romang	Santa Fe		256,6				
Datos de las líneas											
Línea	R ₁	X ₁	B ₁	R ₀	X ₀	B ₀	I _n	Demandas			
	[Ω/km]	[Ω/km]	[μS/km]	[Ω/km]	[Ω/km]	[μS/km]	[A]	P [MW]	Q	[MVA _r]	
1a	0,0234	0,2790	4,1690	0,2640	0,9720	2,8950	2054	73,4	24,5		
1b	0,0234	0,2790	4,1690	0,2640	0,9720	2,8950	2054	--	--		
2	0,0234	0,2790	4,1690	0,2640	0,9720	2,8950	2054	267,5	120,7		
3	0,0261	0,2657	4,3300	0,2800	0,9860	2,7090	1929	226,0	83,0		
								224,7	82,5		
Nivel de tensión: 132 [kV]											
Línea	Nodo Origen			Nodo destino			Longitud [km]				
	Nombre	Provincia		Nombre	Provincia						
4	Romang	Santa Fe		Calchaquí	Santa Fe		92,5				
5	Calchaquí	Santa Fe		Crespo	Santa Fe		55,0				
6	Crespo	Santa Fe		San Javier	Santa Fe		55,5				
Datos de las líneas											
Línea	R ₁	X ₁	B ₁	R ₀	X ₀	B ₀	I _n	Demandas			
	[Ω/km]	[Ω/km]	[μS/km]	[Ω/km]	[Ω/km]	[μS/km]	[A]	P [MW]	Q	[MVA _r]	
4	0,1190	0,3905	2,9253	0,3360	1,3477	1,6604	645	81,4	11,5		
5	0,1190	0,3928	2,9062	0,3356	1,3432	1,6724	645	24,9	5,7		
6	0,1190	0,3949	2,8942	0,3338	1,3399	1,6699	645	9,9	4,4		
Transformador – Nodo Romang (T1)						Transformador – Nodo San Javier (T2)					
Tensión [kV]			Potencia [MVA]			Tensión [kV]			Potencia [MVA]		
1rio	2rio	3rio	1rio	2rio	3rio	1rio	2rio	3rio	1rio	2rio	3rio
500	138	34,5	300	300	100	138	34,5	13,86	30	30	30
Reactancia Directa [%]			Reactancia Homopolar [%]			Reactancia Directa [%]			Reactancia Homopolar [%]		
X ₁₂	X ₁₃	X ₂₃	X ₁₂	X ₁₃	X ₂₃	X ₁₂	X ₁₃	X ₂₃	X ₁₂	X ₁₃	X ₂₃
17,8	49,1	29,2	17,8	43,9	28,1	11,0	7,0	6,0	11,0	7,0	6,0

El nodo San Javier representa una Estación transformadora (ET) con tensiones de servicio de 132/33/13,2 [kV]. Por un lado, en el nivel de 33 [kV] existen dos alimentadores, uno hacia el norte de San Javier, el cuál culmina en el nodo de la comuna Colonia Teresa, ubicado en el departamento San Javier del noreste de la provincia de Santa Fe; hacia el sur, la línea de 33 [kV] llega hasta el nodo de la ciudad de Helvecia, ubicada en el departamento Garay de la misma provincia, en donde se producen rebajes de los niveles de tensión hasta llegar al consumo residencial.

En el nivel de 13,2 [kV] de la ET San Javier, se modelaron dos tipos de conductores característicos de una red de distribución primaria, por un lado, una Línea de Media Tensión (LMT), de 4

[km] de longitud la cuál converge en una subestación transformadora (SET) que alimenta usuarios residenciales en baja tensión, y por otro un Cable Subterráneo de Media Tensión (CMT), de 2,5 [km] de longitud con el mismo destino y uso que la LMT. La diferencia que radica entre estos dos conductores, son sus características constructivas y los parámetros eléctricos de los mismos, los cuales se describen en la Tabla 2. La razón del modelo descripto se debe a que ambas configuraciones de distribución en MT resultan de uso frecuente en el nivel de 13,2 [kV], lo que fundamenta entonces el empleo de los arreglos expuestos para la RPA.

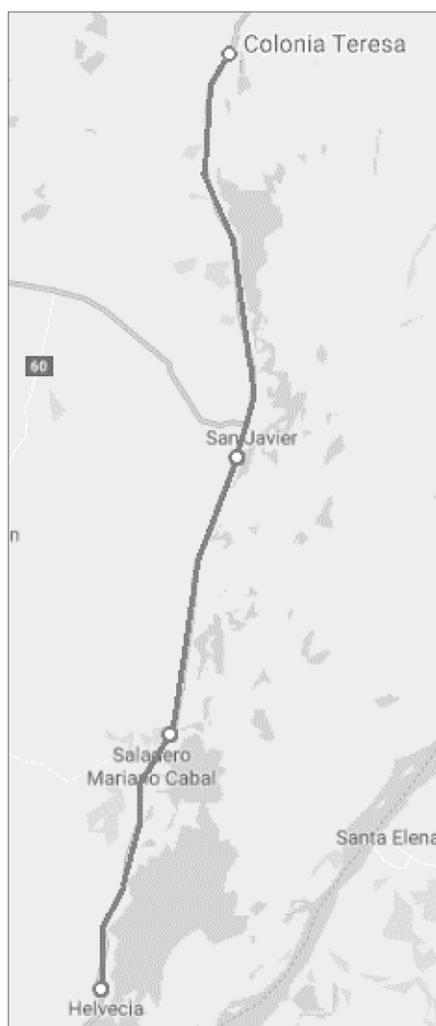


Figura 5. Red de potencia adaptada, trazado aproximado de las LMT de 33 y 13,2 [kV]
(Fuente: SADI 2020. Elaboración propia)

Al igual que para los niveles de tensión de 500 y 132 [kV], resulta necesario describir el trazado de la red de MT, sus conductores, nodos, cargas y elementos utilizados, los cuáles se presentan en forma resumida en la Tabla 2.

Tabla 2. Características y componentes de la RPA, para los niveles de tensión de 33 y 13,2 [kV].

Nivel de tensión: 33 [kV]										
Línea	Nodo Origen			Nodo destino			Longitud [km]			
	Nombre	Provincia		Nombre	Provincia					
7a	San Javier (al Norte)	Santa Fe		Colonia Teresa	Santa Fe		37,9			
7b	San Javier (al Sur)	Santa Fe		Pilagá	Santa Fe		20,0			
8	Pilagá	Santa Fe		Saladero M. Cabal	Santa Fe		16,0			
9	Saladero M. Cabal	Santa Fe		Helvecia	Santa Fe		26,9			
Datos de las líneas										
Línea	R ₁ [Ω/km]	X ₁ [Ω/km]	B ₁ [μS/km]	R ₀ [Ω/km]	X ₀ [Ω/km]	B ₀ [μS/km]	I _n [A]	Demandas		
								P [MW]	Q [MVA]	
7a	0,3060	0,3656	3,1313	0,4987	1,5201	1,3590	301	1,768	1,096	
7b	0,3060	0,3656	3,1313	0,4987	1,5201	1,3590	301	--	--	
8	0,3060	0,3656	3,1313	0,4987	1,5201	1,3590	301	0,242	0,117	
9	0,3060	0,3656	3,1313	0,4987	1,5201	1,3590	301	1,907	1,182	
Transformador – Nodo Helvecia (T₃)							Tensión [kV]		Potencia [MVA]	U _{cc} (%)
							1 ^{no}	2 ^{no}		
							34,5	13,86	5	6,5
Nivel de tensión: 13,2 [kV]										
Línea	Nodo Origen			Nodo destino			Longitud [km]			
	Nombre	Provincia		Nombre	Provincia					
10	Helvecia	Santa Fe		Helvecia	Santa Fe		4,0			
11	San Javier	Santa Fe		LMT_13,2	Santa Fe		4,0			
12	San Javier	Santa Fe		CMT_13,2	Santa Fe		2,5			
Datos de las líneas										
Línea	R ₁ [Ω/km]	X ₁ [Ω/km]	B ₁ [μS/km]	R ₀ [Ω/km]	X ₀ [Ω/km]	B ₀ [μS/km]	I _n [A]	Demandas		
								P [MW]	Q [MVA]	
10	0,3060	0,3656	3,1313	0,4987	1,5201	1,3590	301	2,125	1,317	
								1,564	0,969	
11	0,3060	0,3656	3,1313	0,4987	1,5201	1,3590	301	1,564	0,969	
12	0,1951	0,1969	86,9749	0,3422	1,8560	86,9749	376	1,564	0,969	
Transformadores (x3) – Nodo San Javier y Barras 13,2 [kV] (T₄, T₅, y T₆)							Tensión [kV]		Potencia [MVA]	U _{cc} (%)
							1 ^{no}	2 ^{no}		
							13,86	0,42	0,315	4

En el nodo de la ciudad de Helvecia se ubican tres barras, en dónde la primera posee el transformador de rebaje de 33 a 13,2 [kV]; la segunda contiene una demanda en 13,2 [kV] y a través de una LMT de 4[km], se conecta con la tercera barra, en dónde se ubica otra demanda y el rebaje a baja tensión para los usuarios residenciales

Finalmente, para modelar la demanda en baja tensión, se consideraron 150 usuarios finales (50 por fase) en cada una de las tres salidas que hay en 0,4 [kV] (Helvecia, LMT y CMT).

A los fines prácticos, a cada demanda individual se le asignó una carga de 1,2 [kVA] con un factor de potencia de 0,85, agrupándose 100 usuarios en una demanda concentrada y los 50 restantes, se los simuló como edificaciones dispuestas de manera contigua en una manzana urbana, en donde las acometidas de viviendas vecinas tienen una separación 12 [m] entre sí y los usuarios están conectados al suministro eléctrico a través de un conductor preensamblado normalizado de sección 3x1x95+1x50 [mm²] Al/XLPE utilizado generalmente en las redes de distribución secundaria del país.

En la Figura 6, se presenta un esquema completo de la RPA desarrollada para el presente estudio, en la cual se pueden observar los diferentes niveles de tensión implementados.

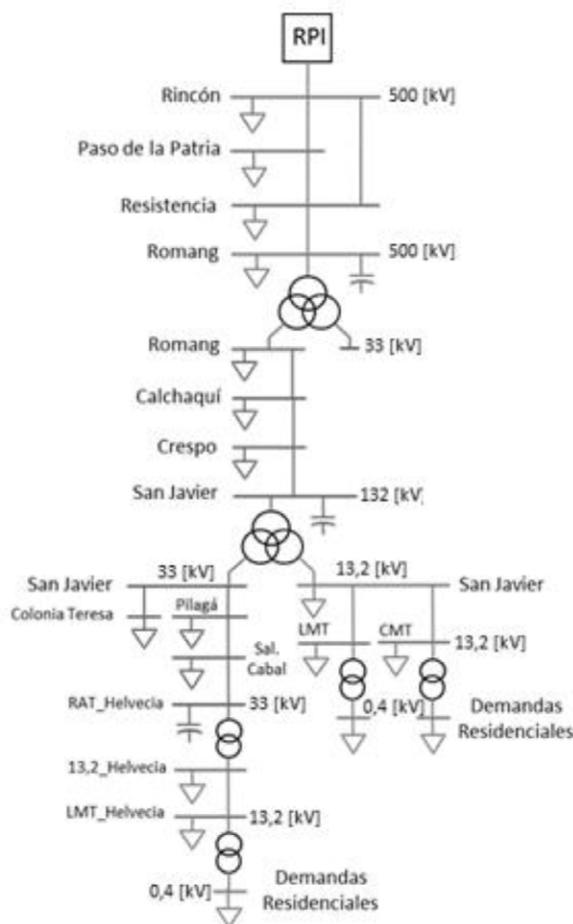


Figura 6. Esquema de la red de potencia adaptada (Fuente: elaboración propia).

Escenarios de estudio

Una vez definida y modelada la RPA, se procede a realizar sucesivos flujos de carga a fin de evaluar un escenario base, el que se corresponde con la inserción en la RPA de URC. Esto representa un punto de partida para poder realizar la comparación con aquellos escenarios en donde se produzca la incorporación en la RPA de URE. Se plantea la comparación de niveles de tensión y estados de carga del equipamiento serie de la RPA a fin de determinar la viabilidad del escenario con URE.

Las simulaciones se realizan para perfiles de demanda de verano e invierno, definidos con información obtenida de simulaciones de flujos de carga extraídos de la Guía de Referencia del Sistema Interconectado Provincial 2018-2022 de EPE-SF y la Guía de Referencia de CAMMESA del SADI 2018, siendo ambas de dominio público.

Particularmente, en este estudio del impacto de los nuevos URE ante los diferentes escenarios propuestos, se limitó a la evaluación del comportamiento de la RPA durante un período de 24 horas y para un escenario de consumo pico, representando esto un criterio conservador, ya que aquellos períodos donde la demanda del SADI sea menor deberían cumplimentar las exigencias de red impuestas por CAMMESA.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Escenario Base

La Figura 7 se muestra el comportamiento de la demanda en la RPA para los perfiles de carga invierno y verano del escenario base correspondiente a la inserción de URC.

En este caso, para determinar las curvas de carga aplicables para los perfiles de invierno y verano, se utilizaron los datos de demanda de potencia extraídos del Informe Anual 2018 de CAMMESA.

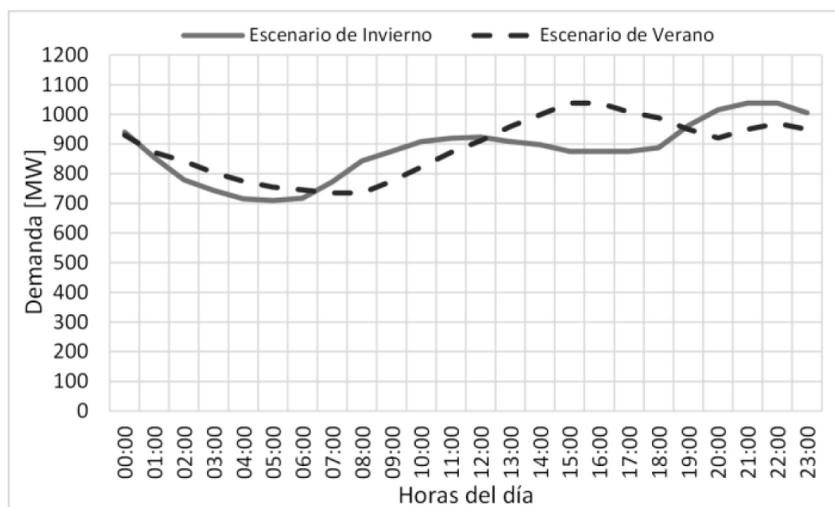


Figura 7. Curva de carga diaria de la RPA según perfiles de demanda de invierno y verano para el escenario base con URC (Fuente: elaboración propia).

Por inspección de la Figura 7, se advierte gran similitud entre la dinámica de consumo de los dos perfiles de estudio, aunque existen algunas discrepancias como ser el momento del día en el que se produce el pico de consumo, el cual se presenta entre las 15:00 y 16:00 [hs] en el caso verano, mientras que, para el invierno, se da entre las 20:00 y las 21:00 [hs]. En la Tabla 3 se presentan valores característicos de la red para los perfiles de carga definidos, los que describen parcialmente el comportamiento de la demanda de la red para ambos casos de estudio.

El parámetro factor de carga (F_c) definido en Tabla 3, es un coeficiente adimensional el cual se define como el cociente entre la potencia media y la potencia de pico del sistema.

Tabla 3. Valores característicos de los perfiles de invierno y verano.

Escenario	Potencia Media [MW]	Potencia Pico [MW]	Factor de carga (F_c)	Pérdidas red [MWh]
Invierno	878,4	1037,8	0,846	292,74
Verano	889,3	1037,8	0,857	299,30

Para poder realizar un análisis completo sobre el impacto que van a tener los URE en la red eléctrica, es imprescindible conocer el estado base de los elementos que la componen para luego poder realizar una comparación y observar cómo afecta esta nueva demanda a la red, analizando si el cambio implica una desviación importante de los parámetros críticos de operación del sistema, o estos se mantienen dentro de valores aceptables.

En la Figura 8 y Figura 9 se muestran los valores de cargabilidad máxima de las líneas y transformadores de potencia que conforman la RPA en sus diferentes niveles de tensión para el escenario base.

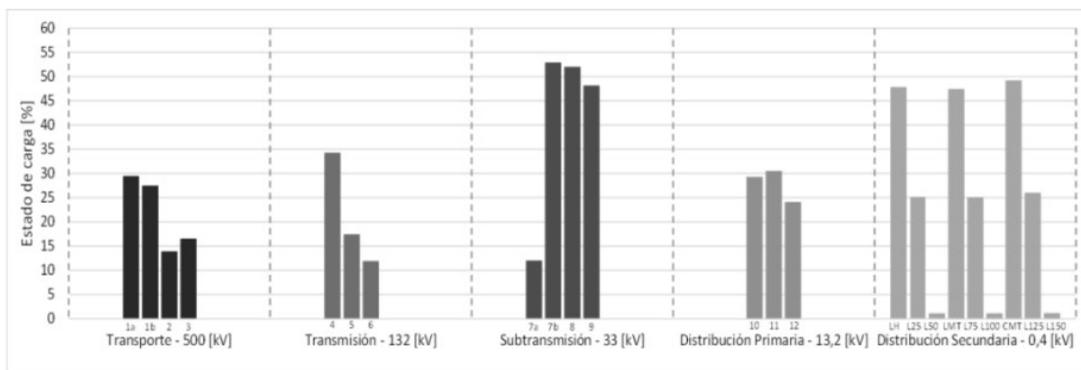


Figura 8. Niveles de carga de líneas de extra alta, alta y media tensión para el escenario base (Fuente: elaboración propia).

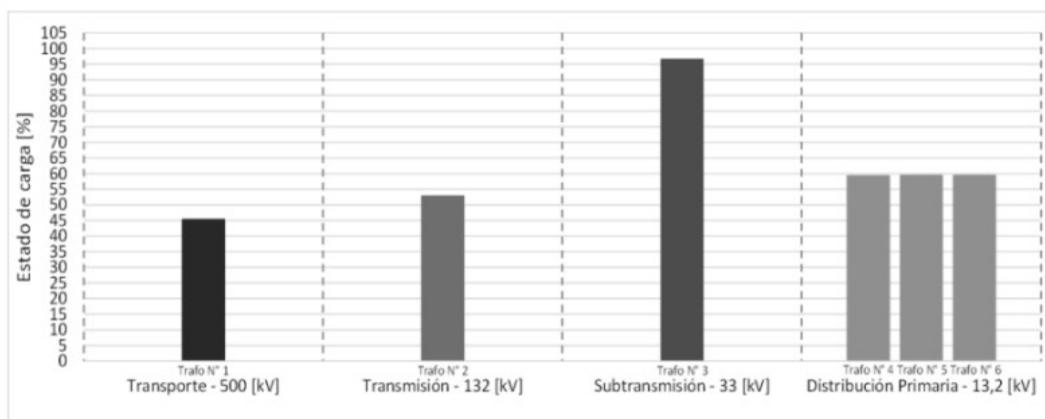


Figura 9. Niveles de cargabilidad de transformadores de potencia para el escenario base (Fuente: elaboración propia).

De la observación de la Figura 6 se destaca que hay tres barras de 0,4 [kV] que alimentan 150 usuarios residenciales en baja tensión, en dónde 50 de estos usuarios se simulan como demandas individuales conectadas por un cable preensamblado. Los elementos denominados como línea BT (LBT) corresponden al conductor que vincula el nodo origen con el primer usuario conectado, es decir, que se corresponden con el tramo de conductor que lleva el total de la carga que luego van a ir absorbiendo las diferentes demandas.

Además, se incluyeron elementos nombrados como “Lxx”, en donde “xx” se corresponde con un número entero entre 1 y 150. Si se considera una enumeración consecutiva de los usuarios de los tres tendidos definidos, esto significa, por ejemplo, que la línea “L89” es la porción de conductor que alimenta al usuario n°39 del segundo tramo de 50 demandas definidas para las salidas de 0,4 [kV]. Siguiendo esta lógica, en donde hay tres líneas que alimentan 50 usuarios cada una, la LBT–Helvecia alimenta los usuarios 1 al 50, la LBT – LMT alimenta a los usuarios 51 a 100 y la LBT – CMT alimenta a los usuarios 101 al 150, en la sección Distribución Secundaria – 0,4 [kV] de la Figura 8 se muestra la cargabilidad de las tres líneas en tres de sus puntos: inicial (LH, LMT y CMT), medio (L25, L75 y L125) y cola de línea (L50, L100 y L150).

La Tabla 4, la Figura 8 y Figura 9 muestran de manera general que la cargabilidad promedio del sistema, en ninguno de sus niveles de tensión, supera el 53% de su capacidad máxima. Al margen de que en el nivel de 33 [kV] el transformador N° 3 presente una carga cercana a su máxima capacidad, el bajo promedio general del estado de carga del sistema respecto de sus valores nominales muestra que, en una primera instancia, la red estaría en condiciones de albergar sin ninguna dificultad el incremento de demanda que implica la inclusión de los nuevos URE.

Tabla 4. Resumen cargabilidad de los elementos de la RPA para perfiles de invierno y verano.

	Carga Máxima (%)	Carga Mínima (%)	Carga Media (%)
Transporte	45,30	13,78	26,43
Transmisión	52,48	11,80	29,05
Subtransmisión	96,60	11,92	55,88
Distribución 1^{ria}	59,42	23,96	43,61
Distribución 2^{ria}	49,09	0,96	24,78

Por otro lado, también resulta necesario analizar los valores de tensión que adquieren las barras a lo largo de la red adaptada, principalmente en los nodos de 500 y 132 [kV] porque se corresponden con niveles de tensión que están sujetos a rigurosas imposiciones por parte de CAMMESA, ya que un gran desequilibrio en estos puntos puede implicar serios problemas de operatividad en el resto del sistema eléctrico.

La Tabla 5 se presenta un resumen de los valores obtenidos para el análisis de perfiles de tensión en los nodos que integran la RPA.

Tabla 5. Resumen niveles de tensión en nodos de la RPA para perfiles de invierno y verano

	U Máxima [p.u.]	U Mínima [p.u.]	U Media [p.u.]
Transporte	1,00	0,99	100,1
Transmisión	1,04	1,01	101,7
Subtransmisión	1,09	1,01	104,6
Distribución 1^{ria}	1,03	0,97	99,7
Distribución 2^{ria}	0,95	0,86	90,9

CAMMESA establece en el anexo 16 de Los Procedimientos (CAMMESA, 2011) que en la operación estática del sistema de transporte en EAT en 500 [kV], todos los nodos deben presentar un valor de tensión que se encuentre dentro del rango 0,97 a 1,03 por unidad (p.u.) respecto de la base de 500 [kV]. En línea con lo anterior, la misma reglamentación determina que para el nivel de 132 [kV], la tensión de operación de todas las barras debe estar entre el 0,95 y 1,05 [p.u.] respecto de la base. Del análisis de tensiones máximas y mínimas de la RPA que muestra la Tabla 5 y la Figura 10, se puede asegurar que, en principio, los nodos de transporte y transmisión poseen valores adecuados para una correcta operación del sistema. Se destaca que el valor máximo de tensión en 132 [kV], en el nodo Romang, está cerca de alcanzar el límite superior del rango de operación establecido por CAMMESA en sus procedimientos. Esto resulta una cuestión particular debido a que, en dicha barra, existe una inyección de potencia reactiva para equilibrar parcialmente los valores de tensión en 500 [kV] y 132 [kV], mientras que los otros nodos del mismo nivel de tensión poseen valores mucho más cercanos a 1,00 [p.u.].

Para el nivel de subtransmisión, ocurre algo similar en el nodo RAT_Helvecia, donde se vincula un transformador de potencia de 33/13,2 [kV] y además existe un juego de reguladores de tensión del lado de AT. Esto brinda la posibilidad de aumentar el margen de regulación de potencia reactiva del sistema para hacerle frente a las caídas de tensión que ocurren aguas abajo del equipo y así lograr que el conductor que alimenta a los usuarios residenciales mantenga un perfil de tensión adecuado en cola de línea.

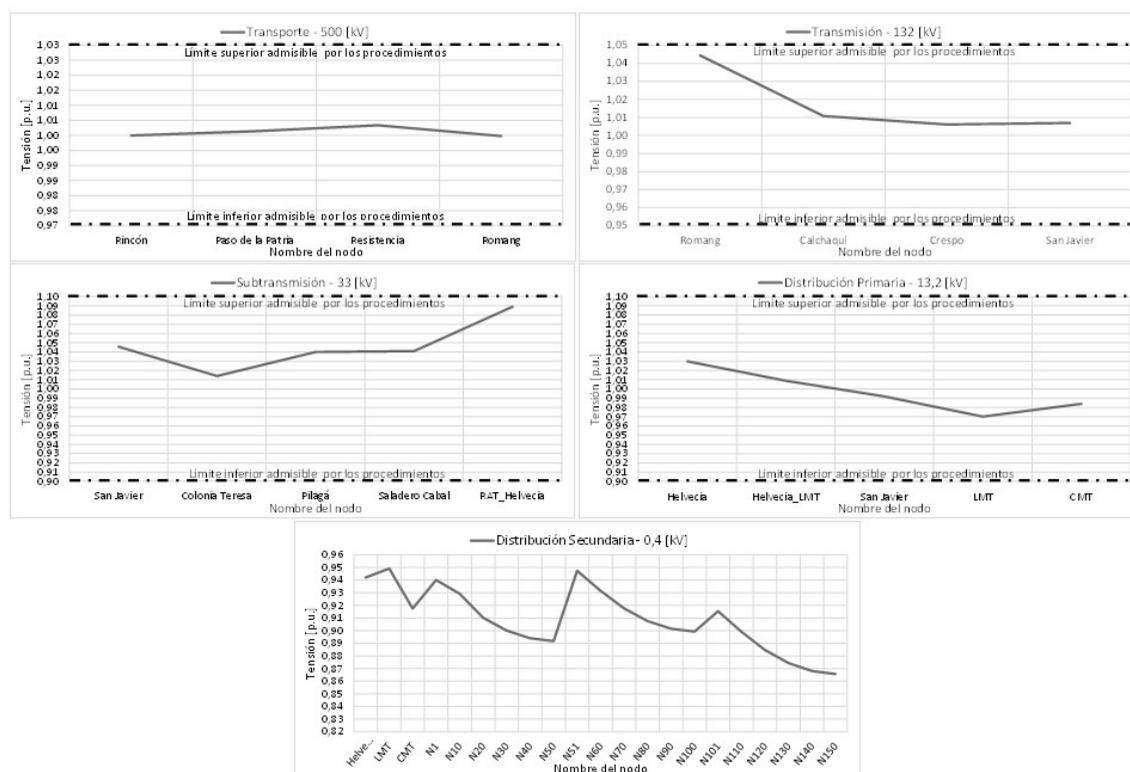


Figura 10. Perfiles de tensión para los nodos de la RPA para escenarios de invierno y verano (Fuente: elaboración propia).

En la Figura 10, bajo el título de Distribución Secundaria - 0,4 [kV], se muestran nodos nombrados con la letra N seguidos de un número entero que puede ir de 1 a 150. Teniendo en cuenta las consideraciones realizadas para la Figura 8, se puede deducir que dicho valor posterior a la letra N, indica un nodo sobre el que está conectado un usuario residencial, por ejemplo, el nodo N60 hace referencia al usuario n°10 alimentado desde la barra LMT en 0,4 [kV].

Escenario Electrointensivo

En la Figura 11 se presenta una comparación del comportamiento de la demanda ante el ingreso de URE a la RPA respecto del caso base (usuarios URC) para los dos escenarios de estudio (verano e invierno).

Del análisis de la Figura 11, se observa el diferente impacto sobre la RPA que tienen los dos comportamientos de consumo planteados, ya que en el perfil invierno se considera el uso de aires acondicionados de manera casi constante durante todo el día, lo que no ocurre para el caso verano. Este comportamiento diferente hace que el pico de demanda se acentúe para ambos casos, sobre todo en el perfil verano, aunque no se advierte un gran cambio en el horario en el que se produce dicho máximo, sino que se acentúan de manera más puntual en el tiempo.

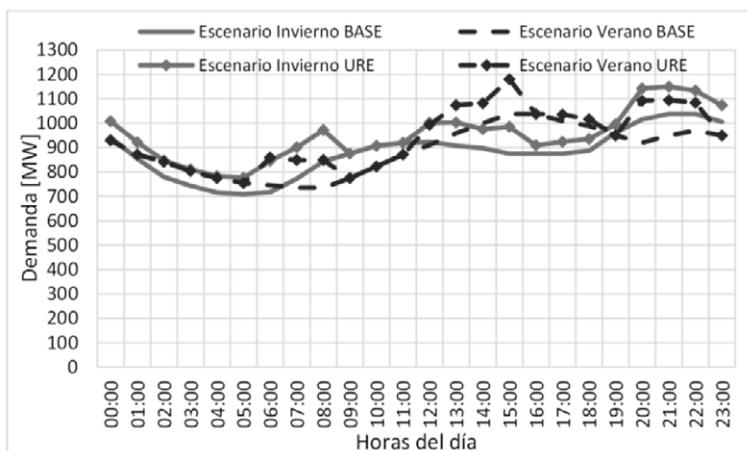


Figura 11. Curva de carga diaria de la RPA según los perfiles de invierno y verano para escenarios con URE (Fuente: elaboración propia).

En la Figura 12 y Figura 13 se presenta la comparación entre los parámetros característicos para ambos escenarios de estudios con la inserción en la RPA de URE.

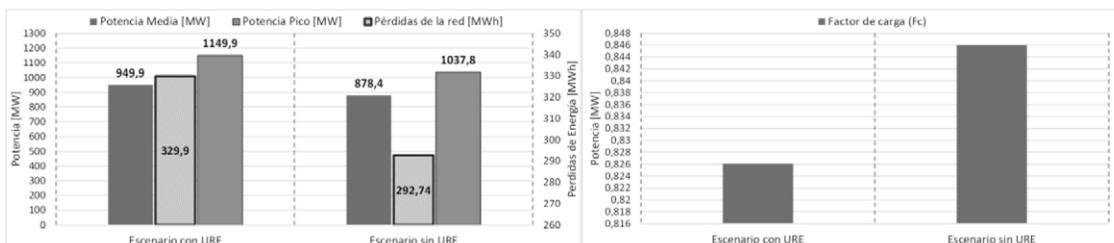


Figura 12. Comparación valores característicos para el escenario de invierno (Fuente: elaboración propia).

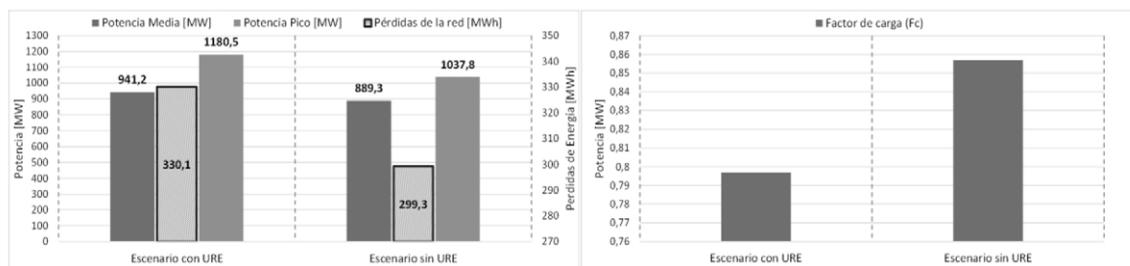


Figura 13. Comparación valores característicos para el escenario de verano
(Fuente: elaboración propia).

Del análisis de la Figura 12, se desprende que la potencia media y las pérdidas de la red para perfil invierno, aumentan un 8,13% y 12,69% respectivamente en el escenario con la inserción de URE a la RPA respecto del caso base, mientras que para el caso verano (ver Figura 13), el aumento es de un 5,84% y 10,3% para cada parámetro, cuestión que se justifica en el hecho de que la diferencia principal entre los escenarios de invierno y verano, es que para la épocas del año donde se presentan las menores temperaturas, se plantea el uso de equipos de aire acondicionado para calefacción de ambientes.

Respecto al pico de demanda, y por la dinámica del comportamiento planteado para los URE, la tasa de variación de este parámetro es levemente mayor en el caso verano que para el invierno (ver Figura 13), y en ambos perfiles se registra en los mismos momentos del día que en el escenario base, con la particularidad que en el escenario electrointensivo, las demandas máximas se acentúan.

La variación del Fc en los escenarios con los URE merece una atención particular ya que a priori, el hecho de que este valor disminuya puede parecer beneficioso, pudiéndose interpretar que la red se descarga en un escenario de mayor demanda, lo cual resulta un absurdo, ya que para ambos escenarios analizados la variación de la demanda máxima resulta mayor que la demanda media, quedando demostrado entonces porque el Fc disminuye en el escenario electrointensivo en comparación con el escenario base. En este sentido, un alto Fc significa que el uso de energía es relativamente constante, mientras que, si el valor es bajo, significa que en determinados períodos se establece una alta demanda (se acentúa la diferencia entre el valor pico y el valor medio de la demanda), lo que coincide totalmente con los valores presentados en la Figura 12 y Figura 13 y si se analiza detenidamente la Figura 11, se puede inferir que el aumento de la demanda electrointensiva se da puntualmente en ciertos momentos del día para el perfil verano, coincidiendo con el uso de electrodomésticos que se utilizan en actividades puntuales durante el día como la cocción de alimentos, aseo personal, el lavado de vajilla, entre otros (uso de cocina, horno y calefón eléctricos), mientras que en el perfil de invierno, el incremento energético no es tan variable a lo largo del día, debido al uso casi constante de los equipos de aire acondicionado para calefacción.

La Figura 14 y Figura 15 se muestra la cargabilidad máxima de líneas y transformadores respectivamente de la RPA para el escenario electrointensivo y su comparación frente al escenario base, ambos para el período estival, dado que el estado de carga de la red es el mayor.

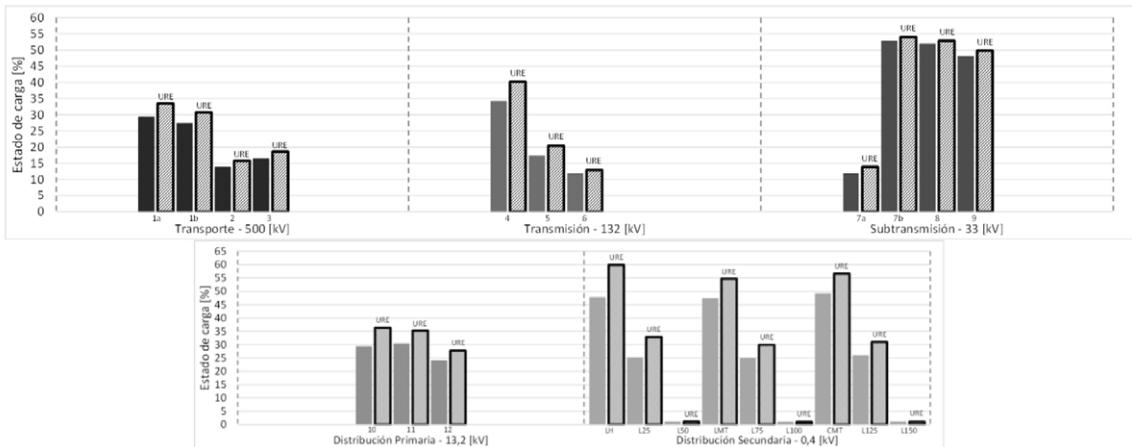


Figura 14. Cargabilidad máxima de líneas de la RPA según perfiles de verano para el escenario electrointensivo y comparación con escenario base (Fuente: elaboración propia).

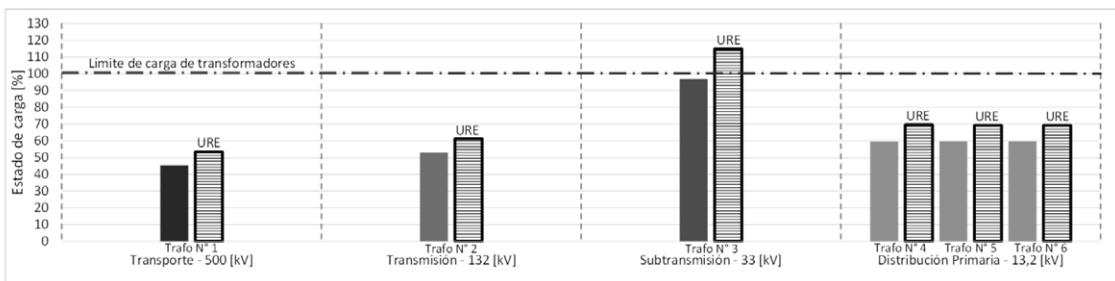


Figura 15. Cargabilidad máxima de transformadores de la RPA según perfiles de verano para el escenario electrointensivo y comparación con escenario base (Fuente: elaboración propia).

Del análisis de la Figura 14 y Figura 15, se puede apreciar que existe un incremento global de la carga del sistema en el escenario electrointensivo respecto del base. Particularmente, el mayor aumento se registra en los transformadores y en el primer tramo de cada una de las líneas y cables de la red, coincidente con la parte del conductor por la que circula siempre la carga máxima del circuito, que luego se va repartiendo hacia las demandas que estén conectadas al mismo, descargando consecuentemente al conductor.

La Tabla 6 muestra un resumen de los parámetros de cargabilidad de la RPA en el escenario electrointensivo para ambos perfiles de demanda y la comparación con el escenario base, por simplicidad en la presentación de los datos solo se muestra la cargabilidad máxima.

Tabla 6. Resumen de la cargabilidad de los elementos de la RPA según perfiles de invierno y verano para el escenario electrointensivo y comparación con escenario base.

	Perfil INVIERNO					
	Carga Máx. URE (%)	Variación URE / BASE	Carga Mín. URE (%)	Variación URE / BASE	Carga Med. URE (%)	Variación URE / BASE
Transporte	51,34	6,04	15,24	1,46	29,16	2,73
Transmisión	58,93	6,45	12,14	0,34	32,27	3,22
Subtransmisión	110,24	13,64	13,44	1,52	55,50	2,90
Distribución 1^{ria}	67,06	7,64	26,66	2,70	49,36	5,75
Distribución 2^{ria}	57,04	7,95	0,98	0,02	28,64	3,87
	Perfil VERANO					
	Carga Máx. URE (%)	Variación URE / BASE	Carga Mín. URE (%)	Variación URE / BASE	Carga Med. URE (%)	Variación URE / BASE
Transporte	53,37	8,07	15,75	1,97	30,39	3,95
Transmisión	61,23	8,75	12,91	1,11	33,69	4,64
Subtransmisión	114,75	18,15	13,88	1,96	56,69	4,83
Distribución 1^{ria}	69,62	10,20	27,72	3,76	51,24	7,63
Distribución 2^{ria}	59,92	10,83	0,97	0,01	29,79	5,02

El estudio muestra que, en promedio, la cargabilidad de los elementos de la red en un escenario con ingreso de usuarios electrointensivos, según el caso planteado, no aumentaría más de un 8%, indistintamente del perfil de demanda. Además, se observa que la cargabilidad promedio de los equipos en todos los niveles de tensión, no excede el 57% para ambos perfiles de estudio, como se puede observar en la Figura 16.

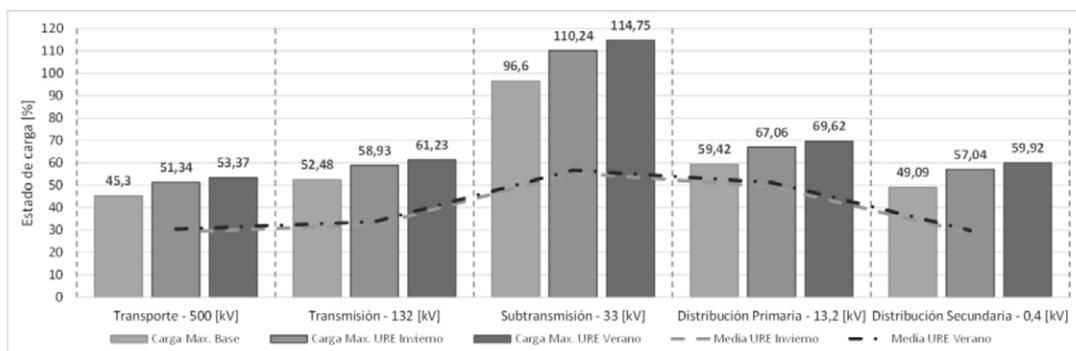


Figura 16. Carga máxima de los escenarios base y electrointensivos para los perfiles de invierno y verano (Fuente: elaboración propia).

Inclusive, si se considera el parámetro de cargabilidad máxima, que hace referencia al elemento que en cada nivel de tensión está sometido a la mayor exigencia, la red estaría trabajando con una carga máxima que varía entre un 60 y 70% de la nominal de sus componentes, lo que significa que el aumento de cargabilidad de la red a causa del ingreso de URE, no tendría efectos perjudiciales sobre la misma e inclusive podría soportar esa potencia adicional sin ningún inconveniente operativo.

Existe una particularidad al analizar el transformador N° 3, que se ubica en Helvecia y que se utiliza como punto de alimentación del nodo de la red de 13,2 [kV] de la ciudad homónima, el cuál aún

en el escenario base se encuentra en un régimen de trabajo cercano a su potencia nominal, valor que aumenta a casi un 15% de sobrecarga para el escenario de verano. Si bien un transformador puede trabajar con sobrecargas y en principio esto no sería un problema de operatividad para la red, si se somete a la máquina a este régimen de trabajo por un período de tiempo prolongado, su vida útil se vería seriamente disminuida. Como opción, se pueden plantear varias alternativas cómo ser un estudio sobre la viabilidad de la instalación de otro transformador similar para que trabajen en paralelo o su reemplazo por uno de mayor potencia, análisis que excede los alcances del presente estudio.

Por otro lado, en la Tabla 7 se presentan los valores de tensiones máximas en los nodos de la RPA para los perfiles invierno y verano para el escenario electrointensivo, y la comparación de dicho parámetros con el escenario base.

Tabla 7. Resumen de los parámetros de tensión de la RPA y comparación con el caso base.

	U Máx. con URE (%)	Variación URE / BASE	U Mín. con URE (%)	Variación URE / BASE	U Media URE (%)	Variación URE / BASE
Transporte	100,00	-0,34	97,45	-2,53	98,61	-1,52
Transmisión	104,29	-0,15	98,79	-1,82	100,85	-0,86
Subtransmisión	105,03	-3,88	101,35	-0,06	103,08	-1,52
Distribución 1^{ría}	99,91	-3,08	94,42	-2,60	97,55	-2,15
Distribución 2^{ría}	94,88	-0,04	80,92	-5,65	87,77	-3,09

Como se puede observar en Figura 17, para ambos perfiles de carga, el ingreso de los URE, no produce caídas de tensión por fuera de los límites impuesto por CAMMESA en ninguno de los nodos, por lo que se puede concluir que la red podría trabajar sin problemas de estabilidad en condiciones de un escenario electrointensivo cómo el propuesto. Por otro lado, se puede observar en Tabla 7 que en el escenario electrointensivo, y para casi todos los niveles de tensión, con excepción de 0,4 [kV], las tensiones nodales en promedio no se desvían más de un 2,5% de su valor nominal, lo que da cuenta de la correcta operatividad del sistema en este escenario para ambos perfiles de estudio.

Una observación importante sobre el análisis de los valores que muestra la Tabla 7, es que el valor mínimo de tensión registrado en 500 [kV] para el perfil de verano, se encuentra muy cercano al límite inferior dispuesto por reglamentación para la operación estática del sistema. Cómo fue señalado, esta condición se da para el perfil verano, el cuál es más exigente en lo que respecta a incorporación de URE al sistema, por lo que se puede concluir que la inserción de demanda electrointensiva según el perfil de verano, potencialmente podría llegar a originar algún tipo de problema operativo en la red, cuestión que con seguridad no ocurriría si el nivel de inserción de usuarios electrointensivos a la red, se realiza en función de las condiciones que impone el perfil de invierno.

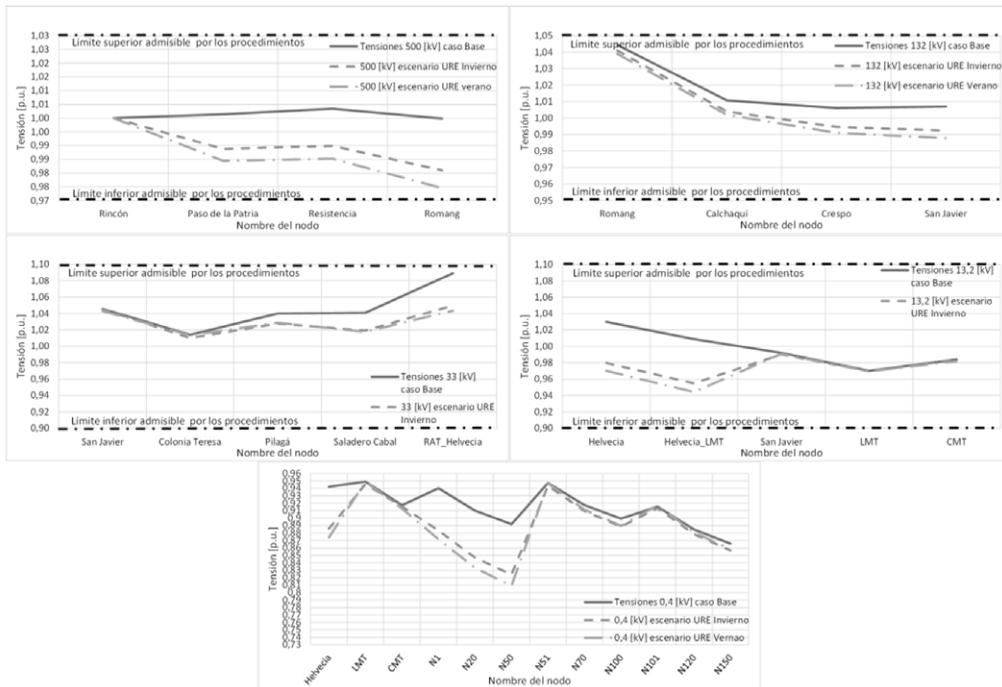


Figura 17. Perfiles de tensión para los diferentes nodos de la RPA según escenarios de invierno y verano con incorporación de URE y comparación con escenario base (Fuente: elaboración propia).

La Figura 18 muestra los valores máximos (gráfica superior), mínimos (gráfica inferior) y límites de operación (líneas de trazos) de los perfiles de tensión en nodos de la RPA en un escenario electrointensivo en comparación con el base.

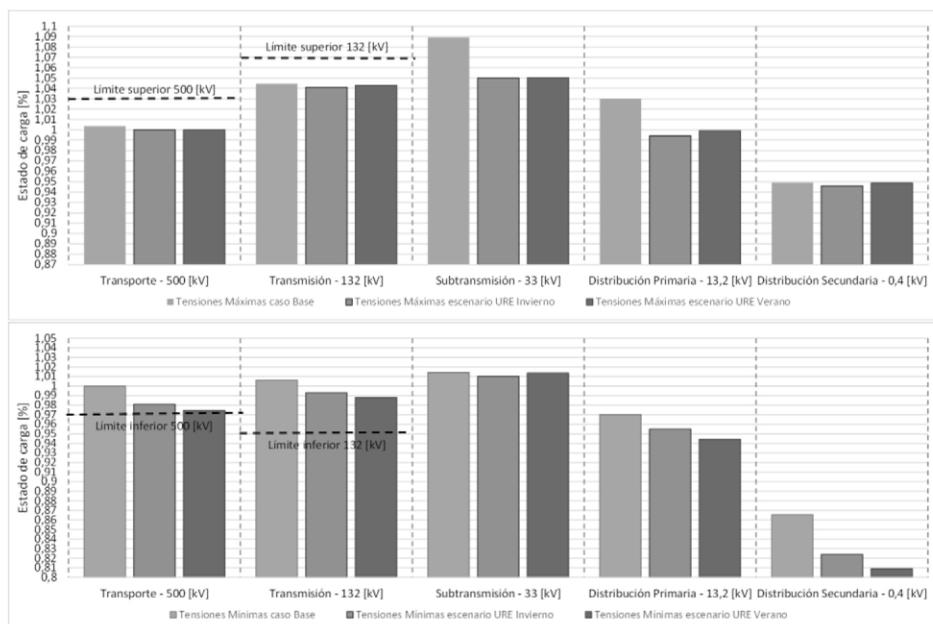


Figura 18. Tensiones máximas y mínimas de los nodos de la RPA para los escenarios de invierno y verano con incorporación de URE y comparación con el escenario base (Fuente: elaboración propia)

CONCLUSIONES

El estudio sobre la RPA arroja que las tensiones en los nodos críticos de la red -500 y 132 [kV]-, aún con el ingreso de los usuarios residenciales electrointensivos y para un escenario de pico de demanda, se mantienen dentro de los rangos estipulados por CAMMESA en sus procedimientos para la operación estática del SADI. Por otro lado, la red exhibe capacidad para transmitir y distribuir los excedentes de energía impuestos por la inserción de los nuevos URE en el subsistema bajo análisis, demostrándose en líneas generales que el estado de carga medio del sistema rondaría el 60% en el escenario electrointensivo.

Finalmente, se concluye, que la metodología de análisis de la red mediante el modelado de un equivalente adaptado de la misma permite simplificar redes muy complejas, como el SADI, facilitando el análisis de cambios importantes en la operación de la misma, como ser, en este caso, la incorporación de usuarios electrointensivos en grandes cantidades en el sistema de potencia.

REFERENCIAS

Comisión Nacional de Energía Atómica [CNEA]. (2017). Regiones del SADI. Vinculaciones del sistema de transporte entre las regiones y potencia instalada a junio de 2017 [Figura]. Boletín Energético 39. 1er Semestre 2017. (Año 2017N° 39). Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Disponible en: http://www.cnea.gov.ar/boletin_energetico.php

Comisión Nacional de Energía Atómica [CNEA]. (2018). Síntesis del Mercado Eléctrico Mayorista de la República Argentina. Diciembre de 2018.

Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico S.A. [CAMMESA]. (2011). Anexo 16: Reglamentaciones del sistema de transporte. Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico S.A. [CAMMESA]. Grandes Usuarios. Disponible en: <https://portalweb.cammesa.com/pages/institucional/grandesUsuarios.aspx>.

Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico S.A. [CAMMESA]. (2019) Esquemas Unifilares y Geográficos de la Red. Disponible en: <https://cammesaweb.cammesa.com/esquemas-unifilares/>.

Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico S.A. [CAMMESA]. (2019). Informe anual 2018. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Disponible en: <http://portalweb.cammesa.com/memnet1/Pages/descargas.aspx>

Compañía de Transporte de Energía Eléctrica en Alta Tensión Transener S.A. [Transener]. Perfil de la Compañía. Disponible en: <https://www.transener.com.ar/nosotros/> (26/05/2021).

Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico S.A. [CAMMESA]. Transportistas. Principios Básicos. Disponible en: <https://portalweb.cammesa.com/pages/institucional/agentes/transportistas.aspx> (26/05/2021).

Sistema Argentino de Interconexión [SADI] (2020). Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/>

Sistema_Argentino_de_Interconexión (17/05/2021).

Manassero U., Gras R, Marelli P., López D., Fernández J. (2020). Estudio Técnico-Económico de Operación del Sistema Argentino de Interconexión para el Caso de Reemplazo de Gas Natural por Electricidad en Equipos de Cocción y Calefacción a Nivel Residencial. Rumbos Tecnológicos volumen 12 (noviembre 2020), pag.159-178.

Mercado Eléctrico Mayorista [MEM]. Pampa Energía (2020). Disponible en:<https://ri.pampaenergia.com/faq/mercado-electrico-mayorista/> (17/05/2021).

Vignolo J.M.y Piria A.(2004). Metodología para la determinación de la red adaptada de distribución de baja tensión. Año 2004.

ARTÍCULOS DE DIFUSIÓN

LOS CONTRATOS VIALES DE PARTICIPACION PÚBLICO-PRIVADA EN ARGENTINA. ANÁLISIS CRÍTICO DEL MODELO Y DE SU IMPLEMENTACIÓN. COMPARATIVA CON OTROS PAÍSES DE LA REGIÓN Y CON ESPAÑA

Recibido: 17 de Mayo, 2021 • Aceptado: 8 de Agosto, 2021

Autor:

Hugo Daniel Bianchetto^{*1}

¹ Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Avellaneda. Av. Ramón Falcón 5050, (B1874ABY) Villa Domínico, Avellaneda, Prov. Buenos Aires, Argentina

Contacto:

**Autor a quien la correspondencia debe ser dirigida: hbianchetto@fra.utn.edu.ar*

Rol autoral:

Conceptualización; Curaduría de datos; Investigación; Administración del Proyecto; Recursos; Supervisión; Validación; Visualización; Redacción – borrador original y Escritura, Revisión y Edición.

Cómo citar este artículo:

Bianchetto, H.D. Los contratos viales de participación público-privada en Argentina. Análisis crítico del modelo y de su implementación. Comparativa con otros países de la región y con España. Revista *Rumbos Tecnológicos*, Volumen 13, 2021, pp. 193-212. Secretaria de Ciencia, Tecnología y Posgrado, Facultad Regional Avellaneda, Universidad Tecnológica Nacional. <http://rumbostecnicos.utnfrainvestigacionyposgrado.com/tipo-de-articulo/articulo-de-difusion/los-contratos-viales-de-participacion-publico-privada-en-argentina-analisis-critico-del-modelo-y-de-su-implementacion-comparativa-con-otros-paises-de-la-region>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

RESUMEN

Los contratos de Participación Público Privada (PPP) para proyectos de infraestructura son compromisos celebrados entre el Estado y empresas contratistas con el objeto de ejecutar las actividades necesarias para materializar, mantener y gestionar obras. En este modelo existe una distribución de riesgos, ya que la adjudicataria es responsable de una parte significativa del financiamiento, asociándose con entidades bancarias y recibiendo del Estado un repago a largo plazo.

En este artículo se ofrece una síntesis de los resultados del intento de implementar este tipo de contratación en Argentina entre los años 2018-2019, de los inconvenientes ocurridos a poco de comenzar su aplicación, de su fracaso final y de la situación actual.

Se presenta, además, el escenario de los sistemas PPP en Latinoamérica y España, además de ilustrarse la realidad en el Reino Unido, que es donde se originó este modelo.

Se comparan los resultados obtenidos en cada caso y se hace hincapié en las particularidades de nuestro país, con sus característicos vaivenes socio-político-económicos, a fin de analizar las causas de las dificultades que presentó aquí el sistema de PPP en el pasado reciente y las posibilidades de empleo a futuro.

Palabras Claves: Contratos de Participación Público Privada (PPP); Obras viales; Financiamiento; Gestión de infraestructuras

ABSTRACT

Public-Private Partnership (PPP) contracts for infrastructure projects are commitments between the State and contractor companies in order to execute the necessary activities to materialize, maintain and manage works. In this model there is a distribution of risks, where the winning bidder is responsible for a significant part of the financing, partnering with banks and receiving a long-term repayment from the State.

This article offers a synthesis of the results from the attempt to implement this type of contracting in Argentina between the years 2018-2019, of the drawbacks that occurred shortly after starting its implementation, of its final failure and of the current situation.

It also presents the scenario of PPP systems in Latin America and Spain, in addition to illustrating the reality in the United Kingdom, which is where this model originated.

The results obtained in both cases are compared and emphasis placed on the particularities of our country, characterized by its socio-political-economic ups and downs, in order to analyze the causes of the difficulties that the PPP system presented here in the recent past and the possibilities of future employment.

Key-words: Public Private Partnership contracts (PPP); Road projects; Financing; Infrastructure management

INTRODUCCION

Un contrato de Participación Público Privada (PPP) es un tipo de compromiso entre el Estado y contratistas privados, donde la empresa adjudicataria de un proyecto adelanta los fondos para la obra (construcción, salud, etc.) y se asegura el repago del Estado a largo plazo, cobrando por la obra y por el servicio que brinda (como los peajes en las autopistas), con la propia obra como garantía. A su vez, los contratistas reciben el financiamiento para las obras de los bancos de inversión, que cobran cuotas y comisiones, a tasas de 2 a 4 por ciento más altas que las que paga el Estado. Como apunta el propio FMI, los PPP permiten tomar deuda pública sin que sea contabilizada como tal en los balances (Einstoss Tinto, 2018).

En noviembre de 2016 se sancionó en Argentina una ley que establecía un nuevo régimen de contratos de Participación Público Privada, con su correspondiente decreto reglamentario.

A pesar de algunos conocidos fracasos de los PPP a nivel internacional, el poder político gobernante de entonces lanzó los primeros contratos presentados para financiar seis corredores viales. Esta modalidad conformaba el discurso propio de política exterior y de negocios para empresarios cercano al núcleo presidencial.

Con estos conceptos, el gobierno argentino encaró entonces un sistema de inversión PPP a gran escala, la “Red de Autopistas y Rutas Seguras”.

“Los proyectos de Participación Público Privada permiten empezar a saldar la deuda de infraestructura que tenemos los argentinos sin dejar de cumplir con las metas fiscales. Es la forma más barata, segura, eficaz y transparente de desarrollar la infraestructura que necesitamos para crear empleo y ser competitivos. Logramos generar las condiciones para que los inversores se sientan atraídos. La apertura de los sobres de la licitación de la red de autopistas y rutas seguras concreta este modelo” (Luis Caputo, ex- ministro de Finanzas de La Nación, abril de 2018),(Diario La Voz, 24/04/2018).

El esquema adoptado para los contratos PPP viales, a modo de diagrama de flujo, se muestra en la Figura 1. Se pueden ver las fuentes de ingreso, diferenciándose las contraprestaciones por uso, una serie de títulos públicos emitidos por el “Fideicomiso PPP” a modo de contraprestación pública y el aporte de las entidades financiadoras asociadas a la contratista; y los “egresos”, que son las obligaciones de la contratista en lo relativo a obras principales, mantenimiento, operación, obras complementarias y repavimentaciones en las rutas. El circuito se cierra con el rol del Ente Contratante (Dirección Nacional de Vialidad, DNV), en cuanto “dueño” de las rutas a intervenir y garante principal del Plan, y con algunos otros recursos accesorios para el financiamiento (Vialidad Nacional, 2016).

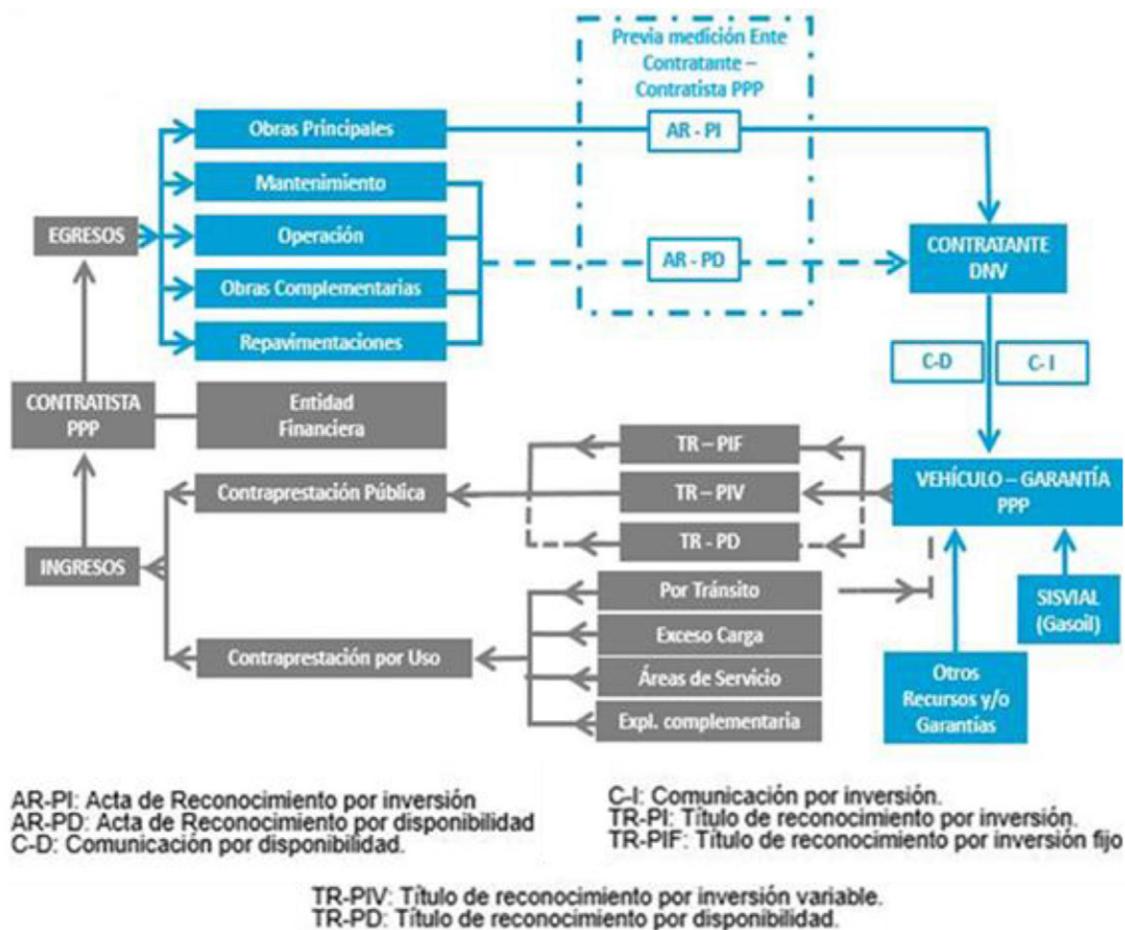


Figura 1. Esquema de los contratos PPP (Vialidad Nacional, 2016)

En la Figura 2 se recoge una forma de valorar los riesgos del escenario país de un determinado proyecto de colaboración público-privada (López Corral, 2010). Los aspectos considerados incluyen la estabilidad y seguridad institucional y jurídica nacional, la capacidad micro y macro económica, el marco regulatorio existente, la calidad de la preparación de los proyectos, el respaldo político para el Plan, la capacidad de la administración para llevarlo adelante, la calidad y experticia de los actores locales y el riesgo reputacional del inversor. La valoración dada a cada uno de los ocho tópicos tenidos en cuenta oscila de 1 a 10 y se considera adecuada cuando alcanza una nota de 7 o superior; de tal forma, es de esperar que el inversor no tomase una decisión favorable si la puntuación total no supera la cifra de 56 puntos.

El gráfico muestra un caso, con un análisis de un proyecto de muy alta calificación situado en España.



Figura 2. Diagnóstico de situación del “escenario país” para toma de decisiones ante un determinado caso de PPP (López Corral, 2010).

LOS PPP EN ARGENTINA

Lanzamiento del plan

El plan de Red de Autopistas y Rutas Seguras, bajo la modalidad de PPP, que lanzó el Gobierno que gestionó el Estado entre 2015 y 2019, tenía en principio como objetivo la mejora de las rutas nacionales mediante la modernización de más de 7.000 kilómetros con una inversión calculada superior a los 16.700 millones de dólares.

El concepto de “Rutas Seguras” consiste en carreteras con banquetas pavimentadas; carriles anchos; obras para evitar cruces por localidades; cruces a diferente nivel con rutas importantes y ferrocarriles; y circunvalaciones, entre otras, que constituirían un gran avance en la infraestructura y seguridad vial del país, con proyección de disminuir significativamente el número de siniestros viales.

Desde el Ministerio de Transporte, en ese momento conducido por el Lic. en Economía Guillermo Dietrich, se explicó que las licitaciones se dividirían en tres etapas. El llamado a licitación para las obras y comienzo de la primera etapa, para los corredores A y E, tuvo lugar en enero de 2018, con gran cantidad de empresas viales interesadas; las evaluaciones de las ofertas para esa primera fase del proyecto se realizaron en marzo, previendo los comienzos de las obras para la mitad de ese año. Además, desde la gestión gubernamental se destacó que la nueva modalidad generaba incentivos para que las empresas finalicen las obras en el menor tiempo posible dado que el sistema le reconoce a la empresa contratista su eficacia y rapidez.

Los Corredores incluidos en la Etapa I del Plan fueron los denominados A, B, C, E, F y Sur (Figura 3).



Figura 3. Corredores incluidos en la Etapa I de la PPP

Corredor A: construcción de 116 kilómetros de autopista entre Las Flores y Azul, en la Provincia de Buenos Aires, además de la conversión a ruta segura de 270 kilómetros desde Azul hasta Coronel Dorrego, ambos en la Ruta Nacional 3. Entre Azul y Olavarría, adecuación de la RN226 en semi autopista y conversión en ruta segura de 174 kilómetros desde Balcarce hasta Azul.

Corredor B: Ruta Nacional 5. Construcción de 113 kilómetros de autopista entre Mercedes y Bragado, en la Provincia de Buenos Aires, y 31 kilómetros entre Santa Rosa y Anguil, en la Provincia de La Pampa, más conversión a ruta segura de los 372 kilómetros desde esta localidad hasta Bragado.

Corredor C: construcción de dos variantes en la RN7, una de seis kilómetros en la localidad de Desaguadero (Provincia de San Luis) y otra de 23 kilómetros en La Picasa (Provincia de Santa Fe); 421 kilómetros de ruta segura desde Junín (Provincia de Buenos Aires) hasta el límite con San Luis, y desde Luján de Cuyo a Potrerillos, en la Provincia de Mendoza. Y en la RN33, desde Gral. Villegas (Provincia de Buenos Aires) hasta Rufino (Provincia de Santa Fe), conversión en ruta segura a lo largo de 102 kilómetros.

Corredor E: construcción de una autopista sobre la RN-A012, un tercer carril en la RN9 y una variante en la RN11, a la altura de los puertos de Timbúes y San Martín, abarcando las Provincias de Santa Fe y Buenos Aires. Además, intervención de los accesos a los puertos de Rosario, San Nicolás y Zárate.

Corredor F: construcción de 161 kilómetros de autopista en la RN33 entre Rufino y Rosario, reparación de losas a lo largo de 36 kilómetros de la autopista Rosario-Córdoba y la construcción de 77 kilómetros de autopista en la RN9, entre Córdoba y Villa del Totoral, en las Provincias de Córdoba y Santa Fe.

Corredor Sur: 76 kilómetros de autopista sobre la RN3 entre San Miguel del Monte y Las Flores; 43 kilómetros entre Cañuelas y Lobos y 36 kilómetros de Lobos a Roque Pérez, sobre la RN205, Provincia de Buenos Aires.

El plan de obras para estos corredores estimaba una intervención en más de 2.500 km a través de la construcción de nuevas autopistas, rutas seguras y obras especiales, así como 17 variantes de travesía y conexión de distintas localidades.

“La modernización de la infraestructura vial es fundamental para el desarrollo de nuestro país. Esta es una apuesta muy grande que estamos haciendo. Hace décadas que en Argentina no hay obras de esta magnitud. El mecanismo de participación público privada da mucha previsibilidad y este es el momento para invertir, para apostar por Argentina” (Guillermo Dietrich, ex- ministro de Transporte de la Nación, enero de 2018) (Portal ABC Hoy, 06/01/2018).

Licitaciones

En Abril de 2018 se dieron a conocer los sobres de la licitación para los primeros proyectos bajo el sistema PPP. Se presentaron 10 consorcios con 32 ofertas, para obras con una inversión estimada de US\$ 6.035 millones en 6 corredores concesionados por 15 años. Los 10 consorcios fueron formados por 13 empresas nacionales y 7 internacionales.

El ministro Dietrich, en julio de 2018, encabezó el acto en el que se firmaron los primeros dos de los seis contratos de concesión para los corredores viales licitados en el marco de la Etapa I de proyectos viales enmarcados en los PPP. Participaron Patricia Gutiérrez, administradora general de Vialidad Nacional; José Luis Morea, secretario de Participación Público Privada del Ministerio de Hacienda; y representantes de las empresas involucradas.

“Es un día histórico para la obra pública de nuestro país. Firmamos los primeros contratos de Participación Público Privada para transformar las rutas argentinas y que dejen de ser rutas de la muerte. Es un cambio profundo en la manera de hacer obra pública; a largo plazo, con transparencia y planificación, conceptos que no se asociaban a la política” (G. Dietrich) (Gobierno Argentino, 20/07/2018).

El Corredor Vial A quedó a cargo del consorcio integrado por las empresas Paolini, Vial Agro e INC, ocupándose de 706 km de rutas nacionales en Buenos Aires: desde Las Flores a Coronel Dorrego (RN 3) y desde Olavarría a Mar del Plata (RN 226).

El Corredor Vial C quedó a cargo de la empresa José Cartellone Construcciones Civiles, administrando 778 km de la ruta nacional 7 en Buenos Aires, Santa Fe, Córdoba y Mendoza.

Los principales proyectos que estaban previstos ejecutarse en los siguientes cuatro años eran la transformación en autopista de la travesía urbana de Junín (Buenos Aires), la variante a Desagadero (límite Mendoza- San Luis) y la ruta segura Junín-Límite Córdoba- San Luis, continuando los más de 200 km de autopista sobre la RN 7.

Autopista a Azul (RN 3)

En febrero de 2019 comenzó la construcción de la “variante Cañuelas”. La obra, de casi 10 kilómetros, bordea la ciudad de Cañuelas con el fin de brindar una conexión fluida y directa para el tránsito que circula hacia o desde la ciudad de Buenos Aires.

Debido a la falta de una variante, el ingreso a la ciudad por momentos se lentifica a 20 kilómetros por hora, y se proyectaba con esta nueva obra, que estimaba hasta una velocidad máxima de 130 km/h, una circulación en forma más segura y ya sin demoras. Además, permitiría el cruce sobre nivel de las vías ferroviarias, en lugar de recurrir a la rotonda ubicada a la altura de la ex fábrica Finaco, conocida localmente como “El Castillo”.

Con una inversión total de 1770 millones de dólares, la obra fue considerada una gran apuesta

ya que la misma tendría un rol preponderante en la red vial bonaerense. Por su importancia industrial y turística, su impacto socio-económico sería muy fuerte pues constituye la principal vía de comunicación hacia el AMBA desde el centro y sur de la provincia.

El plazo de ejecución del tramo fue estimado en 2 años, lo que representaba el puntapié inicial de la construcción de la Autopista RN 3 Cañuelas-Azul, prevista en 4 años, obras que forman parte del plan vial del Corredor Sur y que constan de una extensión de 297 km de las autopistas Riccheri, Jorge Newbery, Ezeiza-Cañuelas y las RN 3 y 205. Incluirían la construcción de un tercer y cuarto carril en las autopistas Jorge Newbery y Riccheri, respectivamente, la transformación en autopista del tramo Cañuelas-Las Flores (RN 3) y de Cañuelas-Roque Pérez (RN 205), y la ruta segura Roque Pérez-Saladillo.

“El comienzo de una obra tan importante y esperada es una prueba de cómo el sector público y el privado pueden trabajar conjuntamente para brindar soluciones a la gente. Estamos construyendo las bases para que el país avance, se desarrolle y los argentinos tengan verdaderas oportunidades de crecimiento” (Patricia Gutiérrez, ex-administradora general de Vialidad Nacional, febrero de 2019) (Portal “Chillar”, 02/02/2019).

El proyecto fue puesto en marcha y comenzado a desarrollar por Ausur SA, empresa a cargo de la administración de este corredor.

Las rutas del Corredor Sur son conocidas por tener un gran caudal de circulación de vehículos pesados, en especial de camiones transportando agregados pétreos, cal y cemento en dirección a la ciudad de Buenos Aires y las ciudades que integran el Gran Buenos Aires, como así también granos a los puertos de Rosario o de Bahía Blanca (Portal Info Cañuelas, 22/02/2019).

“Freezando” del Plan

Más allá del comienzo de la “Variante Cañuelas”, desde finales de 2018 el gobierno comenzó el congelamiento de los proyectos de infraestructura, impulsados bajo el esquema de Participación Pública Privada, debido al fuerte aumento del riesgo-país.

La medida fue anunciada por Gustavo Lopetegui (asesor del presidente Mauricio Macri), tras reunirse con los ministros Nicolás Dujovne y Guillermo Dietrich, impulsor de los PPP, para comunicarle el cambio al argumentar que *“no hay confianza en el país para seguir con dicha modalidad”* porque *“no tiene sentido atraer inversores con la tasa actual (SIC)”* (de Sousa, 2018), a pesar que tras el ajuste acordado con el FMI, los contratos PPP eran considerados una alternativa para las obras públicas, en particular para los corredores viales.

En diciembre de 2018, el ministro Dietrich anunció que los contratistas utilizarían la primera prórroga trimestral del plazo y el gobierno recortaría a la mitad el monto de compromisos de financiación que debían conseguir.

Pero aun así no aparecieron los inversores dispuestos a otorgarle préstamos a las empresas del país. Por eso, el Poder Ejecutivo decidió suspender todos los proyectos de infraestructura vial, energética, educativa y ferroviaria que pretendía financiar a través del régimen (Portal “Petrol-News”, 21/12/2018).

Se intentó rescatar el programa mediante la creación de un fideicomiso, que quedó aprobado en el Presupuesto del año 2019, suponiendo que los bancos otorgarían el dinero a dicho fondo y éste a su vez brindaría créditos a las empresas.

Como última medida, se les comunicó a las empresas que tenían a cargo los contratos de los PPP viales que se habilitaba una nueva prórroga por 90 días de todos los plazos y obligaciones de

los contratos de Participación Público-Privada.

Pudieron licitarse y otorgarse 6 corredores viales a través del Ministerio de Transporte, pero aquellas empresas constructoras que ya habían ganado la licitación tuvieron problemas a mediados de ese año para conseguir garantías, luego de la suba acrecentada del dólar, además de dificultades para obtener créditos a tasas razonables.

El valor agregado de estos contratos realizados en dólares, tanto para el costo del financiamiento como para la ejecución propia de las obras, constituía una política que podía perjudicar la administración de las divisas de la Nación, debilitando las reservas del Banco Central. El monto total, en resumen, era bastante más elevado, ya que incluía el costo del financiamiento a 10 años de plazo, entre US\$ 10.000 y US\$ 13.000 millones dependiendo del nivel del riesgo país y del contexto económico regional e internacional.

Los contratos incluían, además, la concesión gratuita de la explotación de las áreas comerciales, como por ejemplo estaciones de servicio para venta de combustibles y alimentos. De esta manera, los contratistas estuvieron recibiendo los beneficios, producto de las concesiones, desde agosto de 2018.

Situación actual de los PPP viales en Argentina

Durante 2020, ya con cambio de gestión en el gobierno, se empezó a considerar dar de baja las concesiones y rescindir los contratos, revisando el proceso de adjudicación y el financiamiento que comprometieron las empresas adjudicatarias.

En estos contratos se especifica que si las adjudicatarias de los contratos PPP no cumplen con estos requerimientos regulados por el monto de cada obra, puede ser justificable la extinción del compromiso.

Luego de haberse demorado en las acciones, en parte debido al contexto pandémico, la gestión de Gabriel Katopodis (actual ministro de Obras Publicas) aceleró el proceso de extinción de los contratos, que comenzó en mayo de 2020, con la intimación a las empresas concesionarias de seis corredores viales. Finalmente, se llegó a un acuerdo con la contratista de PPP conformada por Helpport, Panedile, Eleprint y Copasa (España), a cargo de los corredores E y F.

El total de las garantías adeudadas asciende a 570 millones de dólares. Las empresas expresaron que aceptan la baja de los contratos PPP a cambio de un resarcimiento de 20 millones de dólares para cada una por los costos financieros afrontados con los bancos desde 2018.

Según Katopodis, *“el esquema público-privado que impuso el macrismo fue un fracaso y era ruinoso para el Estado”*. Además, puntualizó que *“el costo de las obras iba a ser el triple del que correspondía”* y que además *“esos contratos en dólares representaban un gigantesco negocio para unos pocos”* (Portal “Carreteras Pan Americanas”, 28/09/2020).

El actual Gobierno consideró que hubo *“irregularidades e incumplimientos”*. Por eso, el 27 de mayo de 2020 intimó a los operadores de los seis corredores viales a cumplir con el incremento de las garantías bajo apercibimiento de extinción de los contratos. El 31 de agosto se les otorgó la posibilidad de rescindir los contratos de común acuerdo hasta el 30 de noviembre (López, 2020).

Como corolario del fracaso, las obras de fondo principales actualmente están neutralizadas, sin avance alguno, y las empresas no han podido conseguir el financiamiento para construir las autopistas. Se construyó un total promedio del 2% de las obras, luego de más de tres años desde el lanzamiento del plan.

EL CONTEXTO INTERNACIONAL CERCANO. LATINOAMÉRICA y ESPAÑA

Dentro de la experiencia internacional de desarrollo bajo el esquema de PPP en América Latina se puede destacar lo realizado a partir de la década de los noventa del pasado siglo por Chile, Perú, Uruguay y Colombia en América del Sur y por México en América del Norte, en sectores clave como vialidad, energía, agua y saneamiento, entre otros, que representaron una de las mayores innovaciones en el sector en los últimos años.

De igual modo, en España también se ha implementado el sistema.

En este contexto, se han podido evaluar resultados disímiles del régimen, con algunos beneficios pero también con evidencias de fallas e incluso con fracasos notorios que han obligado a serios replanteos acerca de su eficacia.

Chile y su experiencia positiva

Chile ha sido uno de los países más estables política y económicamente en la región, e incluso es miembro de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos de la OCDE, lo que le permite un buen acceso a la financiación.

En este marco, el Estado chileno ha sido pionero en el desarrollo de herramientas de apoyo para el financiamiento de las obras concesionadas.

Los programas de concesión de carreteras por peaje al sector privado comenzaron hace unos treinta años. Hasta entonces, todas las carreteras eran de propiedad y operación pública. Cuando se concibió el programa de concesiones, la red de carreteras de Chile consistía en solo 12.500 km de carreteras pavimentadas. Según el Banco Mundial, el país emprendió proyectos importantes para mejorar 2.000km de autopistas con una inversión total de 3 mil millones de dólares. Sin embargo y a pesar de lo antedicho, solo el 24% de los más de 80.000 kilómetros de carreteras de Chile (unos 20 mil kilómetros) están pavimentados actualmente.

La Ley de Concesión de Obras Públicas del país se aprobó en 1991, permitiendo concesiones para la mayoría de las obras del Ministerio de Obras Públicas (MOP), incluyendo autopistas, aeropuertos y puertos. En los últimos años, el Fondo de Infraestructura, cuya ley se promulgó en el primer trimestre de 2018 y tiene como propósito fomentar la implementación de obras de infraestructura a través la creación de una empresa pública, autónoma, con un gobierno corporativo moderno y patrimonio propio, ha promovido una serie de obras (PPP KnowledgeLab. (2020). TheWorld Bank Group. “El marco de las APP de Chile”). Entre los proyectos en curso se destacan aquellos en la Autopista del Sol, que incluyen un tercer carril entre Santiago y Talagante, un acceso alternativo a Peñaflor, mejoras al enlace Talagante y un centro de control; otro proyecto involucra un tercer carril para la Ruta 5 Sur, desde Peuco hasta el by-passa Rancagua (Portal “Carreteras Panamericanas”, 2019; Albornoz Salazar, 2019). También continúa actualizando la infraestructura de peaje en su sección de la Carretera Panamericana, que en Chile es la Ruta 5.

Una filial de la compañía austriaca KapschTraffic confirmó el contrato para proporcionar un régimen de peaje y un Sistema de Transporte Inteligente para los primeros 15km del Tramo de la Ruta 5 Norte, justo al norte de la capital Santiago, que es operado por la Sociedad Concesionaria Autopista del Aconcagua (SCADA).

Entre los proyectos de colaboración público-privada actuales que se licitan se encuentran la Ruta R20 desde Nogales a Puchuncavi.

Gracias a esta modalidad, Chile ha tenido la oportunidad de materializar trascendentales obras y de proyectar una estrategia de integración territorial y de conexión internacional que ha permitido

transformar sus centros urbanos.

Uruguay: luces y sombras del sistema PPP

En Uruguay se comenzó a implementar el modelo de PPP a partir de la aprobación de la Ley 18786/2011, en 2012, que permite que se efectúen contratos con esta modalidad en las áreas de infraestructura (obras viales, portuarias, aeroportuarias y ferroviarias); centros penitenciarios, educativos y de salud; vivienda social; infraestructura energética y tratamiento de residuos.

A pesar de las buenas expectativas que se formaron en torno a la aprobación de la normativa, lo cierto es que el arranque del modelo en el país tuvo un ritmo inferior a lo esperado. En 2017 solo se habían realizado dos proyectos: el primero fue un Centro Penitenciario cuyo contrato para su construcción y gestión se firmó recién en 2015; el otro proyecto vía PPP firmado consideró la premisa de los Corredores Viales, de diseño, construcción, operación y financiamiento de la infraestructura vial, con el siguiente plan:

Corredor Vial 1: Rutas N° 12, 54, 55, 57 y bypass de la ciudad de Carmelo (260 km).

Corredor Vial 2: Rutas N° 9, 15 y conexión R9 - R15 (192 km).

Corredor Vial 3: Ruta N° 14 Centro-Oeste, bypass Sarandí del Yí y conexión R14-R3 (292 km).

Corredor Vial 5: Ruta N° 14 tramo Sarandí del Yí – Lascano y Ruta N° 15 tramo Lascano - Velázquez (191 km).

Corredor Vial 6: Ruta N° 6 tramo Cuchilla Grande– Ruta 12 (71 km).

Corredor Vial 7: Ruta N°3 tramo Ruta N°1 – Ruta N°11 y Ruta 11 *bypass* a la ciudad de San José de Mayo (32 km).

Corredor Vial Rutas 21 y 24: Ruta N° 21, tramo: Nueva Palmira – Ruta N° 2, y Ruta N° 24, tramo: Ruta N° 2 – Ruta N° 3 (179 km).

Se implementó la creación de un fideicomiso financiero (CAF I) por parte de CAF-AM con un valor de USD 350 millones. El Fondo de Deuda para Infraestructura en Uruguay fue impulsado a fines de 2016 por la Bolsa Electrónica de Valores S.A. (BEVSA) y la Bolsa de Valores de Montevideo.

Actualmente, el gobierno está promocionando los contratos CReMa (Contratos de Rehabilitación y Mantenimiento) para intentar amortiguar las falencias de los PPP. Los contratos CReMa con privados se prevén emplear en la ampliación de doble vías, como por ejemplo en la ruta 8 hasta el cruce con ruta 9 y desde allí hacia la zona de paraje Los Cardos en Maldonado. También se plantea la misma modalidad para el acceso y puente de La Charqueada (en Treinta y Tres), en la duplicación de ruta 1 entre el kilómetro 149 y 177 en Colonia, y en la duplicación de la ruta 5 de Canelones a Florida y de Florida a Durazno. Estos contratos implican dos años de obra y pago a 10 años al privado.

El gobierno dejó entrever que el esquema de PPP no debería continuar en el futuro porque ha resultado muy costoso, debido a la inexperiencia y a las exigencias excesivas en los contratos.

El plan de obras viales para el período 2020-2024 presentado en el Presupuesto por el Poder Ejecutivo significa inversiones por unos US\$ 2.457 millones, incluyendo las obras por PPP programadas en el período anterior de gobierno. La estructura del plan se compone de US\$ 325 millones para la Dirección Nacional de Vialidad (DNV), US\$ 1.392 millones para la Corporación Vial del Uruguay (CVU), US\$ 71, 7 millones entre puentes, carreteras y accesos a la futura planta de celulosa de UPM, y US\$ 129,6 millones en las concesiones a privados (ruta 5 y ruta 8). A esto se suman las obras por PPP por US\$ 539 millones en el centro y sur del país.

En la actualidad hay un solo corredor finalizado en lo que a obras refiere (rutas 21 y 24, Nueva Palmira) y dos en construcción (rutas 12, 54, 55, 57; y 14). Otros cuatro corredores por distintas causas (burocráticas en su gran mayoría) aún no han podido ser firmados. Se trata de circuitos ubicados en distintos tramos de las rutas 9, 15, 6 y 3. La intención de las autoridades es concretar todos los PPP que ya estaban previstos, pero aparentemente no se utilizará esta opción para nuevos contratos viales (Portal “El Observador”, 2020).

En febrero de 2021 se anunció el comienzo de las obras del Corredor Vial 7 (Boletín “Haciendo Caminos, 2021).

Perú, permanencia y avances de los PPP e incertidumbres planteadas por el COVID-19

A inicios de la década de 1990, el Estado peruano emprendió un proceso de promoción de la inversión privada con la finalidad de transferir al sector privado la conducción de sectores económicos que estuvieron en manos del Estado por más de veinte años. Este proceso se efectuó dentro del marco de la política de estabilidad de la economía y liberalización de los mercados. Los proyectos PPP en el Perú se desarrollaron como parte del relanzado proceso de promoción de la inversión privada, cuando se fue agotando el modelo de venta de activos públicos a mediados de la década de 1990. La introducción de los PPP fue a través de la modalidad de concesiones en 1994, aunque el marco legal que los impulsó definitivamente se dio en 1996, particularmente con los dispositivos legales tendientes a promover la participación del sector privado en el área de la infraestructura pública.

Con objeto de seguir promoviendo la inversión privada y de mejorar la regulación de las Asociaciones Público-Privadas (APP), se promulgó en septiembre de 2015 el Decreto Legislativo N° 1224 que, en la práctica, ha pasado a convertirse en la nueva Ley marco de las APP (Condori Riviera, 2019).

En 2019 el gobierno anunció una intervención de los 15 primeros corredores logísticos que abarcan 4,200 kilómetros de vías departamentales. Las obras forman parte del “Programa Pro Región”.

Para abril de 2020 el Poder Ejecutivo observó la autógrafa de ley (cuerpo de la ley que proviene del Congreso y que es remitido al Presidente para su promulgación u observación), la cual disponía la suspensión del cobro de peajes en todas las rutas a nivel nacional durante el estado de emergencia por la pandemia Covid-19. En ella se indica que modificar un contrato de concesión mediante una disposición legal puede generar contingencias para el Estado, toda vez que los concesionarios, sobre todo los autofinanciados, podrían activar mecanismos de solución de controversias que podría devenir en un arbitraje.

El Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC), informó que un total de 56 peajes a nivel nacional, entre públicos y privados, dejaron de cobrar por pase de vía durante el estado de emergencia. De los 56 peajes, 32 son administrados por empresas privadas y 24 por el MTC, a través de Provías Nacional.

Finalmente, el nuevo gobierno, presidido por Castillo desde julio de 2021, ha decidido revisar todos los contratos de carreteras de las concesionarias transnacionales; además, anunció que se priorizarán obras viales que logren terminar con el aislamiento y la pobreza de los pueblos y con las amenazas del narcotráfico y el terrorismo.

Colombia y su progresivo aprendizaje

Durante la década de 1990, a partir la Constitución de 1991, Colombia se encaminó a un en-

torno de colaboración estrecha entre los sectores público y privado, promulgándose la regulación que serviría como eje fundamental para una mejora en la provisión y gestión de infraestructura y prestación de servicios.

Desde el 2010, el gobierno llevó a cabo una reforma sectorial sustancial en lo legal (una nueva Ley de APP's aprobada en el año 2012 y dos de Infraestructura en el 2013 y el 2017) y en lo institucional (creó la Agencia Nacional de Infraestructura- ANI en el 2013- y la Financiera de Desarrollo Nacional en el 2015, adscrita al Ministerio de Hacienda), que tuvo una significativa continuidad en las políticas del sector a lo largo de sus dos períodos y nombró funcionarios idóneos a cargo de la ANI y la FDN, quienes se rodearon de buenos equipos técnicos (Vassallo, 2019) . La ANI procedió a una selección y estructuración cuidadosa de los proyectos, elaboró el nuevo contrato de concesión siguiendo la nueva Ley de APP de 2012.

Hubo un fuerte compromiso del Ministerio de Hacienda con el programa, contribuyendo con aportes presupuestales. Dicho proceso tomó más de dos años y por ello la primera adjudicación del nuevo programa recién tuvo lugar a principios del año 2016.

Respecto a las concesiones y obras, se utilizó el "término generacional" a medida que se llevaban a cabo. De esta manera, existen la 1a, 2 a, 3 a y 4a generación.

En la primera generación, de ampliación y rehabilitación de las carreteras existentes, surgieron problemas presupuestales debido a que los contratos incorporaban estudios de demanda inadecuados, por lo que los ingresos por peajes resultaron menores a lo estimado originalmente.

A partir de la segunda generación se establecieron plazos variables que estaban en función de los ingresos esperados y se empezó a exigir estudios de ingeniería y de demanda.

En la tercera, los riesgos relacionados con la gestión y adquisición de predios para derecho de vía, fueron trasladados al sector privado.

En los proyectos de la cuarta generación (4G), los contratos fueron perfeccionados y se exigió a los socios operadores que adquiriesen un porcentaje de los predios, previo a la etapa de construcción. Además, los plazos consideran un máximo de 30 años, con la finalidad de evitar renegociaciones de concesiones debidas a planeaciones deficientes.

España y el fracaso de los proyectos de PPP

Si se pone la mirada en Europa, como habitualmente se hace en Argentina, es posible corroborar que en el Viejo Mundo existen los casos más significativos del fracaso del modelo de PPP, entre ellos los de Gran Bretaña y España. Se hará hincapié, en principio, en este último, como ejemplo más cercano en referencia a empresas que han invertido en nuestro país.

A principios de 2018, el entonces presidente del Gobierno español, Mariano Rajoy, anunció el "rescate" de autopistas por quiebra. "Los altos precios y la euforia en las previsiones a futuro provocadas por la "burbuja del ladrillo" o "burbuja inmobiliaria", entre otros factores, están en el origen del descalabro de las nuevas vías de pago españolas" (Portal "BAE Negocios", 2018).

El proyecto en un principio consistía en obras a llevar a cabo con capital privado, que se compensarían con la concesión, por un periodo de años determinado, de la explotación de los peajes. Estas autopistas, ejecutadas y explotadas por privados, costaron más debido a la toma de deuda en malas condiciones por empresas privadas. Luego, durante la concesión, el tránsito más reducido que lo inicialmente proyectado aportó nuevas pérdidas, por lo que los concesionarios dejaron caer el mantenimiento. Finalmente, en 2018, el gobierno español decidió nacionalizar las autopistas, cargando con las deudas de las empresas.

El “mal negocio” involucró a las obras sobre las autopistas principales de España: las cuatro radiales de Madrid (R2, R3, R4 y R5), la M-12 (Madrid-Aeropuerto de Barajas), la AP 41 (Madrid-Toledo) y otras tres vías de interconexión. Todas ellas, construidas bajo el régimen PPP, habían quedado en manos de constructoras para su explotación mediante el sistema de peaje. Pero todas estas explotaciones se declararon en quiebra y ahora el costo recae en el sector público.

En 2019, España amplió su brecha inversora en infraestructuras con el resto de Europa y las perspectivas de la Comisión Europea para el periodo 2020-2021. Para 2020, teniendo en cuenta el cumplimiento del déficit público exigido por Bruselas como prioridad, condicionado por el gasto social y sumada la crisis acrecentada por la pandemia del Covid-19, el gobierno decide recortar en inversión pública y, dentro de ella, especialmente en infraestructuras.

Expectativas, cautela y realidades en México

El caso mexicano es singular.

El gobierno de centro derecha de Peña Nieto (2012-2018) ha promovido el empleo del sistema APP (Asociaciones Público-Privadas, equivalente de los contratos de PPP), tanto en el sector de infraestructuras (durante el 2017, la Secretaría de Hacienda anunció cinco grandes proyectos viales bajo el esquema de APP por 10.800 millones de dólares) como en el sistema de salud (con dos variantes esquemáticas: el de “bata gris”, en el cual el inversionista privado no se involucra en la atención médica directa sino que provee el equipamiento y el mantenimiento de las instalaciones, en tanto que las prestaciones médicas quedan a cargo del sector público; y el de “bata blanca”, donde la iniciativa privada provee integralmente infraestructura, atención médica y tareas circundantes) (Blog VISE, 2017; Chávez, 2018).

La gestión actual del presidente López Obrador, de tinte progresista, se ha manifestado “cautelosa” con este sistema, especialmente por los posibles actos de corrupción y de falta de transparencia en el pasado (Flores, 2019). Si bien originalmente hubo reticencia a incluir proyectos mediante el modelo APP, en la última versión del programa de infraestructuras se precisó que el sector privado financiará al menos el 50% de los 39 proyectos, de los cuales 28 son de carreteras (Bnamericas, 2020). Esto motivó el beneplácito del sector financiero, aunque ya hubo advertencias de falta de información y de incertidumbre de que los proyectos fuesen a contar con los respaldos necesarios a nivel federal.

ANÁLISIS COMPARATIVO, DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Expuesta la problemática planteada acerca del funcionamiento de los sistemas de contratos de PPP y los disímiles resultados obtenidos en países de la Región y en España, se brindan datos adicionales internacionales y se efectúa un análisis comparativo objetivo que pretende vislumbrar cómo aprovechar los beneficios y minimizar los inconvenientes del sistema para su eventual implementación en nuestro país.

La autodenominada “Red de Expertos” de la Consultora Think&Move, con sede en España, asevera que, si bien no es posible garantizar el éxito, conocer bien los condicionantes podría evitar el fracaso (Aracil Avila, 2013). Este “aprendizaje de los errores” permitió la detección de tres factores generadores de problemas acontecidos en varios países: la sobrecapacidad de la red de carreteras, diseñada para soportar tráfico mucho más elevados que los reales, con costos desproporcionados frente a los ingresos; la competencia entre vías alternativas, con variantes no aranceladas

para el usuario; y los sistemas de organización heterogéneos, donde conviven modelos de gestión y contratos de participación público-privada con tramos financiados con recursos públicos. Considera, por otra parte, la importancia de una buena concurrencia a las licitaciones para garantizar la competencia y la ejecución de estudios previos rigurosos e independientes, tanto técnicos como económico - financieros y jurídicos.

Tratando de adaptar este “aprendizaje” a nuestro país, queda claro que ni la sobrecapacidad de las carreteras ni la abundancia de vías no aranceladas alternativas a las concesionadas son aplicables a la realidad argentina. Más bien se da la situación inversa, como se tratará de explicar a continuación.

Las rutas en nuestro país son proyectadas con un tránsito razonablemente censado y con estimadores a mediano y largo plazo “racionales”, esto último dicho con la salvedad de la incertidumbre macroeconómica en la que históricamente navega la República Argentina y que condiciona cualquier predicción, incluso las de Tránsito Medio Diario Anual (TMDA) a futuro. Pero las cargas de los vehículos pesados, poco y nada controladas, dañan drásticamente y tempranamente los pavimentos, los que en consecuencia se deterioran más rápidamente que lo previsto. Es decir, aquí el problema de la falta de rentabilidad no son los sobre-espesores y tampoco el exceso de carriles, como sugiere la “Red de Expertos” al mencionar la “sobrecapacidad” provocada a fuerza de magnificar los costos iniciales; todo lo contrario, habría que aludir a las fallas prematuras y las consecuentes tareas de conservación, mantenimiento y rehabilitación, en gran medida por causa de los excesos de carga, a la hora de asignar culpas por la alta razón costo-beneficio de nuestros caminos.

En lo referente a las vías alternativas a las concesionadas, se dan habitualmente dos escenarios posibles: en general, no están en buen estado; o, directamente, no existen. Por lo que este aspecto tampoco es motivo para que las carreteras aranceladas no sean redituables.

Lo que sí se da en Argentina es la coexistencia de variados modelos de gestión (CReMa, GIM, gestión estatal pura, gestión mixta), pero es difícil encontrar correlación entre este hecho y la ineficacia recaudatoria de algunas vías concesionadas.

En el orden económico, el sistema bimonetario local es otro factor preponderante para el fracaso de tales inversiones, con desajustes y corridas cambiarias que ni la legislación, ni la economía ni la política pudieron regular y han sido incapaces de contener. El peso argentino sirve sólo como intercambio interno parcial, en tanto el dólar estadounidense asume las funciones de “reserva de valor” y de “unidad de cuenta o de medida” de bienes, servicios, deudas, activos como las *commodities*, etc., aun cuando su precio no está generalmente regido por indicadores productivos y macroeconómicos sino por las cuevas y las mesas de dinero de la City porteña, donde pulula un puñado de especuladores y desestabilizadores que son la “clandestinidad del capitalismo”.

En síntesis, nuestro país no obedece a lógicas económicas internacionales, ni siquiera las que reinan en los países vecinos.

Los organismos multinacionales de crédito ponderan los contratos de PPP debido a una serie de ventajas que, a priori, poseen sobre otras metodologías de contratación de obras de infraestructura, otorgando a los Estados ciertas facilidades porque las obras son financiadas por el sector privado, en tanto que las erogaciones de pago de parte del Fisco se dan a largo plazo mediante el canon periódico por el servicio provisto por el privado, difiriendo en el tiempo el impacto presupuestario del precio de la obra (en casos, decenas de años), “favoreciéndose” de tal modo “la solidaridad intergeneracional en su financiación” (SIC) (Marval et al., 2016). Lo cierto es que más del 70% de los contratos de PPP suscriptos en Latinoamérica y España desde principios de la

década de 1990 hasta mediados de la década de 2010 fueron objeto de renegociación debido a una mala, defectuosa e incompleta confección de los contratos, la evaluación deficiente de los riesgos asociados a un proyecto de largo plazo y del valor de costo financiero del proyecto, la falta de estudios completos de factibilidad que no solo incluyan aspectos económicos sino ambientales y sociales y otras causas de fuerza mayor.

El Banco Interamericano de Desarrollo (BID) publica periódicamente un Informe con indicadores relacionados a la implementación de proyectos de PPP de infraestructura. El informe de 2017 (The Economist, 2017) pondera los casos de Chile y Colombia y pone de manifiesto que en la última década se registran mejoras en algunos países – como Uruguay – pero que aun así los avances han sido desparejos. Argentina está en puesto número 17 de un ranking de 19 naciones.

Tabla 1. Extracto de la categorización y ranking de América Latina y el Caribe en función del desarrollo de los contratos de PPP (The Economist, 2017)

Rank	País	Score
1	Chile	74
1	Colombia	74
3	Brasil	72
5	Perú	69
6	México	68
8	Uruguay	64
11	Guatemala	62
13	Paraguay	58
16	Rep. Dominicana	49
17	Argentina	48
18	Ecuador	44
19	Venezuela	8

Un estudio realizado hace ya unos años por el Departamento Económico de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) sobre la base de datos de 23 países miembros, mayormente pertenecientes al “Primer Mundo” más algunos socios “distinguidos” del mismo, revela que hasta la primera década de este milenio la mayor cantidad de contratos de PPP correspondían a obras viales. Ver Tabla 2 (Araujo y Sutherland, 2011).

Tabla 2. Países de la OCDE. Contratos de PPP de Infraestructura por sector, 1994-2007 (Araujo y Sutherland, 2011).

	Participación en total acumulativo		Participación 1994-2000	Participación 2000-2007
	1994-2007	Cantidad de proyectos		
Energía	1.75	17	0.99	1.96
Agua	2.05	45	2.14	2.01
Rutas	51.76	163	58.32	50.15
Ferrocarril	26.60	38	24.28	27.10
Transporte otros	14.37	49	9.88	15.60
Comunicaciones	0.86	6	3.23	0.14
Otros	2.61	44	1.14	3.04
Suma	100	362	100	100

Fuente: Base de datos del Programa de Trabajo en Organización por Proyecto Dialógica (datos extraídos el 19/2/08).

Los contratos viales (“Rutas”) relevados para este estudio tuvieron una duración promedio de 31 años, es decir, un muy largo plazo, que significa más de un período de servicio o de “vida útil” promedio de los pavimentos. Los resultados logrados son disímiles y dan cuenta de la importancia de las políticas puestas en práctica en cada país.

Este sistema de PPP, originado en el Reino Unido en la década de 1980 de la mano del neoliberalismo económico y luego extendido por Europa, prácticamente cayó en desuso en su lugar de origen tras 25 años de vigencia. Según la Oficina Nacional de Auditoría (National Audit Office, NAO), que se ocupa del control presupuestario en el Parlamento británico, Gran Bretaña enfrentará pérdidas por más de 200 mil millones de libras (unos 280 mil millones de dólares), monto similar a dos años de mantenimiento del servicio Nacional de Salud (NHS) en todo el reino (Diario Norte, 2018). El documento, de enero de 2018, tuvo un gran impacto porque se publicó la misma semana en que quebró la multinacional Carillion, “la segunda constructora más grande del Reino, dejando un tendal de deudas tomadas con aval estatal, cientos de obras inconclusas, servicios desabastecidos y miles de nuevos desempleados”.

“La PPP puede ser atractiva en el corto y el mediano plazo, pero termina resultando significativamente más costosa hacia el término del contrato”, es otra de las conclusiones del informe del organismo británico, que además constata numerosos casos en los que los contratos de PPP cargaron al Estado con mayores riesgos que los que hubiesen debido afrontar si el gobierno tomaba deuda para ejecutar.

Nuevamente, lo dicho por la Auditoría británica encuentra confirmación en el caso español, donde las autopistas ejecutadas y explotadas por privados costaron más debido a la toma de deuda en peores condiciones por empresas privadas. Luego, durante la concesión, el tránsito más reducido que lo inicialmente proyectado aportó nuevas pérdidas, por lo que los concesionarios dejaron caer el mantenimiento. Finalmente, el gobierno ibérico decidió nacionalizar las autopistas, cargando con las deudas de las empresas, tanto de los intereses del crédito inicial para la construcción como de las pérdidas operativas del periodo concesionado, causando un grave perjuicio al Estado español.

Por último, el estudio de la NAO señala un punto de trascendental importancia: el financiamiento privado es una opción de inversión tentadora para los organismos públicos ya que “no figura en las cuentas públicas” y permite “invertir en proyectos de capital cuando no cuentan con presupuesto suficiente”. Así, se crea una “ilusión fiscal”, por la que los pasivos presentes o potenciales del Estado no se registran correctamente y se pueden evadir los requisitos normativos del Tesoro para la toma de compromisos de deuda.

Si el neoliberalismo (“neofeudalismo”, a decir de René Favaloro, según Florio (1996)), que ante todo es pragmático hasta la exasperación, está dudando de la conveniencia de los sistemas de PPP, sería bueno al menos cuestionarse su eficacia en estos tiempos en los que el “neoprogresismo” parece ganar terreno, incluso en el mundo capitalista.

Las mejores experiencias con este sistema se han dado en países con estabilidad económica, con contratos a largo plazo (considerándose como tal, al menos, un “ciclo de vida” en las obras de infraestructura, lo cual, en pavimentos, es en general entre 15 y 25 años) y con una evaluación ex-post rigurosa y realista de los posibles beneficios y desventajas.

A modo de corolario y teniendo presente lo antedicho, a la luz del fracaso reciente a nivel local y a los disímiles resultados obtenidos en la Región y en el mundo con los modelos de PPP, es menester sincerar las dificultades políticas, económicas, financieras y sociales que ofrece nuestro

país para esta modalidad de contratos con inversiones millonarias y plazos prolongados. Específicamente, es imprescindible ponderar seriamente los graves problemas que tal sistema ha generado al maltratado Estado Nacional antes de reincidir en su circunstancial implementación para nuevas obras de infraestructura, porque en definitiva es altamente probable que vuelva a ser el sector público el perjudicado, más allá de las decisiones urgentes que tomó el gobierno actual en 2020 para tratar de paliar las consecuencias de la mala gestión de su inmediato antecesor.

REFERENCIAS

Einstoss Tinto, A. (2018). “Contratos de Asociación Público – Privada ¿Una solución al déficit de inversión en infraestructura en Argentina?”. Fundación CECE, Argentina. Disponible en: <http://fcece.org.ar/wpcontent/uploads/informes/participacion-publicoprivada.pdf> (11/8/2020)

Diario “La Voz”- 24 de abril de 2018. “Córdoba, una de las beneficiadas con las millonarias obras viales PPP”. Disponible en: <https://www.lavoz.com.ar/politica/cordoba-una-de-las-beneficiadas-con-las-millonarias-obras-viales-ppp>(11/8/2020)

Vialidad Nacional. Red de Autopista y Rutas Seguras. Participación Público-Privada (2016). Disponible: <https://www.bice.com.ar/wp-content/uploads/infraestructura/Transporte/> (11/8/2020)

López Corral. A. (2010). “Inversiones bajo esquemas de alianzas público privadas en infraestructuras y equipamientos públicos: el modelo de España”. Univ. Politécnica de Madrid, España. Disponible en: <https://www2.camino.upm.es/Departamentos/construccion/Economia/catedra/AMLC%20CPP%20EN%20ESPA%C3%91A.pdf>(2/10/2020)

Portal “ABC Hoy”- 6 de enero de 2018. “Primera consulta presencial con 300 empresas viales”. Disponible en: http://www.abchoy.com.ar/leernota.php?id=144422&titulo=primera_consulta_presencial_con_300_empresas_viales (11/8/2020)

Gobierno Argentino, Sitio oficial, 20 de julio de 2018. “Se firmaron los contratos de la primera licitación de Participación Público Privada”. Disponible en:

<https://www.argentina.gob.ar/noticias/se-firmaron-los-contratos-de-la-primera-licitacion-de-participacion-publico-privada>(11/8/2020)

Portal “Chillar”- 2 de febrero de 2019. “La autopista sobre ruta 3 es hoy una realidad”. Disponible en: <https://chillar.com.ar/la-autopista-sobre-ruta-3-es-hoy-una-realidad/> (11/8/2020)

Portal “Info Cañuelas”- 22 de febrero de 2019. “Comenzó la construcción de la “variante” que unirá la Autopista Ezeiza-Cañuelas con la Ruta 3”- Disponible en:

<https://www.infocanuelas.com/informacion-general/comenzo-la-construccion-de-la-variante-que-unira-la-autopista-ezeiza-canuelas-con-la-ruta-3> (11/8/2020)

De Sousa, F. Diario “Perfil”. 19 de diciembre de 2018. “El Gobierno suspendió las obras con

PPP, tras la última subida del riesgo país”. Disponible en: <https://www.perfil.com/noticias/politica/gobierno-suspendio-obras-publicas-alto-nivel-riesgo-pais.phtml> (7/10/2020)

Portal “Petro INews”. 21 de diciembre de 2018. “La suspensión del régimen PPP impactará de lleno en el sector energético”. Disponible en: <https://www.petroinews.net/noticia.php> (7/10/2020)

Portal “Carreteras Pan Americanas”. 28 de septiembre de 2020. “Argentina rescinde los contratos PPP de dos corredores viales”. Disponible en: <https://www.carreteras-pa.com/noticias/argentina-rescinde-los-contratos-ppp-de-dos-corredores-viales/> (7/10/2020)

Lopez, P. Diarilo “El Cronista”. 24 de septiembre de 2020. “El Gobierno dio de baja los contratos PPP de dos corredores viales”. Disponible en: <https://www.cronista.com/economiapolitica/El-Gobierno-dio-de-baja-los-contratos-PPP-de-dos-corredores-viales-20200924-0022.html> (7/10/2020)

PPP Knowledge Lab. (2020) The World Bank Group. “El marco de las APP de Chile”. Disponible en: <https://pppknowledgelab.org/es/guide-kl/sections/el-marco-de-las-app-de-chile-0#:~:text=El%20uso%20de%20APP%20en,de%20APP%20hasta%20esa%20fecha> (22/6/2020)

Portal “Carreteras Panamericanas” (2019). “Chile presenta millonario plan de inversiones en infraestructura vial”. Disponible en: <https://www.carreteras-pa.com/noticias/chile-presenta-millonario-plan-de-inversiones-en-infraestructura-vial/> (22/6/2020)

Albornoz Salazar, C. (2019). “Diagnóstico de las concesiones de carreteras urbanas en Chile”. Trabajo de fin de Máster. Universidad Politécnica de Valencia.

Portal “El Observador”, 2020. “Contratos CReMa, la nueva apuesta del gobierno para las obras viales”. Disponible en: [https://www.elobservador.com.uy/nota/contratos-crema-la-nueva-apuesta-del-gobierno-para-las-obras-viales-202091019110\(7/10/2020\)](https://www.elobservador.com.uy/nota/contratos-crema-la-nueva-apuesta-del-gobierno-para-las-obras-viales-202091019110(7/10/2020))

Boletín “Haciendo Caminos”, Grupo Bitafal, febrero de 2021. “Comenzaron las obras de la PPP Circuito 7”. Disponible en: <https://bitafal.com.uy/boletin-haciendo-caminos-2/> (22/6/2020)

Condori Riviera, K. (2019). “Asociación Público Privada en carreteras de peaje en Latinoamérica: análisis y estudio de casos prácticos en Colombia, Chile y Perú”. Proyecto fin de master. Universidad Politécnica de Madrid.

Vassallo, J. (2019). Caracas, CAF: “Asociación Público-Privada en América Latina. Afrontando el reto de conectar y mejorar las ciudades”. Disponible en: <http://scioteca.caf.com/handle/123456789/1376> (16/10/2020)

Portal “BAE Negocios”, 2018. “Los PPP de proyecto mimado a advertencia global”. Disponible en: <https://www.baenegocios.com/suplementos/Los-PPP-de-proyecto-mimado-a-advertencia-global-20180422-0037.html> (22/10/2020)

Blog VISE, 2017. "Características de las asociaciones público privadas en México". Disponible en: <https://blog.vise.com.mx/caracteristicas-de-las-asociaciones-publico-privadas-en-mexico> (18/3/2021)

Chávez, A. Salufiaro, Chile, 2018. "México y Chile, líderes en Asociaciones Público Privadas de salud en Latam". Disponible en: <https://www.saludiaro.com/lideran-mexico-y-chile-asociaciones-publico-privadas-de-salud-en-latam/> (18/3/2021)

Flores, Z. El Financiero, México, 2019. "Gobierno de AMLO, cauteloso para implementar asociaciones público-privadas ante casos de corrupción". Disponible en: <https://elfinanciero.com.mx/economia/gobierno-de-amlo-cauteloso-para-implementar-asociaciones-publico-privadas-ante-casos-de-corrupcion> (18/3/2021)

Bnamericas, 2020. "Plan de infraestructura de México revive necesidad de mejorar APP". Disponible en: <https://www.bnamericas.com/es/noticias/plan-de-infraestructura-de-mexico-revive-necesidad-de-mejorar-app> (18/3/2021)

Aracil Ávila, I. (2013). "9 claves para facilitar el éxito de las Asociaciones Público-Privada". Red de Expertos Think&Move, Madrid, España. Disponible en: <http://thinkandmove.net/9-claves-para-facilitar-el-exito-de-las-asociaciones-publico-privada-app/> (26/10/2020)

Marval, O'Farrell y Mairal (2016). "La Participación Público Privada como una nueva herramienta para el desarrollo de infraestructura en Argentina". Disponible en: <https://www.marval.com/publicacion/la-participacion-publico-privada-como-una-nueva-herramienta-para-el-desarrollo-de-infraestructura-en-argentina-12794/> (7/10/2020)

The Economist, 2017. "Infrascopes: Evaluating the environment for public-private partnerships in Latin America and the Caribbean". Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/0B9ZrLk2JshXUINoQ21iLXAwWTQ/view> (26/2/2021)

Araujo, S. y Sutherland, D. (2011). "Sociedades público-privadas e inversión en infraestructura. Revista Internacional de Presupuesto Público". Revista Internacional de Presupuesto Público ASIP N°75. Disponible: <https://asip.org.ar/sociedades-publico-privadas-e-inversion-en-infraestructura/>

Diario Norte, Chaco, Argentina, 2018. "Fracaso del plan de obras público-privado costará miles de millones de libras al Estado británico". Disponible en: <https://www.diarionorte.com/162110-fracaso-del-plan-de-obras-publico-privado-costara-miles-de-millones-de-libras-al-estado-britanico> (26/2/2021)

Florio, N (1996). Departamento de Prensa-UNRC, Río Cuarto, Argentina. "Ética al crecimiento económico" (reportaje a René Favalaro). Disponible en: <https://www.unrc.edu.ar/publicar/19/nota5.htm> (18/3/2021)

LA FORMACION POR EL ENFOQUE DE COMPETENCIAS EN LA UTN

Recibido: 22 de Abril, 2021 • Aceptado: 2 de Agosto, 2021

Autor:

Eugenio F. Dattilo^{*1}

¹ Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Avellaneda, Avda Mitre 5500 Villa Dominico Pcia. de Buenos Aires

Contacto:

**Autor a quien la correspondencia debe ser dirigida: efdattilo@yahoo.com.ar*

Rol autoral:

Conceptualización; Investigación; Administración del proyecto; Redacción - borrador original y Escritura - revisión y edición.

Cómo citar este artículo:

Dattilo, E. F. La formación por el enfoque de competencias en la UTN. Revista *Rumbos Tecnológicos*, Volumen 13, 2021, pp. 213-219. Secretaria de Ciencia, Tecnología y Posgrado, Facultad Regional Avellaneda, Universidad Tecnológica Nacional. <http://rumbostecnologicos.utnfrainvestigacionyposgrado.com/tipo-de-articulo/articulo-de-difusion/la-formacion-por-el-enfoque-de-competencias-en-la-utn>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

RESUMEN

La aparición de los lineamientos del nuevo plan de estudios por carreras en la UTN y la aceptación en ellos del concepto de “formación por competencias” nos obliga a ordenar la información sobre el proceso que llevó a esa decisión y cuál será el efecto futuro en cada terminal de Ingeniería respecto a su aplicación efectiva y a los procesos de Auditoría. Este artículo pretende reflexionar sobre estas cuestiones y la necesidad de plantear rápidamente un esquema ágil factible de llevar adelante y transferible al plantel docente, último y principal eslabón de la cadena de responsabilidad académicas.

Palabras Claves: Ingeniería, Competencias, Estándares, Saber ser

ABSTRACT

The appearance of the guidelines of the new curriculum by careers at the UTN and the acceptance in them of the concept of “training by competencies” forces us to order about how was the process that led to that decision and what will be the future effect in each Engineering terminal regarding its effective application and Audit processes. This article aims to reflect on these issues and the need to quickly raise a feasible classroom scheme to carry forward and transferable to the last and main teaching staff link in the academic chain of responsibility.

Key-words: Engineering, Standards, Competencies

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

A partir del trabajo de los decanos de Ingeniería, el 6 de junio del año 2018 fue presentado el libro rojo del CONFEDI (2018) ante el CIN (Consejo Interuniversitario Nacional) bajo el título: “Propuesta de Estándares de Segunda Generación para la Acreditación de Carreras de Ingeniería en la República Argentina” según consta en la página oficial del CONFEDI. Allí se plantea el concepto de competencias como “competencias de egreso” que resultan genéricas o comunes a todas las Ingenierías y las “específicas”, pudiéndose ver en el anexo de este libro que las mismas se aplican a las Actividades Reservadas de cada carrera, definidas por la Resolución Ministerial RM. 1254/18 del Ministerio de Educación y publicada unos días antes, el 18 de mayo de 2018, donde se establecen las nuevas actividades reservadas como parte del alcance final que las Instituciones deben formalizar previo a la revisión de sus planes de Estudio.

En un artículo publicado en la “revista Argentina de Ingeniería” su autor, el Ing. Roberto Jordano Lerena (2018), Decano de la Facultad de Ingeniería Universidad FASTA y Presidente del CONFEDI, explica que el grupo de trabajo de la Comisión de Acreditación del CIN no acompañó el concepto de “enseñanza por competencias” lo que derivó en una oposición al “enfoque por competencias” por considerar que los estándares no deben incluir lineamientos pedagógicos de ningún tipo que limiten la autonomía de cada casa de Estudio.

Esta conclusión es lógica si consideramos que los estándares son “requisitos” y deben estar expresados de esa forma, dicen “qué debe hacerse” pero no “cómo debe hacerse” ya que esto le

corresponde a cada actor que los aplique libremente, siendo cuestión de la Auditoría identificar si la manera en que se documentan y se hacen las cosas se encuentran conformes a estas requisitorias.

Con posterioridad el 19 de abril del año 2019 el CIN es notificado por el Estado Nacional de los “Estándares de aplicación general para la acreditación de carreras de grado” Res. 1051 del 4 de abril del 2019, como “estándares de acreditación” revisados periódicamente por la CONEAU – Comisión Nacional de Evaluación y Acreditación Universitaria”. En el anexo de esta Resolución figura la identificación de estos estándares que, si bien puede observarse claramente la influencia del libro rojo de propuesta del CONFEDI, no incluye el concepto de formación por competencias.

Con publicación del 5 de Marzo del 2020 la UTN aprueba los Lineamientos Generales para Diseños Curriculares de Ingeniería donde se establece que “a fin de profundizar un modelo de aprendizaje centrado en el estudiante que tenga en cuenta estándares de acreditación comparables internacionalmente, se incorpore a los procesos de enseñanza un enfoque basado en competencias y descriptores de conocimiento que aseguren la formación para el desempeño de las actividades reservadas para cada título”. Finalmente el Ministerio de Educación de la Nación emite la Resolución 2021-1541- APN-ME que modifica la Resolución Ministerial 1232/01 en los anexos correspondientes a los Estándares de Acreditación para carreras de Ingeniería.

El próximo proceso de auditoría posterior al nuevo plan de estudio

En sus lineamientos, la UTN, como institución particular, aprueba el enfoque por competencias y lo formaliza en documentos propios. La formación en competencias toma así características de requisitos de segundo orden respecto a los primeros que establecen los estándares. Nuevamente dicen “que” pero no “como” eso será tema de la aplicación, por lo tanto cada autoridad de Regional, cada autoridad de carrera y cada docente queda potencialmente interrogado sobre este “como”.

El siguiente cuadro muestra una particularidad vinculada a la formación por competencias como requisito de segundo orden, en relación al proceso de Auditoría:

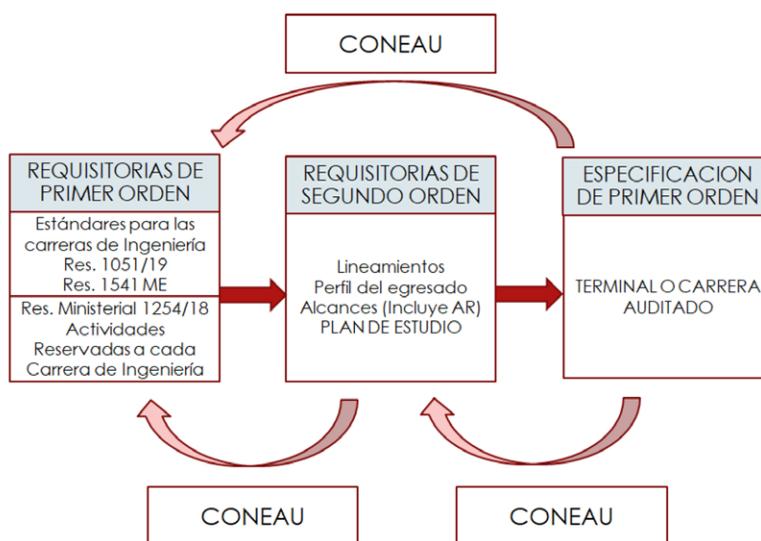


Gráfico 1. Cuadro de relación de Auditorias

Esta definición en nuestros lineamientos nos obliga, ante un nuevo Plan de estudios, a dar cuenta en la Auditoría que las carreras cumplen desde lo metodológico con los lineamientos ya que las auditorías probables resultan:

Conformidad de los requisitos de segundo orden con los de primer orden. (Institucional)

Conformidad de la carrera con los requisitos de segundo orden. (Auditoría bajo nuevo plan)

Conformidad de la carrera con los requisitos de primer orden.

Para observar nuestro estado de situación respecto a esta particularidad exigible a cada terminal o carrera como requisito delegado o de segundo orden debemos profundizar en el concepto mismo de competencias.

DISCUSION

¿Qué son las competencias?

La Declaración de Valparaíso, de ASIBEI, sobre Competencias Genéricas de Egreso del Ingeniero Iberoamericano del año 2014, establece que: "Competencia es la capacidad de articular eficazmente un conjunto de esquemas (estructuras mentales) y valores, permitiendo movilizar (poner a disposición) distintos saberes, en un determinado contexto con el fin de resolver situaciones profesionales".

Se toma como base de esta declaración los aportes de los pedagogos Perrenoud, P (2002) que consideran que las competencias permiten identificar, interpretar, argumentar, y resolver problemas del contexto con idoneidad y ética, integrando el saber ser, el saber hacer y el saber conocer.

Las competencias comprenden entonces tres dimensiones la cognitiva (el saber) la aplicada (el saber hacer) y la actitudinal y emocional (el saber ser) todas puestas en juego bajo contextos problemáticos determinados.

El formato áulico y las competencias

Ahora que se han establecido las dimensiones componentes de una competencia podemos trabajar sobre la siguiente pregunta motivo de este trabajo:

¿Es posible formar en competencias desarrollando las tres dimensiones que las proponen con el actual formato áulico de nuestras clases? O bien: ¿solo cambiando metodologías docentes se podrá instalar la formación por competencias tal como sugieren nuestros lineamientos para los próximos planes de estudio y argumentos de auditoría?

Nos centramos para un primer análisis en dos puntos que pueden mostrar disidencia respecto a las dificultades de la formación por competencias propuestas:

El contexto problemático en las competencias genéricas:

Reunidas las 3 primeras "competencias genéricas tecnológicas" establecidas en el libro rojo del CONFEDI y aceptada por nuestros lineamientos se dice que se deberán demostrar competencias para "Identificar, formular, resolver, concebir, diseñar y desarrollar, gestionar, planificar, ejecutar y controlar proyectos de Ingeniería."

La cuestión que surge es ¿Cómo traer al aula, ámbito académico casi exclusivo que utilizamos para las clases, el contexto problemático?

Si la competencia genérica nos dice "identificar, formular y concebir", se entiende que es el

alumno/a los que deben identificar, formular y concebir ¿es eso lo que sucede actualmente como metodología común? Sabemos que normalmente es el docente el que extrae y presenta la problemática que se resuelve y en muchos casos la rodea de un cierto contexto ficticio sin las condiciones de borde que influyen sobre la toma de decisiones, en ese marco solo es posible la aplicación de los saberes cognitivos, como primera orientación del saber hacer.

El contexto problemático. La alternativa:

Respecto a la cuestión “resolver, ejecutar y controlar”, que lógicamente nos habla de Proyectos con desarrollos transferibles al medio o contexto de donde se extrajo el problema, unida a la competencia específica 1.2., sugerida por el libro rojo (vinculada a la actividad reservada 1) que indica “calcular e implementar tecnológicamente una alternativa de solución” y considerando el trabajo en las redes de Ingeniería sobre “la alternativa”, se dice que esta surge de la adecuación de las decisiones de Ingeniería al contexto real, es decir una cosa es tomar decisiones de escritorio (o aula) y otra es resolver realmente un problema en forma de desarrollo transferido al escenario en el que sucede la alternativa y sus opciones.

CONCLUSIONES

El saber ser del Ingeniero.

En una experiencia realizada en el Departamento de Mecánica de nuestra Regional se observó el producido del alumno/a en tres materias vinculadas a problemáticas relativas a Proyectos de Ingeniería; en alrededor del 75 % de los Proyectos observados se demostró que o bien no contemplaban correctamente temas de la aplicación (por ej. Fabricar algo proyectado) o debían ser corregidos, aun en cuestiones centrales de sus decisiones, cuando se hiciera la aplicación, situación que en la mayoría de los casos nunca sucedería.

En cambio cuando se ponían bajo análisis las Prácticas Supervisadas se pudo observar cómo, en aquellas prácticas que implicaron proyectos que fueron realmente implementados las decisiones de Ingeniería habían sido fuertemente influidas por las condiciones de borde, el contexto real y los temas específicos de la aplicación y lo que finalmente se implementó es una de las varias opciones de la alternativa planteada a la idea de Proyecto inicial, igualmente buena desde lo teórico. Esto nos indujo a solicitar que cada práctica supervisada detallará las ideas originales comparadas con las decisiones finales, planteando opciones y la alternativa tomada.

Como primera conclusión, analizando solo estas cuestiones, si el alumno recibe el problema recortado por el docente no puede desarrollar sus competencias de identificar, formular y concebir, y si el alumno no aplica en escenario real no puede estar seguro de la calidad de sus decisiones, de la existencia de opciones alternativas y desde luego no puede ejecutar y controlar lo que no va a transferir.

Esta imposibilidad afecta a la dimensión del saber ser; “se sabe ser” desde lo actitudinal y lo emocional en campo real no en situaciones recortadas o contextos simulados, es allí donde surgen las cuestiones del trato con personas, liderazgos, toma de decisiones cambiantes y conflictos que ponen en juego la ética y la responsabilidad profesional.

Se podría realizar análisis similares de otras competencias genéricas o específicas que muestran déficits de formación real, generando dudas sobre la aplicación efectiva del concepto de

formación en competencias con formato áulico como se lo ha planteado.

Compartimos un texto del artículo “el currículum Universitario y el enfoque de competencias” de Marta Susana Brovell (2009):

“Es posible advertir que el discurso de las competencias en relación con los diseños curriculares de la Educación Superior, por un lado, ha tenido y sigue teniendo un peso importante y ya se conocen diversas experiencias en cuanto a formulaciones concretas en tal sentido pero, por otro lado, surgen dudas acerca de su valor y posibilidades ya que, como todo proceso de cambio, puede quedarse en un nivel formal en el que sólo se convierta en un conjunto de formulaciones que elaboran un grupo de especialistas sin que estos cambios sean deseados, comprendidos y puestos en marcha por los actores curriculares decisivos como lo son los profesores en el marco de las instituciones en las que desarrollan su labor.

Desde este lugar nos preguntamos si el cambio curricular basado en competencias es percibido solamente como respuesta a demandas que provienen del exterior del campo educativo o si puede vivirse además como un cambio deseado y necesario o conveniente para mejorar la calidad de los profesionales que se forman en la universidad”.

La formación por competencias resulta una oportunidad de mejora de las metodologías y técnicas didácticas y la búsqueda de un objetivo novedoso para la enseñanza de la Ingeniería, pero la puesta en valor de este concepto requiere de mucho trabajo y experiencia de campo, necesita involucrar al plantel docente, romper esquemas de dictado o modificar estructuras de clase. Es indispensable entonces permitir que el docente se apropie del concepto lo entienda y lo acepte, que modifique sus planificaciones apuntando, por fuera de las clases magistrales, a la producción del alumno y al autoaprendizaje, a evaluar por competencias poniendo en cuestión las tres dimensiones que las proponen, por eso decíamos que ante esta nueva perspectiva, más allá del planteo de los especialistas, la formación por competencias nos interroga en el “como”, el “que” ya lo conocemos.

Para efectuar un análisis de experiencias previas surgidas de la actividad de aula y vincularlas con la gestión necesaria para la aplicación efectiva del enfoque por competencias, resulta factible incorporar el concepto de “Niveles de logro” normalmente aceptados que comprenden:

Un nivel bajo cuando los logros no suceden por gestión sino que son resultado de acciones dispersas y sin orientación ni objeto final.

Nivel Aceptable cuando determinados liderazgos impulsan directrices orientadas a objetivos concretos y los cumplen.

Nivel Adecuado cuando existe una organización que planifica, acerca recursos y obtiene resultados sustentables en el tiempo con una adecuada formación de los actores principales

Nivel de excelencia cuando se ha logrado sustentar en el tiempo los logros y la organización que los soporta, y se consiguen mejoras continuas y significativas que aportan a la calidad de los logros.

Formación de liderazgo, gestión de recursos y adecuación de ámbitos son entonces los tres pasos sucesivos que, ordenados en el tiempo a través de un Proyecto común, nos permitirán orientar la curricula al cumplimiento del concepto de Competencias.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Lic. Fabiana Cabona, a la Mg. Ana Kozak por su colaboración pedagógica y a la Sra. Armenia Martínez por su colaboración en la confección de este artículo.

REFERENCIAS

CONFEDI (2018) "Propuesta de Estándares de segunda generación, libro Rojo" CONFEDI.

Documentos CONFEDI (2014) "Declaración de Valparaiso sobre competencias genéricas de egreso del Ingeniero Ibero Americano" Universidad FASTA.

BROVELL, Marta Susana (2009) "El curriculum universitario y el enfoque de competencias". Universidad Nacional de Rosario. Argentina; Universidad Tecnológica Nacional. Argentina

GIORDANO LERENA, Roberto (2018) "Del libro rojo a los estándares de segunda generación en Ingeniería" Revista Argentina de Ingeniería" Año 7 Vol. 13(2019) ISSN 2314-0925.

PERRENOUD, P. (2002) "Construir competencias en la escuela" (2ª. Ed.). Santiago de Chile.

UTN RECTORADO (2020) "Lineamientos generales para diseños curriculares de Ingeniería" Ordenanza 1753



Rumbos Tecnológicos

Publicación anual
Secretaría de Ciencia, Tecnología y Posgrado de
Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Avellaneda

Ramón Franco 5050, Villa Domínico (1874)
Pcia. de Buenos Aires. Argentina
(+54 11) 4353-0220 int. 104
rumbostecnologicos@gmail.com