



# Rumbos Tecnológicos



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

Volumen 12 - Noviembre 2020

ISSN: 1852-7701





# Rumbos Tecnológicos

Publicación de la Secretaría de Ciencia, Tecnología y Posgrado  
Volumen 12 - Noviembre de 2020





# Rumbos Tecnológicos

Publicación de la Secretaría de Ciencia, Tecnología y Posgrado

Volumen 12 - Noviembre de 2020

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

Mgr. Ing. Lucas Gabriel Giménez

## RUMBOS TECNOLÓGICOS

### Director

Mgr. 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.

Mgr. 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

<b>EDITORIAL</b>	<b>VI</b>
Ing. Jorge Omar Del Gener, Decano de la Facultad Regional Avellaneda.	

<b>EDITORIAL</b>	<b>VII</b>
Mgr. Ing. Lucas Gabriel Giménez, Director de Rumbos Tecnológicos.	

## ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

<b>DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA PARA CANALIZAR LAS EXPERIENCIAS DE LOS INGENIEROS INDUSTRIALES GRADUADOS DE LA UTN-FRA</b>	<b>1</b>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------

Autores: Caparelli, Carmelo; Gurrera, Walter; Vázquez, Emiliano; Rolón, Hugo; Blasco, Sebastián; Bianco Ross, María de la Paz; Machalec, Jorge; Tassara, Marcelo; Bossio, Daniel; Tomkiewicz, Félix; Colombo, Silvio; Mieites, Fernando; Lopetegui, Oscar; Ivulich, Ignacio; Idoeta, Federico y Folino, José.

<b>INFLUENCIA DE LAS CONCENTRACIONES DE REACTIVOS EN LA CAPACIDAD CATALÍTICA DEL CARBÓN ACTIVADO EN LA DESHIDROGENACIÓN OXIDATIVA DE ETILBENCENO A ESTIRENO</b>	<b>11</b>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------

Autores: Jorge Pablo de Celis, Ana L. Cukierman, Norma E. Amadeo.

<b>LAS VOCES DE LOS ESTUDIANTES: ¿QUÉ DICEN Y QUÉ HACEN AL RESOLVER PROBLEMAS ABIERTOS?</b>	<b>31</b>
---------------------------------------------------------------------------------------------	-----------

Autores: Bender, Gustavo; Defago, Alejandra E.; Feo, Dario y Ortalda Alicia.

<b>LAS PRÁCTICAS DE MOVILIDAD DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD REGIONAL AVELLANEDA DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL. RESULTADOS Y ANÁLISIS COMPARADO DE LA SEGUNDA ENCUESTA DE MOVILIDAD</b>	<b>43</b>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------

Autores: Daniel Bossio, Bruno Giormenti Moravec, Juan Martín Piccirillo, Federico López Dentone, Hugo Rolón, Walter Gurrera, Enrique María Filgueira, Jorge Mario Bonnefon, Carmelo Caparelli y Nazareno Tintes.

**DESARROLLO DE CATALIZADORES DE COBRE SOPORTADOS SOBRE ESFERAS DE CELULOSA PARA ELIMINAR CONTAMINANTES EMERGENTES EN AGUA** 63

Autores: Exequiel N. Nudel, Graciela V. Olmos, Alejandra Devard, F. Albana Marchesini, María C. Taleb.

**DESARROLLO DE UN ADSORBENTE COMPUESTO DE CELULOSA ESFÉRICA/OXIHIDRÓXIDO DE HIERRO PARA LA ELIMINACIÓN DE ARSÉNICO EN AGUAS** 73

Autores: M. Cecilia. Balbi, Matías A. Favot, Giuliana Leone, Graciela V. Olmos, M. Claudia Taleb.

## REPORTES DE CASO

**MEJORA Y ADAPTACIÓN DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE PIEZAS DE MATERIALES COMPUESTOS PARA LA INDUSTRIA NAVAL LIVIANA** 95

Autores: Pablo Andrés Corradini, Carlos Monti.

## NOTAS TÉCNICAS

**EXPERIENCIA DE PRODUCCIÓN A ESCALA PILOTO DE PLACAS DE CIELORRASO A PARTIR DE CARTÓN RECICLADO** 103

Autores: Marcipar Schenquer, Alfredo; Cerutti, Exequiel; De Mattia, Ana; Invinkelried, Paula.

**GENERACIÓN DE ONDAS SENOIDALES MEDIANTE LA INSERCIÓN DE DESFASADORES ACTIVOS EN UN SISTEMA TETRAFÁSICO** 113

Autores: Luis Napolitano, Marcelo Daniel Leo, Diego Adán Scharf.



## ARTÍCULOS DE REVISIÓN

### **LAS LEYES DE PROMOCIÓN INDUSTRIAL Y LA INDUSTRIA METALMECÁNICA DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA** 121

Autores: Marcelo Tavella, Ariel Miropolsky y Roxana Manera.

## ARTÍCULOS DE DIFUSIÓN

### **CARACTERIZACIÓN DE CURVAS DE DEMANDA DE USUARIOS RESIDENCIALES DE TIPO CONVENCIONAL Y ELECTROINTENSIVO Y SU IMPACTO EN LA CURVA DE CARGA DE UNA RED DE DISTRIBUCIÓN TÍPICA** 139

Autores: Marcos M. Cea, Ulises Manassero, Rodrigo Furlani, Javier Acosta, Irene Steinmann.

### **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** 159

Autores: Ulises Manassero, Rodrigo Gras, Pablo Marelli, Diego López, Juan P. Fernández.

## EDITORIAL

En la Editorial 2019 de Rumbos Tecnológicos, entre otros pasajes, expresaba "...que el estado debe valorar la importancia económica que tiene el conocimiento científico para el desarrollo del país, fomentando a través de una financiación concreta la investigación, la vinculación tecnológica y la extensión en la universidad."

La excepcionalidad del año vivido, por la Pandemia Global que afectó la vida de toda la humanidad, confirmaron las palabras dichas.

Y el elemento vital a considerar es la tenacidad que caracteriza a nuestros investigadores, a los científicos, tecnólogos, docentes, alumnos, no docentes, en definitiva, toda la comunidad universitaria comprometida con los desarrollos científicos y tecnológicos; ellos son un puente entre el problema y la solución.

Particularmente, en este presente año 2020, debemos valorar y no olvidar los desarrollos científico-tecnológicos aplicados a resolver el problema más grave en nuestra historia contemporánea.

Desde la Secretaría de Ciencia, Tecnología y Posgrado presentamos la edición 2020 de la Revista Rumbos Tecnológicos, resultado del esfuerzo y trabajo mancomunado de un equipo que vincula el estudio y desarrollos de la comunidad científico-tecnológica con la sociedad.

Ing. Jorge Omar Del Gener  
Decano

## EDITORIAL

En un pasaje del libro *“El desvío de Santiago”*, del holandés Cees Nootboom, su autor nos dice: *“Hay un poema de Gerrit Achterberg, “Ichtyologie” (Ictiología), que empieza con los versos: “Se ha encontrado en el mar un coelacantopterigio / el eslabón perdido entre dos peces. / El descubridor lloró de asombro. /Bajo sus ojos yacía por primera vez unida / la conexión tantos siglos interrumpida”. Cuando se encontró este pez con piecitos se reveló el escalafón entre “hombre y lagartija...”*

Simplemente, con la emoción que transmite este pasaje sobre un descubrimiento científico, quiero expresar en nombre del equipo de Rumbos Tecnológicos nuestro profundo respeto y admiración a los y las Científicos y Científicas, Tecnólogos y Tecnólogas, que han aportado, en este año tan particular, desarrollos científicos y tecnológicos que hasta hace muy poco tiempo hubiesen sido inimaginables.

GRACIAS A TODOS Y TODAS POR SU TRABAJO Y DEDICACION!

Mgr. Ing. Lucas Gabriel Giménez  
Director Rumbos Tecnológicos



**ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN  
CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA**



# DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA PARA CANALIZAR LAS EXPERIENCIAS DE LOS INGENIEROS INDUSTRIALES GRADUADOS DE LA UTN-FRA

Fecha de Recepción: 18 de junio de 2020 • Fecha de Aceptación: 24 de agosto de 2020

**Caparelli, Carmelo\* Gurrera, Walter; Vázquez, Emiliano; Rolón, Hugo; Blasco, Sebastián; Bianco Ross, María de la Paz; Machalec, Jorge; Tassara, Marcelo; Bossio, Daniel; Tomkiewicz, Félix; Colombo, Silvio; Mieites, Fernando; Lopetegui, Oscar; Ivulich, Ignacio; Idoeta, Federico y Folino, José**

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Avellaneda  
Avda. Ramón Franco 5050 - (1874) Villa Domínico. Provincia de Buenos Aires, República Argentina.

*\*Autor a quien la correspondencia debe ser dirigida*  
Correo Electrónico: [ccaparelli@gmail.com](mailto:ccaparelli@gmail.com)

## RESUMEN

Esta investigación tiene por objetivo desarrollar una metodología en base a un monitoreo exhaustivo de las experiencias de los graduados, a partir de su salida de la institución y canalizar las mismas a los alumnos de la carrera y al resto de la comunidad. Este análisis nos mostrará la evolución laboral, sus experiencias y también su participación en las empresas nacionales e internacionales, aportando sus capacidades y conocimientos actualizados. Con este nuevo estatus del graduado de Ingeniería Industrial, una vez cuantificado, nos permitirá desde la Facultad Regional Avellaneda (FRA) y el Departamento de Ingeniería Industrial llevar ese conocimiento a los estudiantes actuales de todas las especialidades, a través de charlas, clases puntuales o eventos que se realicen al respecto, como congresos, jornadas y charlas abiertas a toda la comunidad universitaria. Consideramos de vital importancia esta difusión para que los estudiantes que hoy cursan reciban una actualización de sus conocimientos, más allá de los programas de estudio.

**Palabras Claves:** Graduados-Tecnología-Capacitación-Vinculación.

## ABSTRACT

The objective of this research is to develop a methodology based on exhaustive monitoring of the graduates' experiences from their departure from the institution and to channel them to the students of the degree program and to the rest of the community.

This analysis will show us, the labor evolution, their experiences and also their participation in national and international companies, contributing their updated skills and knowledge. This new status of the Industrial Engineering graduate, once quantified, will allow us from the FRA and the Industrial Department to bring that knowledge to current students of all specialties, through talks, specific classes or events held in this regard, such as congresses, conferences and talks open to the entire university community. We consider this dissemination of vital importance so that current students receive an update of their knowledge, beyond the study programs.

**Key-words:** Graduates-Technology-Training-Bonding

## **INTRODUCCIÓN**

En la actualidad el Departamento de Ingeniería Industrial posee algunos datos de sus Graduados, no tabulados y tampoco publicados a la comunidad universitaria. Se trata de datos propios del Departamento que no están aprovechados como se debería. Estos son recolectados aleatoriamente cuando los graduados nos visitan, o bien por su publicación en redes sociales. También están los datos de los actuales docentes del departamento que fueron graduados y están incorporados a la carrera docente.

Esta investigación se inició el 01-01-2020 bajo el número de PID 6591 de la Universidad Tecnológica Nacional, y los datos parciales que informaremos son los que arrojan la encuesta hasta el 30 de Mayo de 2020.

La misma continuará hasta mediados de 2021 para luego, con los datos obtenidos, desarrollar la metodología objeto de la investigación.

## **OBJETIVOS**

El análisis de los datos obtenidos nos mostrará la evolución laboral, sus experiencias y también su participación en empresas nacionales e internacionales, aportando sus capacidades y conocimientos.

Consideramos muy importante esta asociación Universidad-Graduado para que las próximas generaciones de estudiantes mantengan actualizada la visión externa que sirva a su mejor formación. También podría permitirnos, a través de los Graduados, formar algún vínculo con el ámbito empresario de actuación de nuestros ex alumnos a los efectos de poder ofrecer, como institución, actividades de extensión que la FRA desarrolla permanentemente, y en el caso del Departamento de Ingeniería Industrial poner a disposición los servicios y laboratorios con los que cuenta, como así también los servicios y laboratorios del resto de los Departamentos de carrera.

Este vínculo podría desembocar en relaciones permanentes a través de acuerdos de colaboración y vinculación entre nuestra casa de estudios y el medio, tan necesarios a la hora de acreditar las carreras de grado y como un aporte permanente para afianzar la relación Universidad-Empresa.

Esta relación podría, también, poner a disposición del medio la capacidad de investigación de los Departamentos de la FRA. Estos vínculos permitirán a las instituciones mejorar su posición actual, a las Empresas llegar a objetivos con las bases sustentables de una Universidad capacitada y reconocida y a la Universidad aumentar, con recursos propios, su capacidad en materia de investigación y desarrollo para invertir en RRHH y tecnología. Resaltamos, nuevamente, que la difusión a la comunidad universitaria es el principal objetivo de esta investigación y posterior desarrollo de la metodología descripta, por lo tanto, merece ser destacado puntualmente.

La presente constará de dos etapas claramente definidas: durante el primer año y medio se realizarán las encuestas y, en la parte final del segundo año se compilarán los datos para culminar con la metodología de aplicación.

La información a recolectar tratará de satisfacer algunas de estas cuestiones:

1. Cantidad de graduados por año
2. Cantidad de graduados por género



3. Estudios máximos alcanzados
4. Donde tienen su residencia los graduados
5. Tipos de estudios de Especialización
6. Docentes de la FRA y docentes de la FRA por género
7. Áreas de conocimiento de los graduados
8. Empresas en las cuales se desempeñan/desempeñaron
9. ¿Participaría en charlas de difusión?
10. Temas de interés que abordaría en las charlas de difusión
11. ¿Participa en las elecciones de la FRA?
12. ¿Recibe información de la FRA o del Departamento de Ingeniería Industrial?
13. ¿Quisiera formar parte de un grupo de consulta del departamento?
14. Graduados que enviaron el CV
15. ¿Enviaría trabajos para difundir en caso de no poder asistir a la FRA?

La metodología de la investigación se fundamentará en la realización de encuestas.

“El enfoque será mayormente cuantitativo, es decir manteniendo un orden riguroso, que nos llevó por diferentes estadios: Idea, objetivo, preguntas, hipótesis, variables, diseño del plan, obtención de datos, análisis de datos y conclusiones” (Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio, 2014). La finalidad principal de la encuesta fue obtener información de la evolución académica y laboral de los graduados de Ingeniería Industrial de la UTN-FRA.

Se usaron formularios de encuestas autoadministradas, para preservar la privacidad de las personas que así lo deseen.

Se elaboró un diseño de encuesta claro y conciso, con el objeto de reducir al mínimo los errores de interpretación y llenado, facilitando posteriormente la carga de datos.

El formulario se desarrolló teniendo en cuenta la sencillez necesaria en una encuesta autoadministrada, sin dejar de lado las cuestiones fundamentales que pretende abordar el trabajo.

Los datos parciales que se mostrarán en la presente Nota Técnica provienen del Proyecto de Investigación que se está llevando cabo en el Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad Tecnológica, Facultad Regional Avellaneda.

## **Contribuciones del Proyecto**

### **1-Contribuciones al avance científico, tecnológico, transferencia al medio:**

Este trabajo de investigación se propone aportar líneas de información y transferencia al Departamento de Ingeniería Industrial para:

- Elaborar una red que involucre a los graduados con los docentes y estudiantes.
- Aportar la experiencia y el conocimiento de aquellos que pasaron por esta casa de estudios.
- Mantener actualizados los conocimientos de los alumnos que cursan la carrera.
- Permitirá a este equipo de investigación difundir el trabajo en otras áreas donde, por añadidura, los resultados podrían ser comparativos, y de este modo contribuir a la transferencia que persiguen los proyectos de investigación, que si bien nacen como Investigaciones Académicas son perfectamente transferibles al medio y terminan cumpliendo un fin social dentro de la sociedad.

## **2-Contribuciones a la formación de Recursos Humanos**

Centrándonos en el concepto de competencia, la contribución a la formación de recursos humanos tiene dos impactos:

- El primero está vinculado a la consolidación e integración del grupo de trabajo, cuya base viene trabajando en el Departamento de Ingeniería Industrial desde el año 2011.

Esta base va en aumento año tras año con la incorporación de docentes, alumnos y graduados, preparándolos para el desarrollo de la carrera de investigador.

A este respecto, el departamento inauguró en 2019 el Espacio Ingeniería Industrial Investiga, **EI3**, para fomentar la investigación de docentes, graduados y alumnos.

- El segundo impacto, y no menos importante, se refiere a las competencias necesarias que se deben desarrollar, tanto en los recursos humanos de nuestra casa de estudios, como en las empresas y organizaciones, objetos de las investigaciones a través de la interacción entre ambos.

Desde la Universidad es importante llevar a cabo investigaciones que puedan transferirse al medio e interactuar con las instituciones, y que éstas se sientan respaldadas y puedan recurrir a ellas para utilizar el capital profesional con que cuentan, y que este mecanismo sirva para la inserción de los graduados en el ámbito de las empresas privadas.

Esta investigación impacta fuertemente en competencias laborales de la Ingeniería Industrial, que muchas veces quedan en segundo plano por ser consideradas como atributos, como el trabajo en equipo, la comprensión del entorno, la comunicación efectiva, el pensamiento crítico y la ética profesional.

Las competencias están definidas no solo por lo que las personas u organizaciones saben y pueden hacer, sino también en el campo de lo que se quiere hacer o lograr.

## **ANÁLISIS DE LAS ENCUESTAS**

### **Primera parte: Datos generales**

Se analizarán los resultados de las encuestas recibidas hasta el 30 de Mayo de 2020.

En diciembre de 2019 el Departamento de Ingeniería Industrial llegó a la marca de 500 Graduados, desde la primera colación de 1999, lo que da un promedio de 25 graduados por año.

Al momento de este cierre parcial de resultados, respondió la encuesta un 22% del padrón y consideramos que es un buen inicio, dado que se había perdido el vínculo con los graduados en los primeros siete años. Hoy con la tecnología y las redes sociales estamos tratando de recuperar este vínculo.

Es muy importante el aporte de esos graduados, dado que son los que más experiencia acumulan y muchos de ellos expresaron sus deseos de colaborar con nuestra propuesta.

A continuación, haremos referencia a los resultados parciales obtenidos:

### **1-Cantidad de Graduados por año**

Sobresale el año 2016, seguido por el año 2008. En el Gráfico 1 vemos el detalle completo

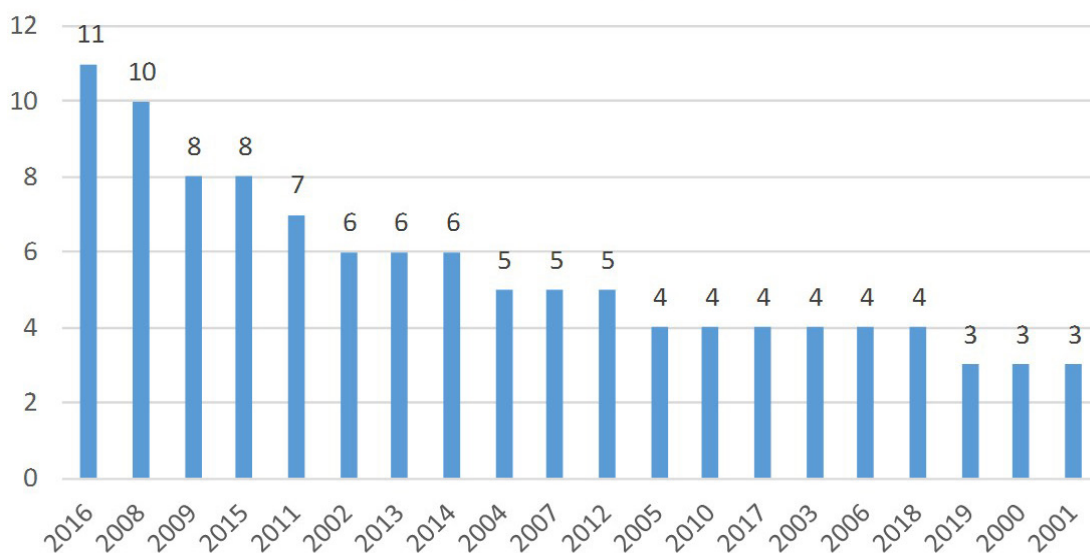


Gráfico 1. Cantidad de graduados / año

## 2-Graduados por género

De este análisis resultó que el 82% de graduados es del género masculino y el 18% restante de encuestados es del género femenino.

## 3-Estudios máximos alcanzados

Los graduados respondieron este ítem y destacan: Grado, Especialización, Master y Doctorado. Las proporciones resultantes se muestran en el Gráfico 2.

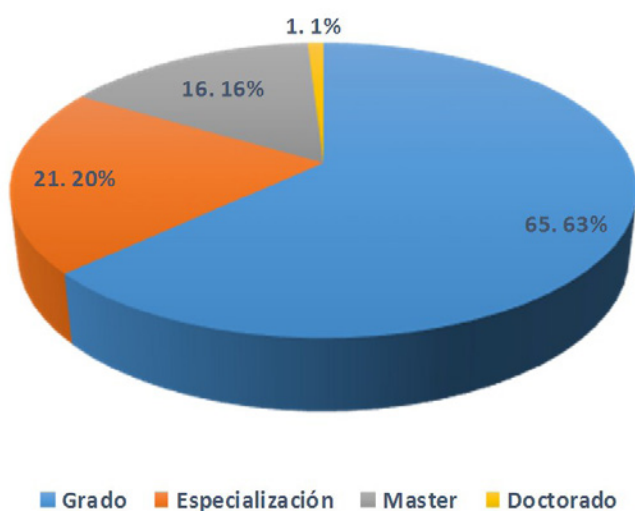


Gráfico 2. Estudios máximos alcanzados

#### 4-Residencia actual de los graduados

La encuesta arroja que el 73% reside en la Provincia de Buenos Aires, el 23% en Capital Federal y el 4% en el Exterior (Holanda, Alemania, Italia, Uruguay y Chile).

#### 5-Tipos de estudios de Especialización

Destaca holgadamente la Especialización en Seguridad e Higiene. El resto se ve en el Gráfico 3.

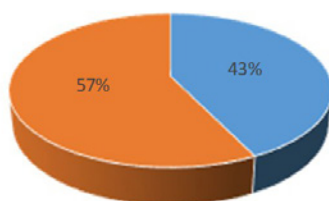


Gráfico 3. Posgrado Especialista

#### 6-Graduados docentes de la FRA totales y por género

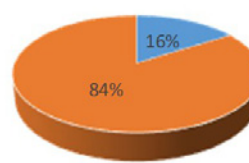
En el Gráfico 4, siguiente, se muestran los resultados a esta consulta.

Graduad@s Docentes de la FRA



■ SI ■ NO

Graduad@s Docentes de la FRA por Género



■ F ■ M

Gráfico 4. Graduad@s Docentes de la FRA / Graduad@s Docentes de la FRA por Género

#### 7- Áreas de conocimiento de los graduados

El total de áreas de conocimiento llega a 226 en este informe parcial.

Entre las primeras ocho y haciendo un análisis de Pareto, arribamos al 80%.

El análisis previo nos hace prever que son conocimientos aplicables totalmente a la ingeniería industrial y en todos los casos habilidades adquiridas por la experiencia laboral o la capacitación de postgrado de los graduados.

La Tabla 1 refleja los porcentajes y el Gráfico 5 el resto de las áreas de conocimientos.

Tabla 1. Áreas de Conocimientos

Áreas	Cantidad	Porcentaje
Docencia	37	16,37
Servicios	35	15,49
Manufactura	30	13,27
Consultoría	25	11,06
Logística	20	8,85
Petróleo y gas	16	7,08
Compras	13	5,75
Supply chain	10	4,42

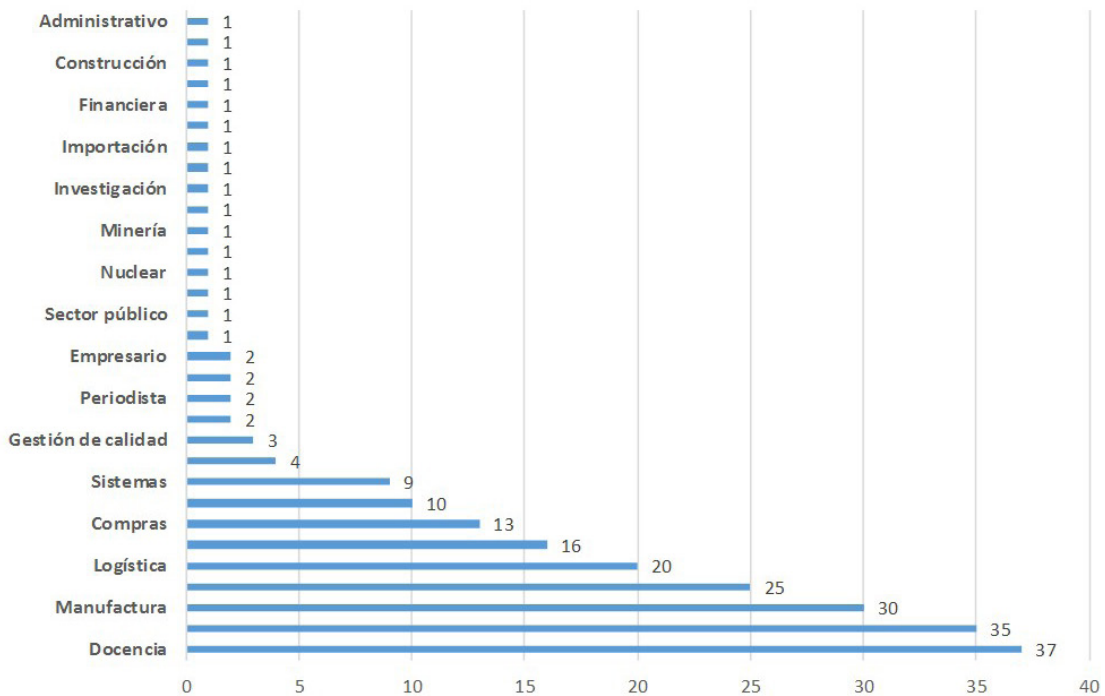


Gráfico 5. Áreas de Conocimientos

### 8-Empresas en las cuales se desempeñan/desempeñaron los graduados

Hasta el momento se registran 206 empresas donde los graduados se desempeñaron/desempeñan.

Aproximadamente el 36% se concentra/concentró en 18 empresas.

Se muestran los resultados en el Gráfico 6.

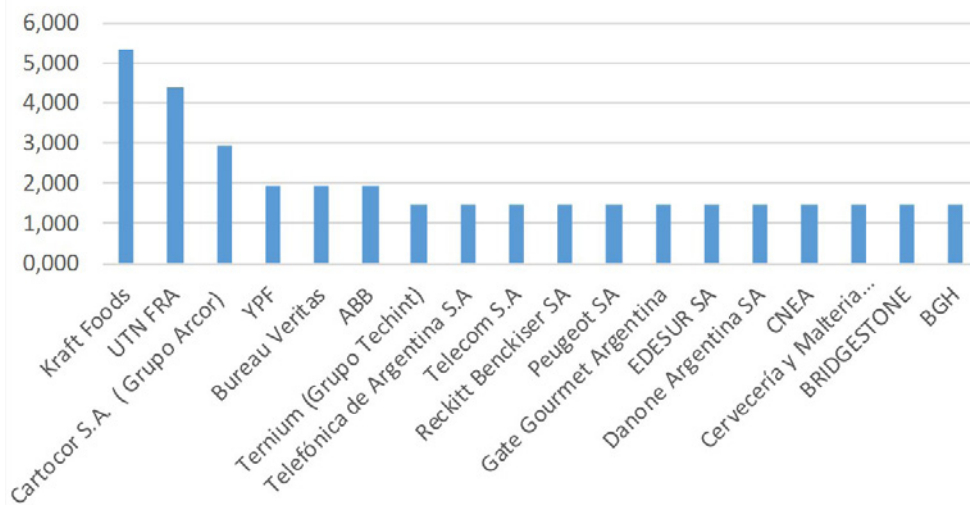


Gráfico 6. Participación en empresas en porcentaje

### 9-¿Participaría en charlas de difusión?

Consultados los graduados si participarían en charlas o clases de difusión dentro del departamento o regional, la respuesta fue altamente positiva.

Los resultados arrojan:

- Participaría: 88%
- No participaría: 12%

### 10-Temas de interés que abordaría en las charlas de difusión

Del total de temas de interés para abordar en clases de difusión, los graduados eligieron siete principales, que resumen el 80%. El detalle en el gráfico 7 siguiente.

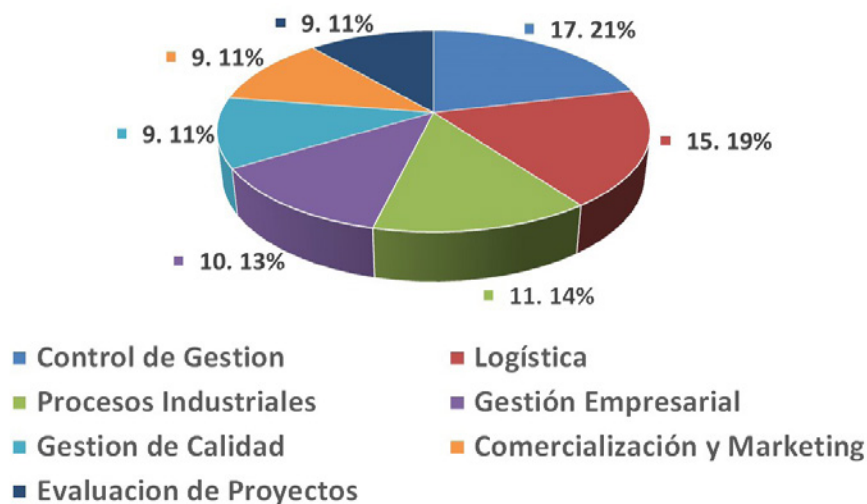


Gráfico 7. Temas de interés

### **11-¿Participa en las elecciones de la FRA?**

Se les preguntó a los graduados si participan de las elecciones de la FRA.

Las respuestas se resumen así:

- Si Participa: 75,73%
- No Participa: 24.27%

Cabe destacar que esta investigación surgió de charlas y consultas con los graduados, de parte de algunos miembros de este equipo, quienes ofrecían participar en actividades del departamento.

### **12-¿Recibe información de la FRA o del Departamento de Industrial?**

Se consultó a los graduados si reciben y/o si quieren recibir información de la FRA y/o del departamento de las diferentes actividades de difusión que realiza el Departamento de Graduados, Prensa y Difusión y también el Departamento de Ingeniería Industrial.

Los resultados que arrojó son los siguientes:

- Si recibe información: 77%
- No recibe información: 21%
- No responde: 2%
  
- Quiere empezar a recibir información: 88%
- No quiere empezar a recibir información: 8%
- No responde: 4%

### **13-¿Quisiera formar parte de un grupo de consulta del departamento?**

Dada la experiencia y capacitación de los graduados, se los abordó respecto a querer participar de un grupo de consulta. Este grupo trataría temas inherentes a la carrera de Ingeniería Industrial, forma de abordaje de temas y posibles cambios en los planes de estudio, en los cuales estamos trabajando.

Las respuestas se resumen así:

- Si quiere formar parte: 79%
- No quiere formar parte: 15%
- No responde: 6%

### **14-Graduados que enviaron el CV**

Se invitó a los graduados a adjuntar, junto con la encuesta, su CurriculumVitae.

Los resultados fueron:

- Si Enviaron CV: 38%
- No enviaron CV 62%

### **15-¿Enviaría trabajos para difundir en caso de no poder asistir a la FRA?**

En función de la movilidad de los graduados, las distancias que lo separan de la FRA y aprovechando las nuevas tecnologías, se los consultó si quisieran enviar trabajos escritos, presentaciones, videos, realizar video conferencias o bien alguna herramienta que quisieran utilizar en esta difusión.

Los resultados fueron los siguientes:

- Si desearía enviar: 59%
- No desearía enviar: 33%
- No responde: 8%

## **CONCLUSIONES**

La conclusión a la que arriba este equipo investigador es que hasta el momento los resultados son muy auspiciosos y la respuesta de los graduados muy buena.

La mayoría de los ellos desea participar de las actividades del Departamento de Ingeniería Industrial, y esto coincide con los deseos que nos manifestaban en forma personal cuando concurrían a la FRA por algún tipo de evento.

Cabe destacar que el Departamento de Ingeniería Industrial hace muchos años mantiene un fluido contacto con sus graduados, a través de emails, gacetillas e invitaciones por algún tipo de celebración.

El resultado parcial de la encuesta refleja ese deseo y compromiso.

Dado el gran avance resultante, estudiaremos la posibilidad de adelantar etapas del cronograma que teníamos previsto en el Proyecto de Investigación y poder trabajar con la base actual de encuestados para ir definiendo la Metodología Participativa que propone la misma.

## **AGRADECIMIENTOS**

Queremos destacar la participación del equipo investigador en la realización de las encuestas.

Agradecer al Espacio Ingeniería Industrial Investiga (EI3) por colaborar en la difusión de las encuestas.

Agradecer, fundamentalmente, a los graduados que respondieron la encuesta y a su vez la reenviaron a aquellos que no teníamos en la base de datos propia del Departamento.

## **REFERENCIAS**

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C y Baptista Lucio, M. (2014). Metodología de la investigación. Mc Graw Hill, México.



# INFLUENCIA DE LAS CONCENTRACIONES DE REACTIVOS EN LA CAPACIDAD CATALÍTICA DEL CARBÓN ACTIVADO EN LA DESHIDROGENACIÓN OXIDATIVA DE ETILBENCENO A ESTIRENO

Fecha de Recepción: 30 de junio de 2020 • Fecha de Aceptación: 9 de septiembre de 2020

Jorge Pablo de Celis<sup>1\*</sup>, Ana L. Cukierman<sup>2</sup>, Norma E. Amadeo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Ingeniería Química (LIDIQ), Departamento de Ingeniería Química, Facultad Regional Avellaneda, UTN. Ramón Franco 5050 (1874). Villa Domingo, Avellaneda. Buenos Aires. Argentina.

<sup>2</sup>Programa de Investigación y Desarrollo de Fuentes Alternativas de Materias Primas y Energía (PINMATE)-Depto. Industrias (FCEyN-UBA). Pabellón de Industrias. Intendente Güiraldes 2620. Ciudad Universitaria. (C1428BGA) Buenos Aires, Argentina.

<sup>3</sup>Laboratorio de Procesos Catalíticos-Depto. Ingeniería Química (FI-UBA).

*\*Autor a quien se debe dirigir la correspondencia  
Correo electrónico: jdecelis@fra.utn.edu.ar*

## RESUMEN

La deshidrogenación oxidativa de etilbenceno es un proceso alternativo promisorio para la producción de estireno, ya que no está limitada por el equilibrio y puede llevarse a cabo a menores temperaturas. Se ha encontrado que los carbones activados pueden emplearse como catalizadores en esta reacción. Sin embargo, un aspecto que requiere un análisis más exhaustivo es la influencia de las variables operativas en la actividad del catalizador. En ese contexto, se estudia la actividad catalítica de muestras de carbón activado mediante el proceso de activación química en atmósfera autogenerada. Se evalúa la incidencia de las concentraciones de oxígeno y de etilbenceno en la actividad catalítica. Paralelamente, se examinan los cambios producidos en la estruc-

tura química, textural y morfológica del material carbonoso durante el proceso de reacción. Se observa que con el aumento de oxígeno, se favorecería la oxidación excesiva de la superficie carbonosa, conduciendo a la disminución de la selectividad a estireno. Por otro lado, el aumento de etilbenceno provoca un descenso en la conversión del mismo, inhibiendo la formación de productos de oxidación total y no afectando sensiblemente la selectividad. Además, se favorecería la formación de productos de condensación oxidativa, afectando las características texturales por el bloqueo parcial de la estructura porosa.

**Palabras clave:** Carbón Activado, Estireno, Deshidrogenación Oxidativa.

## ABSTRACT

The oxidative dehydrogenation of ethylbenzene is a promising alternative process for the styrene production, since it is not limited by equilibrium and can be carried out at lower temperatures. It has been found that activated carbons can be used as catalysts in this reaction. However, an aspect that requires a more exhaustive analysis is the influence of operating variables in the performance of the catalyst. In this context, the catalytic activity of samples developed through the process of chemical activation in a self-generated atmosphere is studied. The incidence of oxygen and ethylbenzene concentrations on catalytic activity is evaluated. At the same time, the changes produced in the chemical, textural and morphological structure of

the carbonaceous material during process are examined. It is observed that with the increase of oxygen, the excessive oxidation of the carbonaceous surface would be favored, leading to a decrease in the selectivity to styrene. On the other hand, the increase in ethylbenzene causes a decrease in its conversion, inhibiting the formation of total oxidation products and not significantly affecting selectivity. In addition, the formation of oxidative condensation products would be favored, affecting the textural characteristics by the partial blockage of the porous structure.

**Key words:** Activated Carbon, Styrene, Oxidative Dehydrogenation.

## INTRODUCCIÓN

La producción de hidrocarburos insaturados tiene gran importancia en el desarrollo de la industria química, ya que son especies reactivas que pueden ser usadas como intermediarios en numerosos procesos químicos. El incremento del costo de energía y la menor disponibilidad de hidrocarburos de bajo costo han constituido la fuerza impulsora para el estudio de nuevos procesos tendientes a lograr mayor selectividad y menor consumo de energía.

El estireno (ET) es uno de los productos intermedios más importantes de la industria petroquímica, debido a su versátil y extendido empleo en la manufactura de plásticos. Se utiliza como materia prima para la producción de numerosos tipos de homopolímeros y copolímeros con propiedades excepcionales empleados en una gran variedad de industrias. El ET se obtiene preferentemente por deshidrogenación directa de etilbenceno (EB), en condiciones de operación que involucran el empleo de temperaturas superiores a los 600°C, óxido de hierro como catalizador y una gran cantidad de vapor de agua con propósitos de calefacción y reducción de la formación de coque. Un proceso alternativo de producción de ET es la deshidrogenación oxidativa (DHO) de EB. En este proceso, la introducción de oxígeno en la reacción produce el hidrocarburo insaturado y agua, alcanzándose ventajas respecto a los procesos tradicionales como el de deshidrogenación directa. La DHO es una reacción irreversible y por lo tanto, la conversión no está limitada por el equilibrio. Además, el proceso es exotérmico en lugar de endotérmico como en la deshidrogenación directa. Por último, las temperaturas de operación empleadas en la DHO pueden ser mucho más bajas. La principal limitación es la formación de productos secundarios, usualmente productos de oxidación total (óxidos de carbono).

El gran desafío que se presenta en este campo es el desarrollo de nuevos catalizadores altamente activos y selectivos. En los últimos años, las investigaciones se han dirigido al estudio y desarrollo de catalizadores para la deshidrogenación oxidativa de alcanos y alquilaromáticos. En este sentido, se han propuesto una gran variedad de sistemas catalíticos, que abarcan desde óxidos semiconductores hasta óxidos ácidos, como alúminas, zeolitas y fosfatos. Asimismo, se detectó un comportamiento característico para los hidrocarburos aromáticos al utilizar catalizadores ácidos. Se encontró que, contrariamente al comportamiento catalítico convencional, la deposición de coque sobre la superficie del catalizador no producía desactivación, sino que, por el contrario, la reacción se activaba. Este comportamiento se atribuyó a la formación de productos de condensación oxidativa del hidrocarburo aromático (PCO) en los sitios ácidos del catalizador.

Estas evidencias han conducido a investigar la potencialidad de emplear carbón activado (CA) como catalizador en procesos de DHO. Una de las principales ventajas que presentan los carbones activados, además de su costo relativamente bajo, de su flexibilidad; es la posibilidad de llevar a cabo el diseño de las matrices de poros de diferentes tamaños que conforman los mismos y la funcionalización de su superficie.

## **OBJETIVOS**

En este marco, el objetivo general de este trabajo es evaluar el desempeño de los carbones activados como catalizadores en la DHO de etilbenceno a estireno, variando las concentraciones de oxígeno y de etilbenceno en la alimentación.

Específicamente se realizaron distintos ensayos catalíticos para estudiar el efecto de la variación de las concentraciones de reactivos (EB y O<sub>2</sub>) sobre la actividad catalítica y las selectividades a ET, CO<sub>2</sub> y CO.

Para ello, se desarrollaron muestras de carbón activado desarrollados en atmósfera autogenerada para ser empleadas como catalizadores en la reacción de DHO.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Preparación de la muestra de Carbón Activado**

Se utilizó como precursor una madera de la familia del algarrobo cuyo nombre científico es *Prosopis juliflora* y vulgarmente conocida como Vinal. Esta especie es oriunda del Chaco argentino que tuvo un gran protagonismo en las culturas aborígenes tanto en materia alimenticia, medicinal como energética. El primer paso consistió en un proceso de acondicionamiento para transformar los trozos de madera en partículas de distintas granulometrías, hasta alcanzar diámetros menores a 0,5mm. Para la obtención de los CAs, se aplicó el proceso de activación química impregnando el vinal con una solución de ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) al 50% m/m, de modo de obtener una relación en masa ácido/precursor de 2. Posteriormente, el precursor impregnado se sometió a un proceso de homogeneización mediante mezclado y de calentamiento en estufa a 110°C durante dos horas. El precursor impregnado y pre-tratado se ubicó en un reactor tubular de lecho fijo (Figura 1). El reactor dispuesto en forma horizontal, se calentó mediante un horno eléctrico comandado por un controlador de temperatura de rampa programable. La muestra se calentó a una velocidad de 3° C/min, desde temperatura ambiente hasta alcanzar una temperatura final de 450° C. Esta forma

de activación se llevó a cabo bajo la atmósfera autogenerada en el reactor. El sólido obtenido se mantuvo a esta temperatura durante treinta minutos. Posteriormente, se dejó enfriar hasta alcanzar nuevamente la temperatura ambiente.

Finalmente, se procedió al lavado y secado del producto obtenido, con un rendimiento global del proceso del 40%.

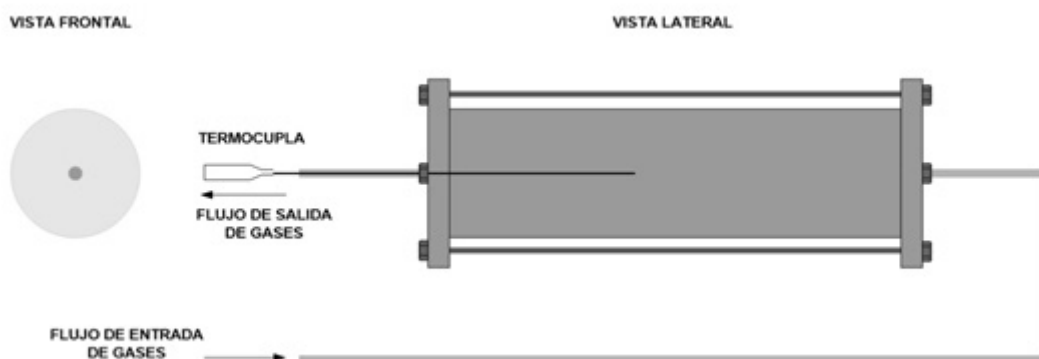


Figura 1: Esquema del reactor tubular empleado para el tratamiento térmico de las muestras de *ProsopisRuscifolia* impregnadas con ácido fosfórico.

### Caracterización de las muestras de Carbón Activado

La caracterización química de las muestras de carbón activado original y usadas en la DHO se llevó a cabo mediante análisis próximo, según normas ASTM, y análisis elemental, usando un instrumento Carlo Erba EA 1108. También, se determinaron el contenido de cenizas para los CAs según normas ASTM.

La determinación del contenido total de grupos funcionales ácidos/polarizables presentes en la superficie de los carbones activados, se llevó a cabo por titulación volumétrica mediante un procedimiento modificado basado en el método de Boehm (Basso et al., 2002).

Las características texturales de los CAs original y usados en la DHO, se obtuvieron a partir de la determinación de las isotermas de adsorción de  $N_2$  (-196 °C), empleando un sortómetro Micromeritics ASAP 2020 y se aplicó el procedimiento convencional de BET a fin de evaluar el área superficial específica ( $S_{BET}$ ) de los CAs. El volumen total de poros ( $V_T$ ) se calculó a partir del volumen de  $N_2$  adsorbido a la máxima presión relativa ( $p/p_0=0,99$ ). Los volúmenes de microporos ( $V_m$ ) y de mesoporos ( $V_M$ ), y el radio medio de poros ( $r$ ) se evaluaron según el procedimiento detallado en la literatura (Basso et al., 2002). Además, se calculó el tamaño medio de microporos,  $L_0$  (en nm), empleando la ecuación de Stoeckli et al. (1990), donde  $L_0 = 10,8 / (E_0 - 11,4)$ , válida para valores de energía característica ( $E_0$ ) en el rango comprendido entre 20 y 42 kJ/mol. El área externa ( $A_{EXT}$ ), correspondiente a la superficie no microporosa, se evaluó mediante el método  $a_s$  (Carrot et al., 2006; Girgis et al., 2007).

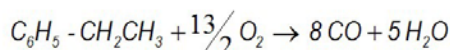
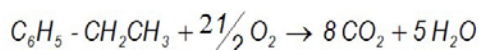
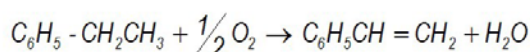
La caracterización morfológica de las muestras se llevó a cabo mediante Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) realizadas en el equipo SEM Carl Zeiss NTS SUPRA 40.

### Ensayos de evaluación catalítica.

La reacción de DHO se estudió en un reactor de lecho fijo, ubicado en forma vertical dentro de un horno eléctrico y conectado a un sistema de flujo para la circulación de reactivos y productos. El EB se alimentó al reactor por arrastre en una corriente de aire diluido con nitrógeno que burbujeaba a través de un saturador. La relación EB/O<sub>2</sub> en la alimentación se controló ajustando tanto la temperatura del saturador como el caudal de nitrógeno. Dado que la reacción es exotérmica y con el fin de evitar gradientes de temperatura en el reactor, se diluyó el catalizador con partículas de vidrio en relación catalizador /vidrio de 1/5. En todos los ensayos se utilizó N<sub>2</sub> como inerte. La composición de la alimentación y del efluente se determinó por cromatografía gaseosa en línea, utilizando un cromatógrafo Hewlett Packard con columnas de HP INNOWAX de polietilenglicol. Los ensayos se llevaron a cabo en las condiciones operativas que se detallan en cada sección.

Los principales productos obtenidos fueron estireno, monóxido de carbono y dióxido de carbono. También se detectaron trazas de tolueno y benzaldehído.

Las principales reacciones involucradas en la DHO de EB a ET son:



El comportamiento catalítico de los CAs en la reacción de DHO se evaluó en los siguientes términos:

Conversión de EB:  $X = \frac{F_{EBe} - F_{EB}}{F_{EBe}}$

Rendimiento a ET:  $R = \frac{F_{ET}}{F_{EBe}}$

Selectividad a ET:  $S_{ET} = \frac{F_{ET}}{F_{EBe} - F_{EB}}$

Selectividad a CO<sub>2</sub>:  $S_{CO_2} = \frac{F_{CO_2}}{(F_{EBe} - F_{EB}) \cdot 8}$

Selectividad a CO:  $S_{CO} = \frac{F_{CO}}{(F_{EBe} - F_{EB}) \cdot 8}$

Variación de peso:  $\Delta W = \frac{\text{Peso final del catalizador } r - \text{Peso inicial del catalizador } r}{\text{Peso inicial del catalizador } r} \cdot 100$

donde:  $F_{EB_e}$  es el flujo molar de EB a la entrada del reactor,  $F_{EB_s}$  el flujo molar de EB a la salida del reactor,  $F_{ET}$  el flujo molar de ET a la salida del reactor,  $F_{CO_2}$  el flujo molar de  $CO_2$  a la salida del reactor y  $F_{CO}$  el flujo molar de CO a la salida del reactor.

Los ensayos catalíticos se llevaron a cabo mediante distintas series experimentales. En cada una de ellas se estudió el efecto producido en la actividad catalítica debido a la modificación de una variable operativa, manteniendo constante el resto de las condiciones. Los resultados informados corresponden a aquellos medidos en el estado estacionario.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### EFFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO

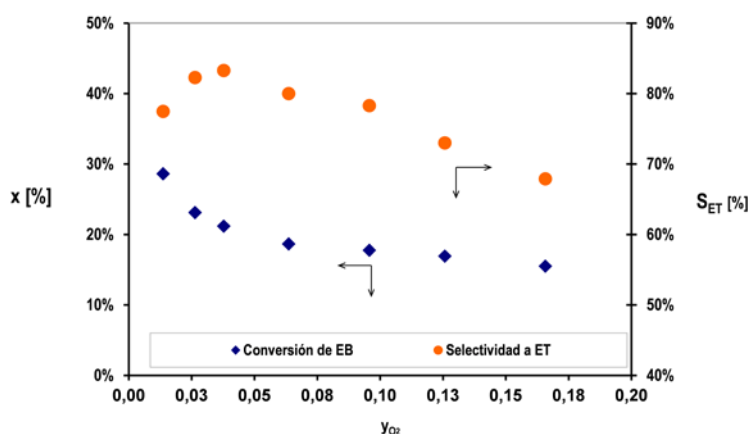
Para analizar la influencia de la composición de oxígeno en el desempeño del carbón activado desarrollado en atmósfera autogenerada (CAA) en la DHO, se llevaron a cabo ensayos de reacción de acuerdo a las condiciones que se detallan en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Condiciones de operación empleadas en las experiencias de DHO, empleando el carbón activado sintetizado en atmósfera autogenerada CAA.

Parámetro	
Masa de carbón activado [g]	0,3-0,6
Fración molar de $O_2$ [%]	1 - 17
Fración molar de EB [%]	1
Caudal [ml / min]	290-600
Diámetro promedio de partícula [ $\mu m$ ]	$\leq 450$
Temperatura de reacción [ $^{\circ}C$ ]	350
$\tau$ [g. min / ml]*	0,001

\*  $\tau$ : tiempo de residencia [Masa catalizador / Caudal volumétrico]

En la Figura 2 se presentan los resultados de la conversión de EB y la selectividad a ET para diferentes composiciones de oxígeno en la alimentación a tiempo de residencia constante.



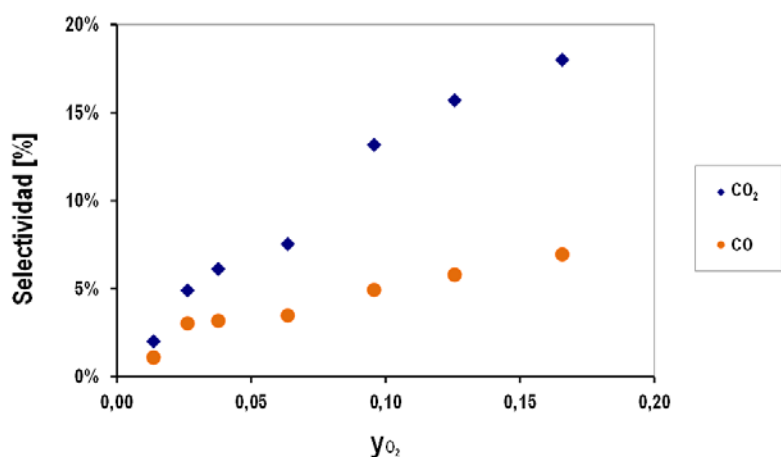
**Figura 2.** Efecto de la variación de la concentración de oxígeno en la corriente de alimentación al sistema de reacción sobre la conversión de EB y la selectividad a ET.

Se puede apreciar una disminución progresiva en la conversión de EB con el aumento de la concentración de  $O_2$ , siendo más acentuada a bajas concentraciones. En ese sentido, cuando se incrementa dicha concentración en más de diez veces, la conversión disminuye un 45%. En cambio, la selectividad a estireno presenta un máximo a bajas concentraciones de oxígeno para luego disminuir a concentraciones mayores.

Los resultados observados indican que a bajas concentraciones de oxígeno se favorecería la formación de estireno, probablemente asociada al desarrollo de funcionalidades oxigenadas activas en la reacción, sobre la superficie del carbón activado. Con el incremento de la concentración de oxígeno en el sistema de reacción, se produciría un exceso estequiométrico del mismo que favorecería la oxidación excesiva de la superficie carbonosa, conduciendo a la disminución de la selectividad a ET. Esto provocaría un mayor desarrollo de funcionalidades con características fuertemente ácidas, conformando sitios que no son activos en la DHO y que promueven la formación de productos de oxidación total. Tagaway colaboradores (1983) estudiaron catalizadores ácidos y concluyeron que las reacciones de combustión se atribuirían a la oxidación de los compuestos carbonosos depositados, fundamentalmente, en los sitios de mayor acidez sobre la superficie del sólido.

Las muestras de carbón activado mostraron que a una fracción molar de  $O_2$  de 0,064, el aumento de masa del catalizador fue del 4,6% mientras que para 0,01 el aumento de masa fue del 6,7%. Esto indica que la deposición de productos de condensación oxidativa (PCO) disminuye con el aumento de la fracción molar de oxígeno en la alimentación que ingresa al reactor. Probablemente, la gasificación de los PCO depositados en la superficie del carbón activado y del propio catalizador aumentaría con la mayor composición de oxígeno en el sistema de reacción, sugiriendo una competencia entre la deposición de PCO y la gasificación.

En la Figura 3 se representan las selectividades de dióxido de carbono y monóxido de carbono en función de la fracción molar del oxígeno en la corriente de alimentación.

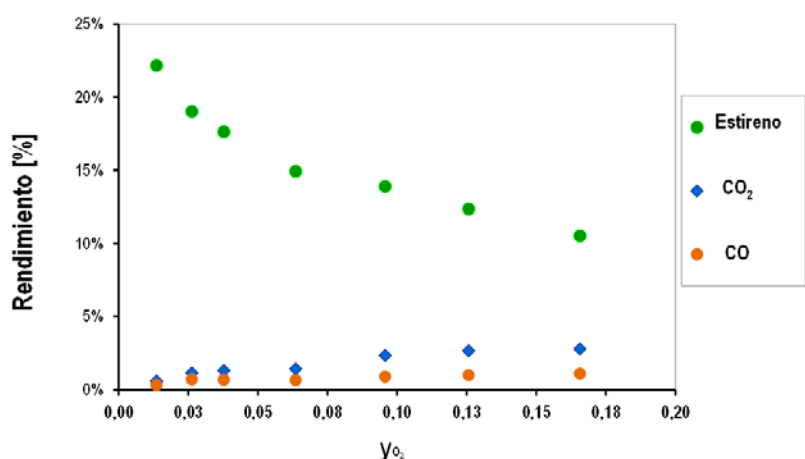


**Figura 3.** Efecto de la variación de la concentración de oxígeno en la corriente de alimentación al sistema de reacción sobre las selectividades a  $CO_2$  y  $CO$ .

Los productos de oxidación total,  $\text{CO}_2$  y  $\text{CO}$ , aumentaron sensiblemente con el aumento de la fracción molar de  $\text{O}_2$ , probablemente debido no sólo a la combustión de EB y ET sino también a la gasificación de los PCO. Estos resultados están en concordancia con los obtenidos para carbones activados y catalizadores ácidos (Kurakami, 1982; Pereira et al., 2000).

La selectividad a  $\text{CO}_2$  resultó muy superior a la de  $\text{CO}$  al incrementar la concentración de  $\text{O}_2$ . Por lo tanto, el aumento de la concentración de oxígeno favorece claramente la formación de  $\text{CO}_2$ , indicando que la oxidación completa es más relevante que la oxidación incompleta. Cuando se incrementó en más de diez veces la concentración de oxígeno, la selectividad de  $\text{CO}_2$  aumentó nueve veces, mientras que la selectividad de  $\text{CO}$  aumentó en un factor igual a siete.

En la Figura 4 se presentan los rendimientos a ET,  $\text{CO}_2$  y  $\text{CO}$  para diferentes composiciones de oxígeno, a tiempo de residencia constante. En dicha figura se observa que el rendimiento a estireno disminuye acentuadamente con el incremento de la fracción molar del oxígeno, con lo que el aumento en la selectividad a estireno, a bajas fracciones molares de  $\text{O}_2$ , no compensaría la caída en la conversión de EB. Por otro lado, se incrementan levemente los rendimientos a  $\text{CO}$  y  $\text{CO}_2$  al aumentar la concentración de oxígeno en la alimentación.



**Figura 4.** Efecto de la variación de la concentración de oxígeno en la corriente de alimentación al sistema de reacción sobre los rendimientos a ET,  $\text{CO}_2$  y  $\text{CO}$ .

Para profundizar el análisis del efecto causado por la modificación de la concentración de oxígeno sobre la actividad catalítica del carbón activado en la DHO, en la Figura 5 se presentan comparativamente los rendimientos a ET en función del tiempo de reacción, para el CAA, empleando dos concentraciones diferentes de oxígeno, 1% (CAA1) y 5% (CAA5).



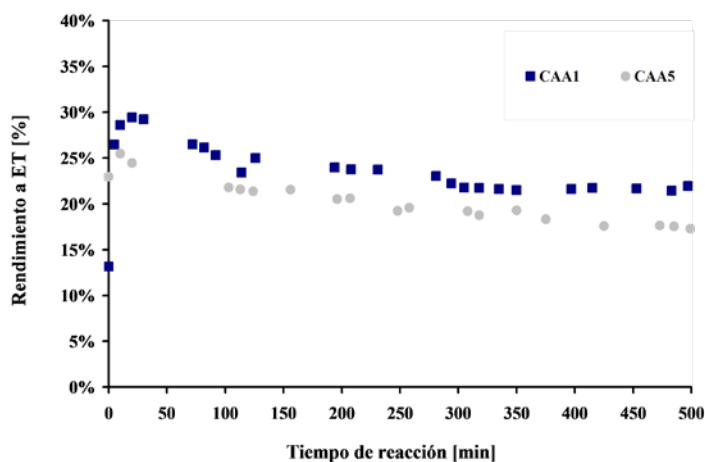


Figura 5. Evolución temporal del rendimiento a ET para la muestra CAA1 ( $y_{O_2} = 0,01$ ) y para la muestra CAA5 ( $y_{O_2} = 0,05$ ). Condiciones operativas:  $y_{EB} = 0,01$ , temperatura =  $350^{\circ}C$  y  $\tau = 0,001$  min.g/ml.

Las muestras CAA1 y CAA5 exhibieron un pronunciado ascenso en el rendimiento a estireno en los primeros instantes de la reacción para luego descender levemente, alcanzando la estabilidad luego de 300 minutos. El rendimiento final fue superior para la muestra ensayada a la menor concentración de oxígeno. Además, la muestra CAA1 presentó valores de selectividades a CO y CO<sub>2</sub> de 1 y 1,8%, respectivamente, luego de 500 minutos de reacción. Por otra parte, la muestra CAA5 mostró valores superiores en las selectividades a productos de oxidación total; éstos fueron de 18% para el CO y 3% para el CO<sub>2</sub>.

El análisis elemental (en base seca y libre de cenizas) de los carbones activados CAA1 y CAA5, usados como catalizadores en la reacción de DHO, se presenta en la Tabla 2. Además, en la misma, se muestra la variación de masa experimentada por los mismos después de la reacción.

Tabla 2. Análisis elemental de los CAs y variación porcentual del peso de los usados (CAA1 y CAA5).

Muestra	C [%]	H [%]	N [%]	O [%]*	$\Delta W$ [%]
CAA	88,0	2,4	0,2	9,4	-----
CAA1	83,0	2,1	0,2	14,6	6,7
CAA5	81,2	2,1	0,2	16,5	4,8

\* Estimado por diferencia.

Se pueden apreciar las modificaciones introducidas en las composiciones elementales de los CAs, como consecuencia de la reacción de DHO. Las muestras usadas CAA1 y CAA5 presentaron un descenso en el contenido de carbono y consecuentemente un aumento en el contenido de oxígeno, con respecto al CAA. También, se observaron incrementos de masa para ambos carbones activados, siendo superior para la muestra CAA1.

En la Figura 5 se observa un incremento inicial en los rendimientos a ET para ambas muestras.

Este estaría relacionado con la conformación de una nueva superficie activa por la deposición de PCO, en concordancia con el aumento de masa observado. Una vez alcanzado el estado estacionario la deposición de coque parecería compensarse con la gasificación del mismo, en concordancia con lo informado por Pereira et al. (2000).

Según Lisovskii y Aharoni (1994), los roles principales del oxígeno son intervenir en la remoción de los hidrógenos del radical alquílico del EB formando el enlace olefínico, tomar parte relevante en la formación de PCO y en la combustión de los mismos. El oxígeno participaría en la conformación de una nueva superficie con características químicas sustancialmente diferentes, como se evidencia en la distribución de grupos funcionales oxigenados superficiales que se presenta en la Figura 6.

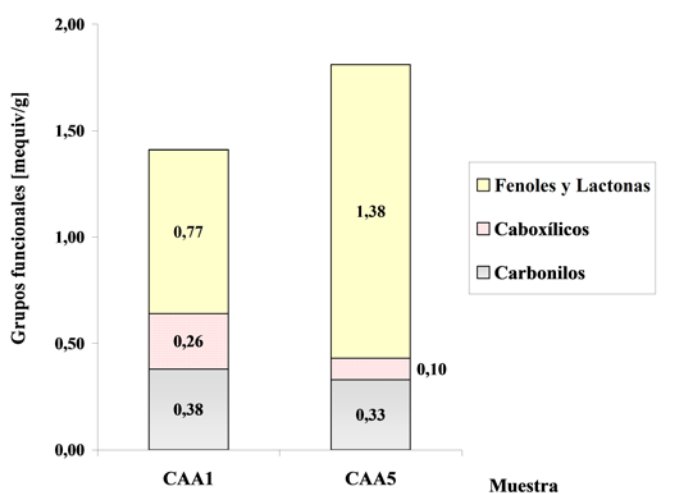


Figura 6. Contenido de grupos funcionales oxigenados superficiales en las muestra CAA1 y CAA5.

El contenido de Grupos Funcionales Oxigenados Totales ( $G_{FOT}$ ) fue superior para la muestra evaluada a la mayor concentración de oxígeno. En particular, esta muestra presentó un mayor contenido de grupos fenoles y lactonas, siendo casi el doble del determinado para el CAA1. Esto estaría indicando que el mayor contenido de oxígeno en la alimentación favorece el desarrollo de estas funcionalidades superficiales, que no son activas en la DHO de EB.

Los grupos lactonas tienden a eliminarse en forma de  $CO_2$  en las condiciones operativas de la reacción, confirmado por varios autores mediante espectros de temperatura programada de desorción (TPD) aplicado a materiales carbonosos (Whitehurst, 1995; Zielke et al., 1996; Pereira et al., 1999). Posiblemente, la atmósfera oxidante más severa favorece la formación de estos grupos superficiales y su posterior descomposición térmica. En cambio, el contenido de grupos carboxílicos correspondiente a la muestra CAA5 es inferior al presentado por el carbón activado CAA1.

La temperatura de reacción empleada en la reacción promueve la descomposición térmica de estos grupos superficiales (Pereira et al., 1999), pero la atmósfera oxidante más severa favorecería aún más la descomposición de los mismos.

El contenido de grupos carbonilos para la muestra CAA5 se modificó muy levemente respecto al de la muestra CAA1, que serían parcialmente responsables en las diferencias encontradas en el rendimiento a ET para ambas condiciones operativas (Figura 5).

También, se produjo un descenso en los PCO depositados sobre la superficie del carbón con el aumento de la concentración de oxígeno (Tabla 2). La menor variación de masa determinada para la muestra CAA5 contribuiría al descenso en el rendimiento a ET observado, en relación a la muestra CAA1. Las características texturales para ambas muestras, CAA1 y CAA5, como así también las correspondientes al carbón activado original, CAA, se presentan en la Tabla 3.

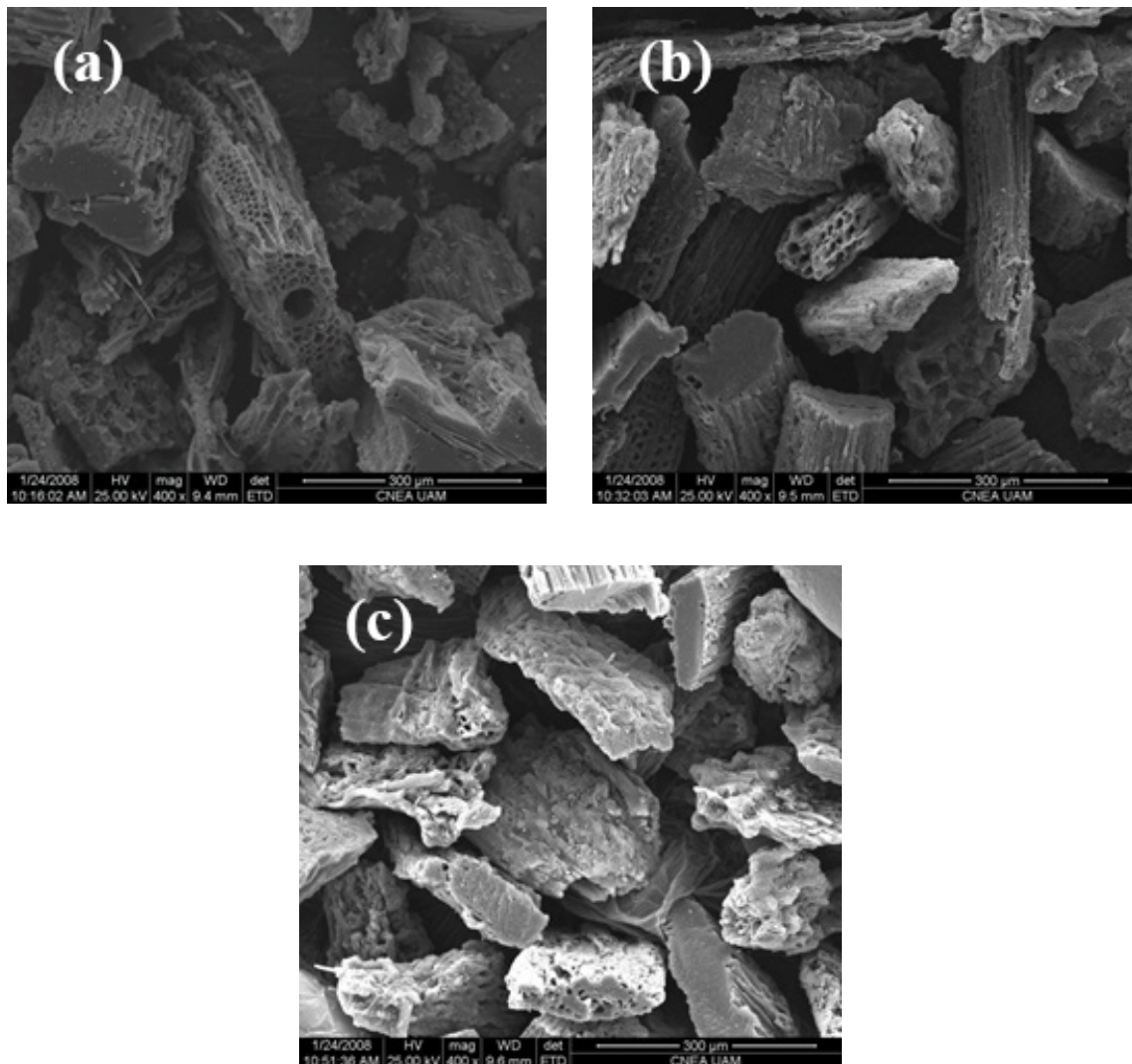
**Tabla 3.** Propiedades texturales de los carbones activados CAA, CAA1 y CAA5.

<b>Parámetro</b>	<b>CAA</b>	<b>CAA1</b>	<b>CAA5</b>
<b>S<sub>BET</sub> [m<sup>2</sup>/g]</b>	2281	933	932
<b>A<sub>EXT</sub> [m<sup>2</sup>/g]</b>	622	319	363
<b>V<sub>T</sub> [cm<sup>3</sup>/g]</b>	1,73	0,75	0,78
<b>r [Å]</b>	15	16	17
<b>V<sub>micro</sub> [cm<sup>3</sup>/g]</b>	1,16	0,48	0,52
<b>V<sub>meso</sub> [cm<sup>3</sup>/g]</b>	0,57	0,27	0,26
<b>L<sub>0</sub> [Å]</b>	8	9	9
<b>V<sub>0,1</sub> / V<sub>0,95</sub> [%]</b>	54	50	50

Las características texturales de la muestra CAA1 no presenta variaciones significativas respecto a la muestra CAA5. El área externa correspondiente a la muestra CAA5 es ligeramente superior a la del carbón activado CAA1; el volumen de microporos y el radio medio de poros también muestran un comportamiento similar. Estos resultados permiten inferir que la modificación de la concentración de oxígeno, no introdujo cambios relevantes en las características texturales finales de ambas muestras.

Sin embargo, se observó un cambio muy pronunciado en los parámetros texturales obtenidos para ambos carbones, usados en la DHO, respecto del carbón activado original CAA. A partir de los mismos se aprecia claramente la disminución del área BET, del área externa, el volumen total de poros, el volumen de micro y mesoporos como así también del porcentaje de la microporosidad más estrecha. En cambio, se produjeron aumentos leves del radio medio de poros y del tamaño de microporos. Todo esto evidencia el bloqueo parcial de la estructura porosa, como así también que, en las condiciones ensayadas, se favorece la formación de una estructura más abierta con poros de mayor diámetro. El comportamiento diferente de ambas muestras está probablemente muy asociada a las diferencias encontradas en las funcionalidades oxigenadas superficiales.

La micrografía SEM correspondiente a la muestra CAA5 se presenta en la Figura 7c y, con propósitos comparativos, se incluyen también las micrografías correspondientes al carbón activado original CAA (Figuras 7a) y la muestra CAA1 usada en la DHO (Figura 7b).



**Figura 7.** (a) Micrografía SEM del carbón activado CAA, (b) Micrografía SEM del carbón activado CAA1 y (c) Micrografía SEM del carbón activado CAA5. Magnificación: x 400.

En estas micrografías pueden apreciarse las modificaciones producidas en las características morfológicas del carbón activado desarrollado luego de su empleo en la DHO, al incrementar la concentración de oxígeno en la reacción. El deterioro superficial se incrementa fuertemente con el aumento de la fracción molar del  $O_2$  ocasionado por el doble efecto, la deposición de PCO y la gasificación del sólido. Como ya se ha señalado, la micrografía correspondiente a la muestra CAA permite distinguir la estructura original del precursor lignocelulósico, mientras que la correspondiente a la muestra CAA1 usada en la DHO presentó el colapso parcial de la estructura original y el desmejoramiento superficial sufrido como consecuencia de la reacción.

Al aumentar la concentración de oxígeno en la reacción, el daño fue superior como puede apreciarse en la micrografía correspondiente a la muestra CAA5 (Figura 7c).

## EFFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE ETILBENCENO

Los ensayos catalíticos para analizar la influencia de la composición de etilbenceno en la alimentación se llevaron a cabo en estado estacionario de acuerdo a las condiciones que se detallan en la Tabla 4.

Tabla 4. Condiciones de operación empleadas en las experiencias de DHO, empleando el CAA.

Parámetro	
Masa de carbón activado [g]	0,3
Concentración de O <sub>2</sub> en la alimentación [% v/v]	2,6
Fracción molar de EB [%]	0,3 – 2,2
Caudal [ml / min]	300
Diámetro promedio de partícula [μm]	≤450
Temperatura de reacción [°C]	350
τ [g. min / ml]*	0,001

\* τ: tiempo de residencia [Masa catalizador / Caudal volumétrico]

La conversión de EB y la selectividad a ET en la DHO, empleando diferentes concentraciones de EB en la corriente de alimentación al reactor, se presenta en la Figura 8.

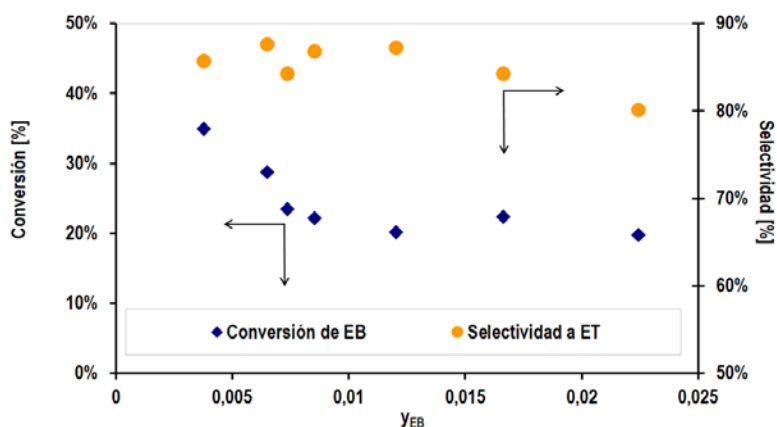


Figura 8. Efecto de la variación de la concentración de EB sobre la conversión y la selectividad a ET.

La conversión desciende marcadamente a bajas fracciones molares de etilbenceno para luego estabilizarse a fracciones molares mayores, en las condiciones operativas evaluadas. Cabe consignar que dicho cambio va acompañado de un pronunciado incremento en la masa del carbón activado luego de ser usado como catalizador en la reacción.

Por otra parte, la selectividad a ET presenta un comportamiento diferente ya que se mantiene casi sin variaciones significativas a fracciones molares de EB menores al 1,6%, para luego disminuir levemente.

El aumento de la concentración de EB incrementó la deposición de PCO, que impediría el acceso de dicho reactivo a los sitios activos del carbón activado posiblemente por el bloqueo de los poros más pequeños. Esto conduciría a la disminución en la conversión de EB. Sin embargo, la selectividad a estireno parecería ser independiente de la concentración de EB para el rango de concentraciones ensayado. Por lo tanto, el aumento de la concentración de EB en la alimentación produciría una mayor deposición de coque en la superficie de los carbones activados empleados en la DHO, en concordancia con lo informado por Pereira et al. (2000).

Las selectividades a productos de oxidación total, tanto CO<sub>2</sub> como CO, en función de la concentración de EB en la alimentación se muestran en la Figura 9.

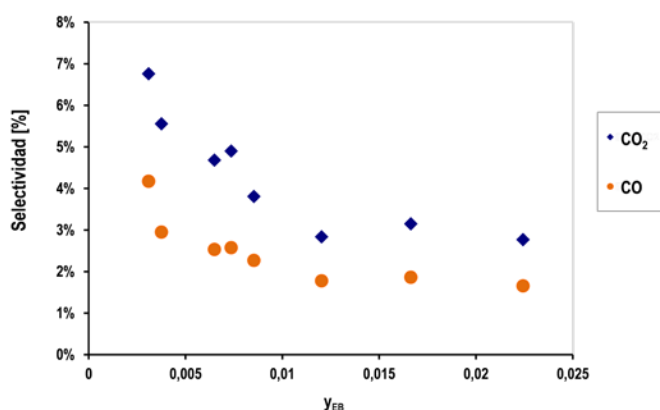


Figura 9. Efecto de la variación de la concentración de EB sobre las selectividades a CO<sub>2</sub> y CO.

La selectividad a CO<sub>2</sub> disminuye sensiblemente con el aumento de la concentración de EB. La selectividad a CO exhibe un comportamiento similar, aunque el descenso es menos pronunciado.

Los rendimientos a estireno y a productos de oxidación total, tanto CO<sub>2</sub> como CO, se presentan en la Figura 10.

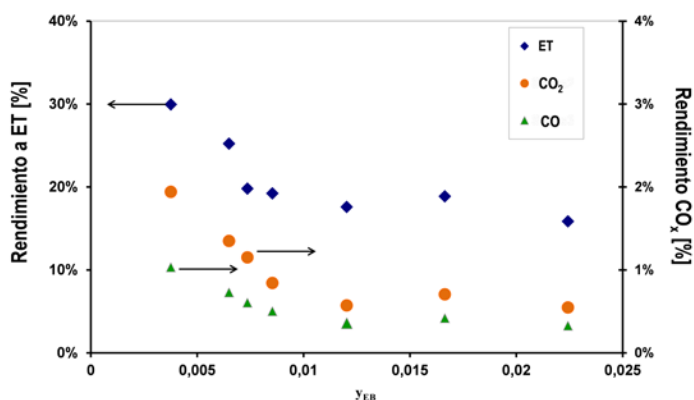


Figura 10. Efecto de la variación de la concentración de EB sobre los rendimientos a ET, CO<sub>2</sub> y CO.

Como puede observarse, los rendimientos tanto a estireno como a productos de oxidación total decrecen con el aumento de la fracción molar de etilbenceno. Los resultados sugieren que una relación  $O_2/EB$  más baja parecería favorecer en primera instancia una mayor deposición de coque, que bloquearía la estructura porosa y, en segunda instancia, una menor oxidación superficial que provocaría la disminución de sitios activos para la DHO. Un comportamiento similar fue reportado por otros autores que emplearon catalizadores ácidos y carbones activados en la DHO (Kurakami, 1982; Pereira et. al., 2000). En las condiciones operativas utilizadas en los ensayos catalíticos, la conversión de EB disminuye con el incremento en la concentración de EB, sugiriendo que las etapas de reacción que involucran a este reactivo condicionarían fuertemente la cinética de la reacción.

A continuación, en la Figura 11, se presenta la evolución de la conversión de EB en función del tiempo de reacción, para dos muestras de carbones activados empleando distintas concentraciones de EB en la DHO. Con el acrónimo CAAH se identifica el carbón activado usado en la DHO, empleando la mayor concentración de EB ( $y_{EB} = 0,016$ ) y CAAL, indica el carbón activado usado, para la menor concentración de EB ( $y_{EB} = 0,009$ ). Los ensayos catalíticos se llevaron a cabo a la temperatura de reacción de  $350^\circ C$ , con una fracción molar de  $O_2$  de 0,07 y a un tiempo de residencia de  $0,0013 \text{ g.min.ml}^{-1}$ .

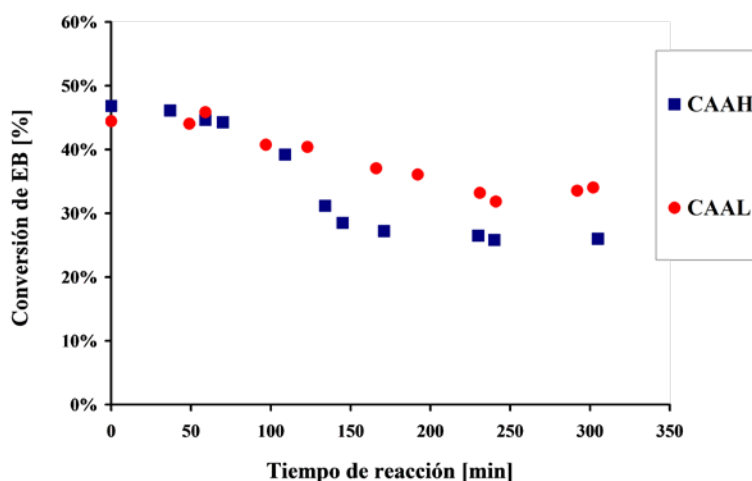


Figura 11. Evolución temporal de la conversión de EB para CAAL y CAAH

La conversión de EB fue similar para ambas muestras de carbones activados (CAAH y CAAL) en los primeros 100 minutos de reacción. Con el transcurso de la reacción, la muestra CAAH presenta una caída más pronunciada en la conversión de EB, siendo un 26 % inferior a la alcanzada por la muestra CAAL, luego de 310 minutos de reacción.

Los rendimientos a estireno, dióxido de carbono y monóxido de carbono se presentan en las Figuras 12 (a), (b) y (c), respectivamente.

En dichas figuras se pueden apreciar rendimientos levemente superiores a ET,  $CO_2$  y CO para la muestra CAAL, que corresponde al carbón activado evaluado a la menor concentración de EB en la alimentación. Ambas muestras presentaron un aumento en el rendimiento a estireno en los instantes iniciales, para luego descender hasta alcanzar la estabilidad. Además, la mayor concentración de EB, en la corriente que alimenta al sistema de reacción, parecería inhibir la reacción que conduce a la formación de productos de oxidación total.

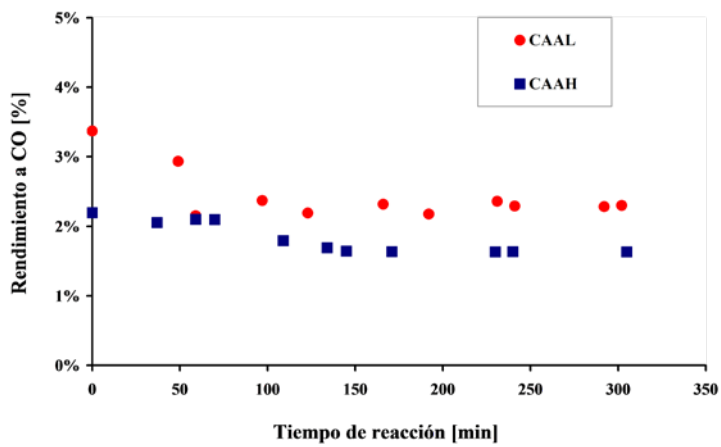
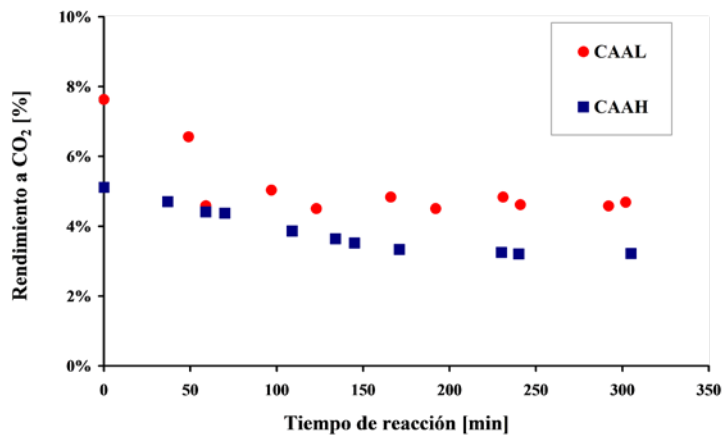
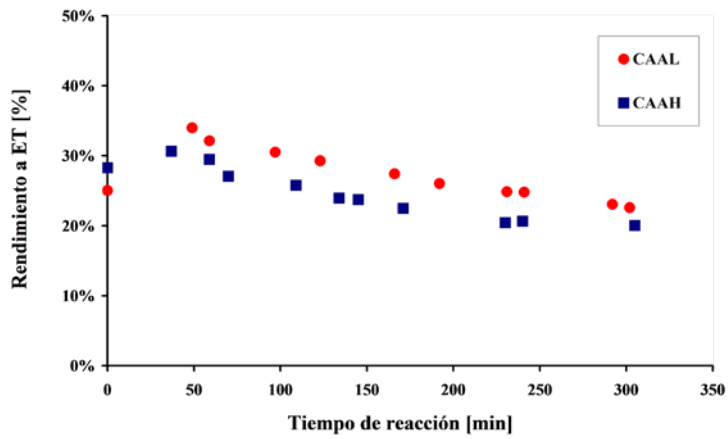


Figura 12. Evolución temporal de los rendimientos a ET(a), a CO<sub>2</sub>(b) y a CO(c), para CAAL y CAAH



Las características texturales para ambas muestras, CAAL y CAAH determinadas luego de 310 minutos de reacción, se presentan en la Tabla 5.

En la misma se observa que la muestra CAAH presentó valores un tanto inferiores para el área superficial BET, el volumen total de poros, volumen de microporos y porcentaje de microporosidad hasta 7 Å, que los mostrados por la muestra CAAL.

**Tabla 5.** Propiedades texturales de los carbones activados usados en la DHO (CAAL y CAAH) a diferentes concentraciones de EB en la alimentación al sistema de reacción.

<b>Parámetro</b>	<b>CAAL</b>	<b>CAAH</b>
<b>S<sub>BET</sub> [m<sup>2</sup>/g]</b>	939	813
<b>A<sub>EXT</sub> [m<sup>2</sup>/g]</b>	363	367
<b>V<sub>T</sub> [cm<sup>3</sup>/g]</b>	0,79	0,73
<b>r [Å]</b>	16	18
<b>V<sub>micro</sub> [cm<sup>3</sup>/g]</b>	0,51	0,42
<b>V<sub>meso</sub> [cm<sup>3</sup>/g]</b>	0,28	0,31
<b>L<sub>0</sub> [Å]</b>	9	10
<b>V<sub>0,1</sub> / V<sub>0,95</sub> [%]</b>	50	45
<b>ΔW [%]</b>	4,0	8,2

En cambio, los valores fueron superiores para el volumen de mesoporos, radio medio de poros y microporos para la muestra ensayada a la mayor concentración de EB (CAAH). Además, ambas muestras presentaron valores similares para el área externa.

En la tabla anterior se presentan también las variaciones de masa sufridas por las muestras CAAL y CAAH, usadas en la reacción. Estos resultados indican que con el transcurso de la reacción, la deposición de PCO es significativamente mayor para la muestra CAAH. Los resultados sugieren que el aumento en la concentración de EB, produciría una mayor deposición de PCO que bloquearían los poros más pequeños, dificultando el acceso de reactivo y el egreso del producto deseado. Esto estaría en concordancia con la disminución observada en la conversión de EB con el aumento de la concentración de este reactivo en la corriente de alimentación (Figuras 8 y 11). Al mismo tiempo, la deposición de PCO parecería conducir a la conformación de una estructura más mesoporosa con poros de mayor diámetro.

En resumen, el aumento de la concentración de etilbenceno provoca un descenso en la conversión de EB, inhibiendo la formación de productos de oxidación total (CO<sub>2</sub> y CO) y no afectando sensiblemente la selectividad a estireno. Además, favorecería la formación de los PCO, afectando las características texturales por el bloqueo parcial de la estructura porosa.

## CONCLUSIONES

El aumento en la concentración de oxígeno en la alimentación al sistema de reacción, no favoreció la actividad catalítica. Este aumento provocaría el incremento en el contenido de  $G_{\text{FOT}}$ , especialmente por la formación de grupos funcionales ácidos, lactonas y fenoles, que no resultarían activos en la deshidrogenación de etilbenceno a estireno y por la facilidad de oxidarse a  $\text{CO}_2$  de los primeros. Con el incremento de la concentración de oxígeno en el sistema de reacción, se produciría un exceso estequiométrico del mismo que favorecería la oxidación excesiva de la superficie carbonosa, conduciendo a la disminución de la selectividad a ET. Además, la selectividad a  $\text{CO}_2$  resultó muy superior a la de CO, indicando que la oxidación completa fue más relevante que la oxidación incompleta. Se verificó el bloqueo parcial de la estructura porosa del sólido y el colapso de la estructura original del carbón activado. Estas modificaciones estructurales y superficiales que evidenció el carbón activado CAA, provocarían la disminución en la conversión de etilbenceno y el rendimiento a estireno, incrementando la formación de productos de oxidación total.

El aumento de la concentración de etilbenceno provocó un descenso en la conversión de EB, inhibiendo la formación de productos de oxidación total ( $\text{CO}_2$  y CO) pero sin afectar sensiblemente la selectividad a estireno. Además, el incremento de los productos de condensación oxidativa resultó favorecido, provocando el bloqueo parcial de la estructura porosa.

Los resultados sugieren que una relación  $\text{EB}/\text{O}_2$  más alta favorecería en primera instancia una mayor deposición de coque, que bloquearía la estructura porosa y, en segunda instancia, una menor oxidación superficial que provocaría la disminución de sitios activos para la DHO.

## REFERENCIAS

Basso, M. C., Cerrella, E. G., & Cukierman, A. L. (2002). Activated carbons developed from a rapidly renewable biosource for removal of cadmium (II) and nickel (II) ions from dilute aqueous solutions. *Industrial & engineering chemistry research*, 41(2), 180-189.

Carrott, P. J. M., Carrott, M. R., & Mourao, P. A. M. (2006). Pore size control in activated carbons obtained by pyrolysis under different conditions of chemically impregnated cork. *Journal of analytical and applied Pyrolysis*, 75(2), 120-127.

Girgis, B. S., Attia, A. A., & Fathy, N. A. (2007). Modification in adsorption characteristics of activated carbon produced by  $\text{H}_3\text{PO}_4$  under flowing gases. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 299(1-3), 79-87.

Kurakami, Y., Iwayama, K., Uchida, H., Hattori, T., & Tagawa, T. (1982). Screening of catalysts for the oxidative dehydrogenation of ethylbenzene. *Applied Catalysis*, 2(1-2), 67-74.

Lisovskii, A. E., & Aharoni, C. (1994). Carbonaceous deposits as catalysts for oxydehydrogenation of alkylbenzenes. *Catalysis Reviews—Science and Engineering*, 36(1), 25-74.

Pereira, M. F. R., Orfao, J. J. M., & Figueiredo, J. L. (1999). Oxidative dehydrogenation of ethyl-

benzene on activated carbon catalysts. I. Influence of surface chemical groups. *Applied Catalysis A: General*, 184(1), 153-160.

Pereira, M. F. R., Orfao, J. J. M., & Figueiredo, J. L. (2000). Oxidative dehydrogenation of ethylbenzene on activated carbon catalysts: 2. Kinetic modelling. *Applied Catalysis A: General*, 196(1), 43-54.

Stoeckli, F., Rebstein, P., & Ballerini, L. (1990). On the assessment of microporosity in active carbons, a comparison of theoretical and experimental data. *Carbon*, 28(6), 907-909.

Tagawa, T., Iwayama, K., Ishida, Y., Hattori, T., & Murakami, Y. (1983). Study of the oxidative dehydrogenation of ethylbenzene: IV. Extension of the reaction mechanism to various solid acid catalysts and its application to catalyst design. *Journal of Catalysis*, 79(1), 47-57.

Whitehurst D.D. (1995). Carbon as an oxidation catalyst, Mobil Research and Development Corp.

Zielke, U., Hüttinger, K. J., & Hoffman, W. P. (1996). Surface-oxidized carbon fibers: I. Surface structure and chemistry. *Carbon*, 34(8), 983-998.



# LAS VOCES DE LOS ESTUDIANTES: ¿QUÉ DICEN Y QUÉ HACEN AL RESOLVER PROBLEMAS ABIERTOS?

Fecha de Recepción: 29 de junio de 2020 • Fecha de Aceptación: 24 de agosto de 2020

**Bender, Gustavo\*;** Defago, Alejandra E.; Feo, Dario y Ortalda Alicia

Grupo de Investigación en Enseñanza de las Ciencias (GIEC)  
Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Avellaneda

*\*Autor a quién la correspondencia debe ir dirigida*  
Correo electrónico: [gbender@fra.utn.edu.ar](mailto:gbender@fra.utn.edu.ar), [gussbender@gmail.com](mailto:gussbender@gmail.com)

## RESUMEN

La resolución de problemas semiabiertos de diseño, junto con el informe de sus resultados, son algunas de las actividades de mayor demanda cognitiva que se puede proponer a estudiantes de los primeros años de Ingeniería. Un adecuado planteo de estas actividades permite el desarrollo de competencias genéricas (de diseño y comunicativas) propias de las materias de la formación inicial.

En este trabajo presentamos la visión de los estudiantes acerca de estas actividades obtenida a través de un cuestionario que respondieron con posterioridad a la realización de la actividad.

Las respuestas obtenidas permiten ver, por un lado, que la resolución de problemas abiertos suscita interés entre los estudiantes y, por el otro, muestra que, al organizar la tarea, los

estudiantes realizan primero acciones de contextualización como búsqueda de información e investigación antes que emprender diseños o resoluciones irreflexivas.

Las respuestas de los estudiantes muestran que la resolución de problemas abiertos suscita mucho interés y además que, a la hora de resolver problemas, los estudiantes privilegian acciones relacionadas con la búsqueda de información e investigación antes que a la resolución irreflexiva.

**Palabras Claves:** Enseñanza de Física, Resolución de problemas abiertos de diseño, Habilidades comunicativas, Desarrollo de competencias genéricas.

## ABSTRACT

Solving semi-open design problems, together with the report of their results, are activities which enroll high cognitive demand that can be proposed to students of the first years of technical careers. An adequate approach to these activities allows the development of generic competences (design and communication) typical of the subjects of initial training.

In this work we present the students' voices when they refer to these activities, obtained through a questionnaire that they answered after carrying out the activity.

Students' answers shows, on the one hand,

that solving open problem activities promotes interest and motivates them and, on the other, we could visualize that, when organizing the task, students first carry out contextualization actions such as searching for information and research before undertaking thoughtless designs or resolutions.

**Key words:** Physics Teaching, Solving open design problems, Communication skills, Development of generic skills.

## INTRODUCCIÓN

En este trabajo se presentan las voces de los estudiantes acerca de una experiencia desarrollada en el segundo año de la carrera de ingeniería de la carrera de ingeniería de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Avellaneda, (en adelante UTN-FRA), en la materia Física II. Como mencionáramos en trabajos anteriores (Bender y Defago, 2019) la intención de dicha experiencia fue trabajar en la construcción de habilidades de resolución de problemas y de comunicación tendientes a contribuir al desarrollo progresivo de las competencias profesionales deseables en los futuros egresados en relación con su desempeño como profesionales de la ingeniería.

En este sentido, nos habíamos propuesto contribuir desde las materias básicas a desarrollar las habilidades vinculadas con la resolución de problemas, así como con aquellas asociadas a las competencias comunicativas, que se encuentran entre las competencias generales para la construcción del rol profesional (libro Rojo CONFEDI, 2018). La tarea propuesta implicaba también habilidades propias del desempeño grupal en el terreno de las relaciones con otros para la realización de una tarea común.

El problema propuesto se constituía en un desafío que debía atender a múltiples constricciones simultáneamente y en eso radicaba, precisamente, su riqueza y su potencialidad. Hilvanado con el trabajo que se desarrolla en la materia deseábamos promover actividades de evaluación que requirieran mayor compromiso con la tarea y actuaciones progresivamente más autónomas por parte de los estudiantes. En este sentido, y asociado a las nuevas políticas de acreditación de la UTN que implicaban un régimen de promoción, decidimos generar un problema que pudiera ser instrumento de evaluación en el que los estudiantes debieran desplegar las diversas habilidades requeridas y trabajadas durante el curso, tal como referimos en presentaciones anteriores (Bender, Defago y Feo, 2018).

Las cuestiones que pusimos en consideración al generar dicho instrumento fueron:

- Que presentara una situación desafiante pero posible de ser resuelta por los estudiantes.
- Que fuera de carácter grupal y que el objetivo solo pudiera alcanzarse con la participación de todos.
- Que las tareas estuvieran vinculadas a los temas trabajados que debían acreditarse, que implicara el desarrollo de habilidades comunicativo-lingüísticas, sociales y procedimentales, asociadas a la resolución de problemas no cerrados y reales.
- Que fuera posible de ser evaluado integralmente y sin representar una sorpresa para los estudiantes. Es decir, queríamos sostener la ética de la evaluación.

Desde estas intenciones se fue generando un proceso de colaboración entre docentes de la materia que implicó avances y retrocesos y que permitió a lo largo de las sucesivas etapas, la reflexión sobre los diversos aspectos considerados, incluida la reciente normativa generada por la UTN. Así se logró la redacción final del problema -que se explicita más adelante- y que serviría como condición de promoción para los estudiantes del curso.

En los trabajos anteriores presentados por los autores (Bender, Defago, 2019) hemos hecho hincapié en las estrategias de resolución de problemas y en el desarrollo de las habilidades comunicativo-lingüísticas que pretendíamos contribuir a desarrollar en los estudiantes. En la evaluación de la actividad propuesta también reflexionamos sobre los aspectos relacionados con la valoración de la actuación de los estudiantes y la necesidad observada de acompañar la consigna del problema con una rúbrica que señalara con claridad cuáles serían los requerimientos a evaluar y los criterios con que los mismos serían evaluados.

Al interior de la cátedra, en la materia Física II, hemos avanzado en la propia formación del cuerpo de profesores en relación con las discusiones llevadas a cabo a propósito de redacción de esta situación-problema en múltiples aspectos como los mencionados en párrafos anteriores. También implicó una reflexión sobre la enseñanza, en tanto fue necesario encontrar el lugar adecuado en el que el docente fuera sostén del trabajo de los grupos, al tiempo que promoviera la autonomía de los estudiantes. Desde todo punto de vista, esta experiencia, que llevó en total cuatro años de desarrollo hasta el punto en el que hoy nos encontramos, ha resultado productiva y ha despertado nuestro interés por continuar y profundizar este tipo de tareas y el desarrollo de las habilidades buscadas. Solo nos faltaba un ingrediente, a nuestro juicio central, para las siguientes fases y las posibles modificaciones: escuchar la voz de los estudiantes.

En esa dirección decidimos a lo largo del 2019 indagar los pareceres, sensaciones, obstáculos y crecimientos que los propios estudiantes asociaban a la realización de este trabajo. Por eso, realizamos un seguimiento de los grupos y los enriquecimos con indagaciones a través de diversos instrumentos: entrevistas, encuestas, focus group, entre otros. Mucho de ese abundante material está siendo aún procesado. Queremos presentar, en esta oportunidad, un primer esbozo de las opiniones de los estudiantes por considerarlo valioso en tanto nos brinda información oportuna y relevante para la continuidad de las actividades de enseñanza a desarrollar en futuros cursos. Presentaremos a continuación los resultados parciales a los que hemos arribado hasta el momento.

### **El problema elegido**

Tanto la resolución de problemas de diseño como el desarrollo de competencias lingüísticas y comunicativas constituyen el nudo de los desarrollos de investigaciones recientes en enseñanza de Física en las carreras de Ingeniería ya que implican, por una parte, el desarrollo de nuevas

prácticas para la formación de futuros profesionales y por otra, poner el foco en el desarrollo de competencias que superen el mero manejo de información o la resolución de ejercicios tipificados. En nuestro caso de investigación no tratamos con lo que se conoce como Aprendizaje Basado en problemas, sino que se trata del Aprendizaje Basado en Resolución de problemas (ABRP) (Guisasola, 2014) y situaciones problemáticas.

El caso analizado se trata de una actividad de diseño y modelado, que implica el grado más complejo e integrador dentro de la habilidad de resolución de problemas exigibles en una materia básica y, en nuestro caso, la situación problema se ha acotado y adaptado para que sea accesible a los conocimientos y posibilidades de los estudiantes de Física II. Se planteaba el problema de climatizar dos ambientes como los de la figura. La temperatura media exterior se proponía de  $10^{\circ}\text{C}$  y se pedía mantener una habitación a  $20^{\circ}\text{C}$  en promedio y la otra a  $15^{\circ}\text{C}$  en promedio.

Los alumnos debían definir las dimensiones de la habitación, las dimensiones de las puertas y ventanas y los materiales y grosores de las paredes, el piso, las ventanas y las puertas. En base a esas dimensiones calculaban la potencia de la o las estufas a comprar y el costo total de operación de la estufa. A manera de orientación inicial se les especificaron normas de redacción, cita de fuentes, así como el formato de las ecuaciones y los gráficos. El resultado era requerido en formato digital y en papel según normas pedidas por el docente.

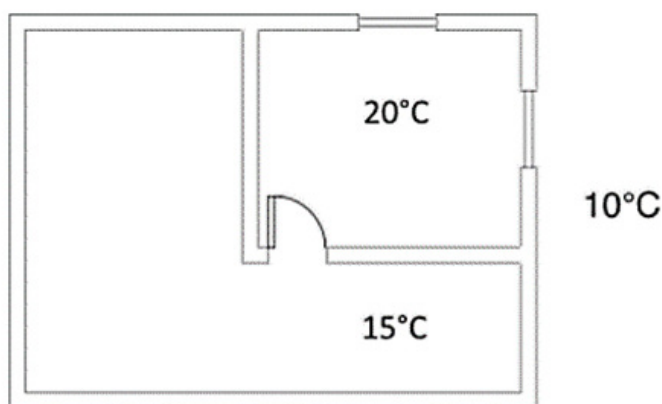


Figura 1. Esquema de habitaciones y temperaturas del problema a resolver

El problema tenía que ser resuelto por grupos de no más de tres alumnos. De este modo, no solo se compartía la tarea estableciendo las responsabilidades personales, sino y, sobre todo, se generaba un espacio en la cual compartir las decisiones, los debates y los argumentos, posibilitando las condiciones para un aprendizaje colaborativo.

En el trabajo, además de la resolución “física” del modelo de intercambio térmico descrito más arriba, los estudiantes deben indagar de manera autónoma (búsqueda documental en libros o sitios de internet) acerca de cuáles serían los materiales más convenientes, hallar los valores de sus propiedades térmicas y su costo, tomando decisiones y llegando a acuerdos entre compañeros. Para resolver el problema los alumnos debían tener en cuenta temas vistos en clase, ejercitados en sus casas y trabajados en laboratorio, como la conducción de calor por las paredes y la convección, tanto interna como externa.

Los docentes exponían la tarea de diseño mencionada después de haber trabajado acercando a



los estudiantes los contenidos disciplinares necesarios para el abordaje de la actividad de diseño. Durante el desarrollo de la actividad, de entre tres y cuatro semanas, los docentes cumplen el rol de tutores, acompañando el trabajo de los estudiantes, apoyándolos, orientando la tarea cuando así se requiera y haciendo devoluciones que limen obstáculos y faciliten el desenvolvimiento de los estudiantes, tanto desde la colaboración en problemas disciplinares “técnicos”, como haciendo sugerencias y observaciones sobre la mejor manera de comunicar. Este es un punto crucial en el camino de construcción de las habilidades que se proponen en la actividad, ya que, en este intercambio entre profesores y estudiantes, con tiempo y recursos suficientes, se da un proceso de reflexión conjunta que enriquece la tarea para los estudiantes y que da pistas a los docentes acerca de las verdaderas dificultades y los logros que estos van evidenciando.

La tarea planteada, implica el desarrollo de una propuesta, su explicación y la comunicación de los resultados y, por lo tanto, no se evalúa un producto aislado sino el proceso y la forma en que se ha llegado al resultado buscado. Las sucesivas devoluciones de los trabajos realizados que hacen los docentes dan información a los estudiantes acerca de las “regulaciones” necesarias para lograr el resultado y, además, a lo largo de las distintas implementaciones, van brindando elementos a los docentes que permiten modificar y/o ampliar tanto la actividad como los tiempos y los tipos de intervención de los docentes. Esta ida y vuelta de entregas y devoluciones, como dice Sanmartí logra que “La evaluación sea el motor del aprendizaje, ya que de ella depende tanto qué y cómo se enseña, como el qué y el cómo se aprende.” (Sanmartí, 2007)

Durante las sucesivas implementaciones del trabajo y de los trabajos que le precedieron, siempre estuvo presente la doble dimensión de habilidades a desarrollar, tanto la de resolver como la de comunicar. La actividad nunca consistió solo en llegar a un resultado numérico, sino en buscar una posible solución y poder comunicarla a docentes y a compañeros, reflexionando sobre las necesarias idas y vueltas transitadas, hasta llegar a las decisiones tomadas en el proceso de resolución y las razones por las cuales se adoptaron. Esta tarea se pudo ver coronada en 2018, cuando dos alumnos de la materia, invitados y apoyados por sus docentes, presentaron un poster de su trabajo en las “II Jornadas estudiantiles de Física FRCH-UTN”. El poster fue aceptado y se presentó el 2 de noviembre de ese año en las mencionadas jornadas.

### **Las voces de los estudiantes**

Desde el punto de vista de los objetivos propuestos, tanto en la resolución de problemas como en la dimensión comunicativa la propuesta resultó exitosa y los estudiantes pudieron cumplir con las dos dimensiones de la actividad. Sin embargo, en la resolución de problemas, siempre se ha puesto el foco en las habilidades que estas actividades permiten desarrollar, pero poco se ha indagado acerca de cómo es vivida esta situación por los estudiantes. Por eso nos interesaba conocer cuál había sido su experiencia de esta resolución de un problema abierto y para ello se desarrolló una encuesta que se implementó a través del campus virtual a un conjunto de 60 estudiantes de distintitos cursos de la materia que habían completado el trabajo y que aceptaron voluntariamente contestarlas.

Las preguntas que se formularon refieren a tres aspectos:

- a) Una asociación libre de tres palabras que la resolución del problema les sugiera
- b) Una descripción (acotada a cuatro etapas) de los pasos que tuvieron que seguir para resolver
- c) Dos preguntas referidas a dificultades halladas y apoyos encontrados y dos preguntas orientadas a los logros y aprendizajes que creyeron poder construir.

Las preguntas se formularon de la siguiente manera:

1. Menciona tres palabras que asociarías a la resolución de este trabajo.
2. Escribí en orden, cuáles fueron las cuatro acciones que emprendiste para la resolución de este problema.
3. ¿Con qué dificultades te encontraste para poder empezar a resolver el problema? (Conta brevemente cuáles fueron y qué pudiste hacer para resolverlas.)
4. ¿Qué apoyos sentís que tuviste o estás teniendo para resolver esta tarea? ¿Cuáles otros te harían falta?
5. ¿Qué cosas, además de la Física, te parece que podés aprender o aprendiste al resolver esta tarea?
6. ¿Qué logros pensás que alcanzaste o podés alcanzar al resolver esta tarea?

Estas preguntas junto con los demás instrumentos nos permitieron una visión amplia de lo que la resolución de problemas representa para estos estudiantes. En este trabajo, por cuestiones de extensión, solo analizaremos los dos primeros ítems del cuestionario (las palabras asociadas y los pasos).

El análisis de las respuestas a cada ítem se realiza de manera transversal sumando los términos más usados y generando categorías abarcativas y significativas para la interpretación del trabajo. A continuación, se presenta el análisis de las respuestas de los estudiantes a los dos primeros ítems.

### Análisis de las respuestas

Pregunta 1. Las palabras asociadas a la resolución de este problema  
Las palabras más usadas pueden verse en la Tabla 1

Tabla 1. Los términos más asociados al problema.

Palabra	Cant apariciones	Orden promedio <sup>1</sup>
Calor	15	2,0
Conducción	12	1,5
Convección	12	1,9
Investigación	10	1,7
Interesante	6	2,2
Aplicación	5	1,6
Comprensión	5	2,2
Transmisión	5	2,2
Útil	5	1,8
Energía	4	1,8
integración	4	1,3
Termodinámica	4	1,3
Dificultad	4	2,5
Presupuesto	3	3,0
Radiación	3	3,0
Cálculo	3	2,3
Consumo	3	2,7
Tiempo	3	1,7
Coeficientes	3	1,7

<sup>1</sup> El orden promedio es un promedio ponderado del lugar de aparición más frecuente del término.

En el Gráfico 1 vemos como se distribuyen estos términos entre las distintas respuestas.

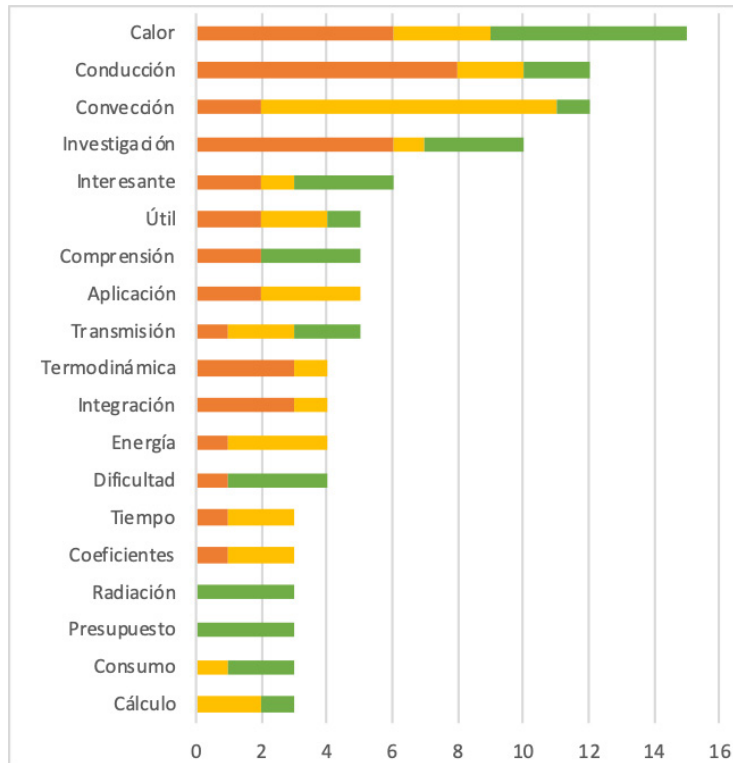


Gráfico 1. Las palabras más usadas y su orden de aparición

Si agrupamos los términos asociados a la disciplina por un lado y los ligados a la tarea y sus demandas por otro, podemos ver que la predominancia relativa de los términos de la física se aproxima a los ligados a las demandas de la tarea. En el gráfico pueden verse estas agrupaciones:

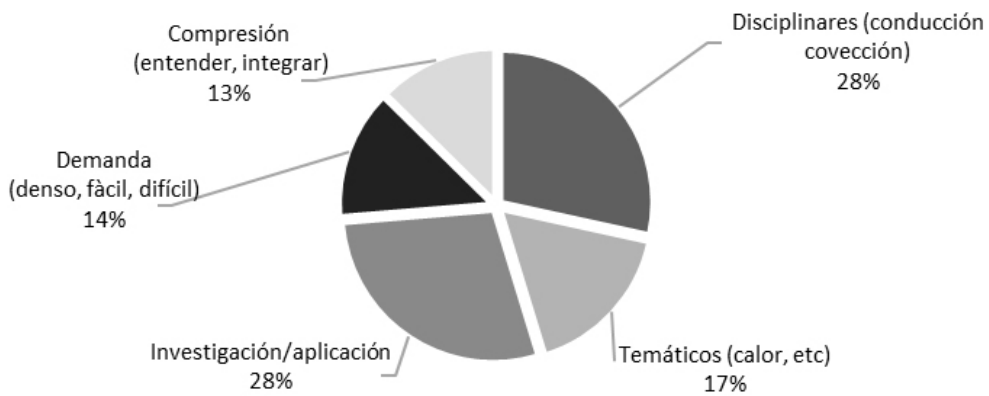


Gráfico 2. La distribución de las respuestas agrupadas por significado

Vemos en el gráfico anterior que hay un porcentaje similar para los términos temáticos y disciplinares como calor conducción o convección (45%) y un poco mayor asociado al interés, la investigación o las demandas de la tarea o la idea de investigar (55%).

### Pregunta 2. Los pasos de la resolución

Lo mismo que en el análisis anterior en este caso contamos los términos más frecuentes usados para describir los pasos que llevaron adelante. Es importante recordar que, dado que la encuesta se hizo una vez terminado el trabajo, estas palabras representan los pasos seguidos y no los pasos que “creen que deberían seguirse”.

Para cada uno de los pasos se contaron las acciones<sup>2</sup> -verbos- más frecuentes y luego se buscaron categorías que fueran más inclusivas que las propias palabras. Por ejemplo, en el paso 1 “investigar” y “buscar” aparecían usadas de manera indiferente, y por eso, al analizar la distribución de las respuestas (gráfico de sectores) se las colocó en una misma categoría que se llama “Investigar/Buscar”.

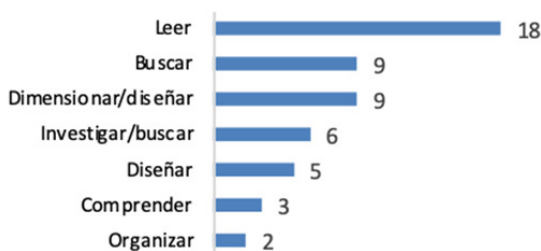


Gráfico 3. Las palabras usadas para el primer paso

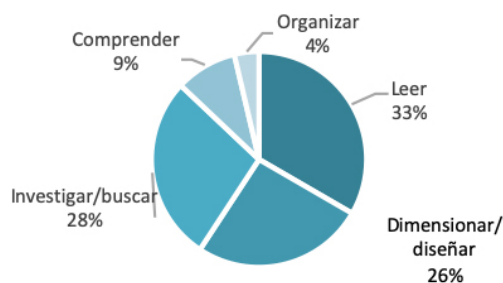


Gráfico 4. La distribución de los términos del primer paso

En el primer paso, puede verse que predominan acciones comprensivas o de búsqueda de información y lectura (70%), aunque algunos estudiantes prefieren abordar directamente cuestiones de carácter numérico (30%) como diseñar y dimensionar (la habitación).

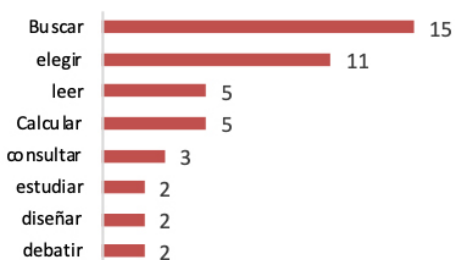


Gráfico 5. Las palabras usadas para el segundo paso.

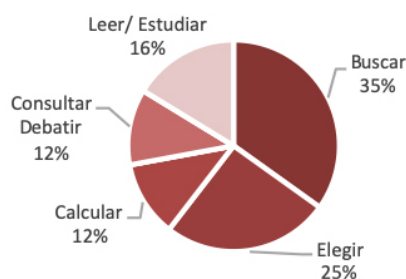


Gráfico 6. La distribución de los términos del segundo paso

<sup>2</sup> Aunque se tabularon también los objetos a los que se referían las acciones, no se presentan en este trabajo por cuestiones de espacio. Su estudio se realizará en una próxima presentación más detallada.

En el segundo paso, contrariamente a lo esperable, los estudiantes siguen “buscando” información, a veces sobre teoría y en otros casos sobre los materiales a utilizar, aunque se incluyen acciones como calcular y consultar. La novedad en este segundo paso es que se toman decisiones sobre el diseño y que se incluyen consultas a otros grupos o a profesores.

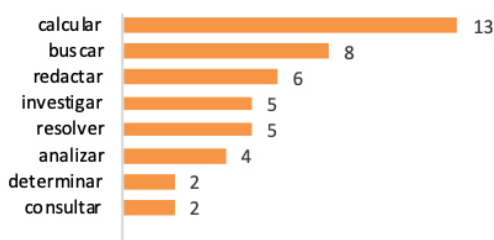


Gráfico 7. Las palabras usadas para el tercer paso.

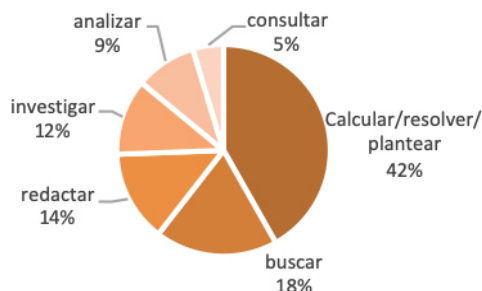


Gráfico 8. La distribución de los términos del tercer paso

En el tercer paso puede verse que las acciones se orientan primordialmente al cálculo y a la redacción (56%), aunque algunos grupos aún siguen investigando y buscando información. La búsqueda de información ya sea de corte teórico o sobre los materiales a usar, es una acción valorada por los estudiantes y puede verse que persiste desde el primer paso.

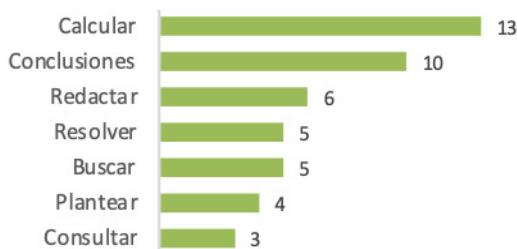


Gráfico 9. Las palabras usadas para el cuarto paso

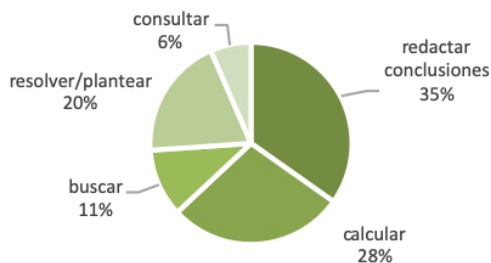


Gráfico 10. La distribución de los términos del cuarto paso

En el último paso priman las acciones propias del cierre del trabajo, ya sea por cálculo, por redacción o por conclusiones (83%). Varios se dedican también a corregir y a consultar con colegas acerca del formato, aunque porcentualmente no llegan a un 20%.

## CONCLUSIONES Y PRÓXIMOS PASOS

Estas son unas primeras conclusiones de este estudio porque, como hemos comentado, el cuestionario es más amplio y nos hemos limitado a informar en este trabajo las palabras volcadas por los estudiantes en la primera pregunta y solo las acciones- sin contar los objetos de las mismas – en la segunda. Sin embargo, podemos sacar algunas conclusiones interesantes.

Los estudiantes reconocen la importancia del conocimiento y de la información como paso previo a la acción y a la toma de decisiones. Contrariamente a algunos dichos de pasillo, los estudiantes muestran ser reflexivos y no se abocan al cálculo de manera inmediata, valoran el conocimiento como necesario para dar una respuesta.

Al realizar este trabajo, los entrevistados recién están en el primer trimestre de segundo año, es decir que, si bien no son noveles en física (ya la cursaron en primer año), también es cierto que están abordando el primer problema abierto que se les propone en sus primeros años de Física en la universidad. A pesar de su falta de experiencia en estas tareas, ponen un peso importante en detectar qué es lo necesario antes de empezar a calcular, lo cual muestra que se manejan de manera bastante autónoma al resolver el problema. De hecho, hay pocas referencias a la necesidad de consulta al profesor entre los primeros pasos. Solo una pequeña cantidad lo indica como parte del primer paso (15%).

En lo que hace a la resolución del problema abierto, pueden percibir que la información brindada no es suficiente y que tienen que buscar o investigar para obtener algunos datos. Sin embargo, esto no aparece como un obstáculo, sino que ante la falta de información o de marco teórico para resolverlo ponen un fuerte peso en la búsqueda, lectura e investigación en los primeros dos pasos.

Los estudiantes no son “impulsivos” sino más bien reflexivos, planifican bastante las acciones a desarrollar. Ponen en primer lugar la contextualización del problema, a través de la búsqueda, lectura y organización de la información antes que al cálculo. A pesar de que la resolución del problema se trata de dar una respuesta que, en última instancia es numérica, (las dimensiones de la habitación, y las pérdidas de calor) dan un peso importante a las reflexiones preliminares de carácter teórico y a la búsqueda de información.

Desde el punto de vista de la estrategia docente, el problema planteado se encuentra a una distancia cognitiva correcta como para ser abordado. Los estudiantes tienen la capacidad de poder detectar lo que falta y saber dónde buscarlo. Eso es un indicador de que el problema fue bien planteado en relación con la demanda adecuada ya que no resultó demasiado distante de sus posibilidades, sino que la demanda cognitiva tensionó lo suficiente para organizarse, buscar y resolver algo que nunca habían hecho.

También cabe rescatar como resultado la importancia de entender a la enseñanza como una actividad planificada que no se hace por ensayo y error, de manera errática, sino como una acción profesional planificada explícitamente con intencionalidad de buscar nuevos aprendizajes. Los logros y habilidades y el desarrollo actual de este problema, sus consignas y sus criterios de evaluación, fueron una autentica investigación acción: se empezó a poner en práctica en sus primeras versiones hace casi más de cuatro años, a lo largo de los cuales se evaluaron y corrigieron las propuestas y consignas para que resultaran adecuadas a los objetivos de aprendizaje y fueran accesibles a los estudiantes. Hubo una decisión de trabajar con problemas abiertos para desarrollar competencias comunicativas y de diseño y esto se hizo desarrollando la actividad que entendimos más conveniente, en lugar de “importar” una actividad ya desarrollada y chequeada.

Aún quedan muchos puntos por desarrollar en trabajos futuros. A modo de cierre, indicaremos los más inmediatos:

- En primera instancia, se completará el análisis de las demás preguntas para visualizar las fortalezas y debilidades reconocidas por los estudiantes. Una vez analizadas todas las preguntas de manera aislada se analizarán las respuestas de manera longitudinal buscando cohesión y coherencia entre las respuestas, para poder construir una visión de las representaciones de la tarea que tienen los estudiantes.

- Por otro lado, se desarrollarán nuevas actividades abiertas y sus respectivas rúbricas de evaluación para poder contar con un banco de situaciones problemáticas que promuevan el desarrollo de competencias genéricas en los estudiantes a través de la resolución de problemas abiertos o semiabiertos.

## REFERENCIAS

BENDER G y DEFAGO A (2019) Desarrollar competencias en Física Básica en El enfoque por competencias en las ciencias básicas: casos y ejemplos en educación en Ingeniería Libro digital, PDF compilado por Cukierman y Kalocai, CONFEDI - CIIE, Autónoma de Buenos Aires.

BENDER DEFAGO y FEO (2018) Transformar las prácticas para nuevos aprendizajes. Una investigación acción con estudiantes de Ingeniería. IPECyT 2018, Olavarría Buenos Aires

Consejo Federal de Decanos de Facultades de Ingeniería (CONFEDI), Propuesta de estándares de segunda generación para la acreditación de Carreras de Ingeniería en la República Argentina, Libro Rojo de CONFEDI, [en línea]. 2018. [Fecha de consulta: diciembre 2019]. Disponible en [https://confedi.org.ar/download/documentos\\_confedi/LIBRO-ROJO-DE-CONFEDI-Estandares-de-Segunda-Generacion-para-Ingenieria-2018-VFPublicada.pdf](https://confedi.org.ar/download/documentos_confedi/LIBRO-ROJO-DE-CONFEDI-Estandares-de-Segunda-Generacion-para-Ingenieria-2018-VFPublicada.pdf)

GUISASOLA, ARANZABAL, G. y GARMENDIA MUJICA, M. (2014). Aprendizaje basado en problemas, proyectos y casos: diseño e implementación de experiencias en la universidad. Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitateko Argitalpen Zerbitzua.

SANMARTI, N (2007), Evaluar para Aprender. Madrid: Graó. (Disponible en <http://www.xtec.cat/~ilopez15/materials/ambitpedagogic/avaluacio/evaluarparaaprender.pdf> - 23/09/2020)





# LAS PRÁCTICAS DE MOVILIDAD DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD REGIONAL AVELLANEDA DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL. RESULTADOS Y ANÁLISIS COMPARADO DE LA SEGUNDA ENCUESTA DE MOVILIDAD

Fecha de Recepción: 30 de junio de 2020 • Fecha de Aceptación: 27 de agosto de 2020

**Daniel Bossio, Bruno Giormenti Moravec, Juan Martín Piccirillo, Federico López Dentone\*, Hugo Rolón, Walter Gurrera, Enrique María Filgueira, Jorge Mario Bonnefon, Carmelo Caparelli y Nazareno Tintes**

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Avellaneda, Centro Tecnológico de Transporte, Tránsito y Seguridad Vial, Dirección: Av. Mitre 750, Avellaneda (1870).

*\*Autor a quien se debe dirigir la correspondencia  
Correo electrónico: [utn.c3t@gmail.com](mailto:utn.c3t@gmail.com)*

## RESUMEN

Este trabajo examina la movilidad de los y las estudiantes del Campus Villa Domingo de la Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Avellaneda (FRA). El mismo representa una continuidad de una investigación de las mismas características publicada en el año 2018 en el volumen 10 de la Revista Rumbos Tecnológicos. Como en aquella oportunidad, el informe fue realizado sobre la base de encuestas autoadministradas entre los y las estudiantes. El objetivo en esta oportunidad es realizar una nueva medición de las mismas variables, apuntando a relevar modificaciones en los patrones de movilidad de los y las estudiantes.

**Palabras clave:** Movilidad; Estudiantes; Facultad Regional Avellaneda; Encuesta.

## ABSTRACT

This paper examines the mobility of students at the Villa Domingo Campus of the Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Avellaneda (FRA). It represents a continuation of a report of the same characteristics carried out two years ago. As on that occasion, the report is based on self-administered surveys among the students. The objective on this occasion was to carry out a new measurement of the same variables, aiming at revealing modifications in the mobility patterns of the students.

**Key words:** Mobility; Students; Facultad Regional Avellaneda; Survey.

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo busca diagnosticar cómo se movilizan los y las estudiantes para asistir y retirarse de la Facultad Regional Avellaneda de la Universidad Tecnológica Nacional (FRA), particularmente de la sede “Ramón Franco” sito en la localidad de Villa Dominico, Partido de Avellaneda, Provincia de Buenos Aires. Se trata de una continuación de una investigación publicada dos años atrás en la Revista Rumbos Tecnológicos (Bossio et al., 2018). Se buscará realizar una evaluación sobre los aspectos centrales de la movilidad de los y las estudiantes de la FRA, así como incorporar un análisis sobre las continuidades y modificaciones halladas al comparar los resultados de ambas investigaciones.

El concepto de movilidad refiere a una práctica social del viaje, “enmarcada por un contexto territorial, histórico y social determinado, que supone una conjunción de necesidades, deseos y capacidades de desplazamiento, al tiempo que se relaciona con el acceso a bienes o servicios (la salud, la educación, etc.) y no a lugares físicos (el hospital, la escuela, etc.)” (Apaolaza, 2013: 3; Shirahige y Correa, 2015: 57). Esta idea se distingue del tradicional concepto de “transporte”, que suele referirse a la infraestructura y las redes de servicios disponibles. Por el contrario, referirse a movilidad busca sumar elementos como el género, la existencia de discapacidad en las personas, el conocimiento sobre los servicios de transporte público o el poder adquisitivo al análisis sobre las prácticas de viaje. Como sostiene la geógrafa y especialista en movilidad Andrea Gutiérrez (2009: 10), mientras que en la idea de transporte “(...) prevalece una visión del viaje en el plano, cartográfica; en [la idea de movilidad se privilegia] una visión en el tiempo, como ilación de momentos en una experiencia biográfica o personal”.

A partir de estas coordenadas nace el interrogante de cómo se realizan las prácticas de viaje en una población delimitada como pueden ser los y las estudiantes que estudian en la FRA. Es decir, se establecen preguntas acerca de cuáles son las “estrategias de movilidad” que practica el estudiantado contextualizando la oferta de servicios disponible en la región donde se inserta la casa de estudios.

La sede ‘Domínico’ de la FRA se encuentra en el eje sur-este del conurbano bonaerense. Este eje se destaca por un conjunto de barrios y localidades que van desde el inicio del partido de Avellaneda, lindante a la CABA, hasta prácticamente la ciudad de La Plata, 50 km hacia el sur. Asimismo, este eje está atravesado por tres grandes corredores en cuanto al transporte urbano: la Autopista Buenos Aires – La Plata, el ramal ‘Quilmes’ del Ferrocarril Roca y el Camino General Belgrano (Bossio et. al., 2018: 168). Entendemos a estos corredores como los principales estructuradores de la infraestructura de transporte disponible de la región en la que se encuentra la Facultad, los cuales privilegian una orientación norte – sur o radial, en lugar de conexiones de tipo transversales (Blanco y Vecslir, 2014). Sobre este entramado, y a partir de las distintas condiciones de hábitat, ingresos, laborales, género, étnicas y etarias es que los sujetos desarrollan una experiencia de movilidad que es constitutiva de las estrategias de viaje implementadas.

Desde esta concepción se realizará una evaluación de la movilidad del estudiantado de la FRA. Se trata de la continuidad y sistematización de una investigación iniciada en 2016, cuando se realizó un primer relevamiento sobre las prácticas de movilidad de los y las estudiantes. El objetivo será detectar continuidades y/o modificaciones sustanciales de las prácticas de movilidad de los y las estudiantes, identificando variaciones en el contexto así como en la oferta de servicios.

Se espera seguir avanzando en el conocimiento de un aspecto sumamente relevante de la vida cotidiana del estudiantado, generando un insumo para mejorar la intervención de las autoridades en este ámbito.

## DESARROLLO

Para acceder a la información requerida se definió utilizar el mismo formato de encuesta que fue empleado en la realizada en 2016. Se trata de una encuesta anónima autoadministrada que fue respondida por los y las estudiantes en las aulas donde se encontraban cursando. El diseño de encuesta fue claro y conciso, con el objetivo de reducir al mínimo los errores de llenado y posterior carga. Este enfoque permitió maximizar el alcance de la investigación, prescindiendo de la necesidad de encuestadores. Esta elección redujo los recursos necesarios para avanzar con la investigación, tanto en término de horas totales para encuestar como para capacitar, además de asentar una continuidad metodológica que asegura la comparabilidad de los resultados.

Las encuestas en esta oportunidad apuntaron a plasmar la información del mismo día, tomando el viaje de ida como el efectivamente realizado, y el de vuelta como el proyectado. Se aclaró a los y las estudiantes que indiquen el o los modos que iban a utilizar ese mismo día para el viaje de vuelta, por más que no sea el que habitualmente utilizan.

Además de los modos de viaje utilizados, la encuesta indaga información sobre el nivel de cursada, género, edad, localidad y partido de residencia, si trabaja y donde, hora de llegada y retirada, origen de viaje a la facultad, destino del viaje desde la FRA, tiempo de viaje a la ida y estimativo de vuelta, y finalmente un apartado para observaciones generales. Como incorporación de esta edición, se preguntó por la disponibilidad de auto particular. En conjunto, los datos relevados permitieron delinear un perfil acabado sobre las prácticas de viaje que los y las estudiantes que realizan esos mismos viajes.

Esta segunda edición de la encuesta fue realizada a fines del segundo cuatrimestre de cursada del año 2018. Para aquel entonces, según los datos provistos por las autoridades de la Facultad, los y las estudiantes en actividad cursando las carreras de grado<sup>1</sup> dictadas en la Sede Villa Domínico eran 3648. De esta forma se definió que la muestra fuera de por lo menos el 5% de los alumnos; es decir, un piso de 182 encuesta válidas. Fue así que se procedió a realizar las encuestas entre octubre y noviembre de 2018, finalizando el relevamiento con un total de 282 formularios completados correctamente<sup>2</sup>.

Dado que la movilidad de las personas no sufre grandes modificaciones de un año a otro, se definió que las encuestas tengan una periodicidad de dos años, arrojando información que pueda servir para analizar conductas que se mantienen más allá de un ciclo lectivo. De esta forma la medición realizada a fines de 2018 nos acerca información para el periodo 2018-2019.

-----

<sup>1</sup> Estas son: Ingeniería Civil, Eléctrica, Electrónica, Industrial, Mecánica y Química.

<sup>2</sup> Un número de encuestas fueron descartadas por errores, incoherencias en las respuestas o por la ilegibilidad de las mismas.

## RESULTADOS

Se procederá a realizar el análisis de los datos obtenidos a partir de dos ángulos procedimentales. Por un lado, exponiendo de forma sistemática la información relevada en la segunda edición de la encuesta. Por otro, realizando una comparación con la información relevada en la encuesta anterior según cada variable. Debido a esta decisión, por motivos de extensión serán dejados de lado algunas variables que sí fueron analizadas en el informe anterior.

### Resultados generales

La muestra fue de 282 formularios, con una distribución de 50 en el turno mañana y 232 en el turno noche. La totalidad de los y las estudiantes del turno mañana son del primer nivel, mientras que en el turno noche se distribuyen la totalidad de los niveles. En base a esta circunstancia es que el análisis que aquí presentamos se centrará en el turno noche.

La distribución de estudiantes según nivel de cursada de la muestra arrojó la siguiente proporción:

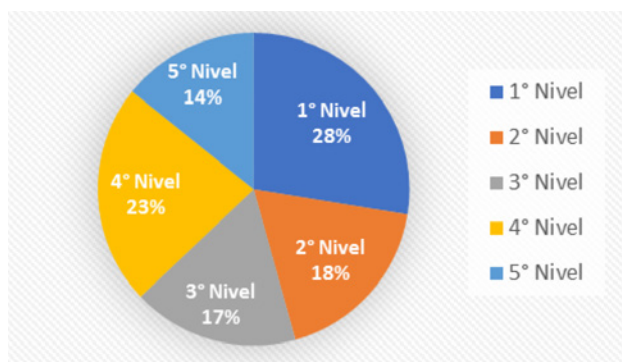


Gráfico 1. Distribución de estudiantes según nivel de cursada.

A diferencia de la encuesta anterior, podemos identificar un primer contrapunto: no fueron relevados estudiantes de 6° nivel. Esta circunstancia no representa una alteración sustantiva, ya que este segmento representó menos del 3% del total de los y las estudiantes encuestados en aquella edición. Con respecto a la participación relativa del resto de los niveles se mantuvieron aproximadamente las mismas estructuras.

A su vez, el 80% de los encuestados son varones, respetando una proporción casi exacta con la distribución entre varones y mujeres dentro del padrón de estudiantes. Esa misma proporción se dio en el informe anterior.

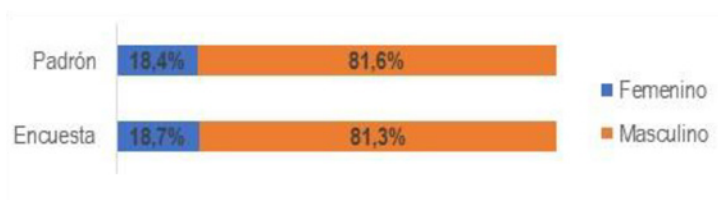


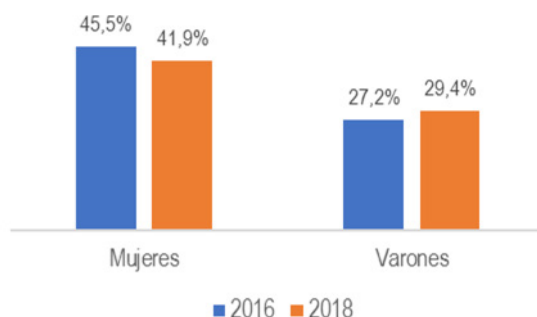
Gráfico 2. Comparación de la composición de estudiantes según género en la encuesta y en el padrón de estudiantes de cursada para el (2018).

Al igual que en el informe anterior el promedio de edad aumenta a la par de los niveles, evidenciando una correlación esperable. Donde se observa una leve modificación es en los promedios de edad general de la encuesta, independientemente del nivel. Esto se observa en un menor peso relativo del rango 17-20, aumentando sensiblemente los rangos 21-25 y 26+.

**Tabla 1.** Promedio de edad según rango. Comparación 2016 – 2018.

Rango de edad	2016	2018
17 - 20	35,5%	18,1%
21 - 25	46,5%	53,4%
26+	18,1%	28,4%
Total	100,0%	100,0%

Se observa además que el 78% de los y las estudiantes trabajan. Se ratifica nuevamente que a mayor nivel de cursada, menor nivel de población desocupada: mientras que esta población en el nivel 1 es de 44%, en el nivel 5 desciende a 6%. Se identifica una disminución de las mujeres desempleadas, mientras que por el contrario se destaca un aumento de varones desocupados.



**Gráfico 3.** Prevalencia de población desocupada según género. Comparación 2016 – 2018.

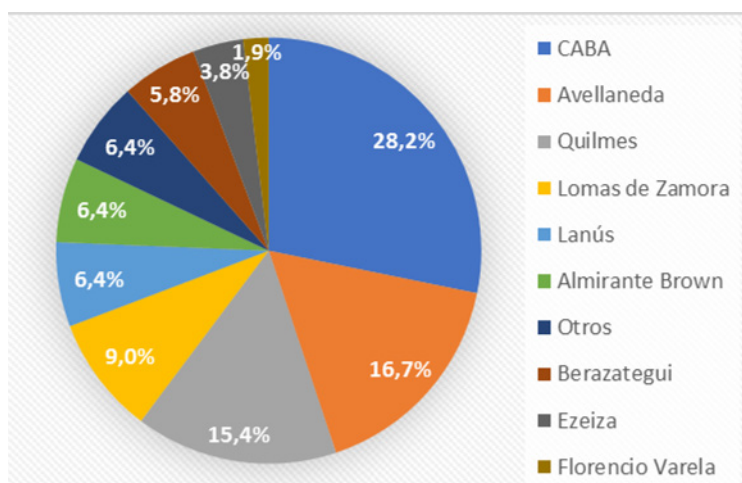
Asimismo, vuelve a aparecer Quilmes como el principal distrito de domicilio. Se observa que, a diferencia de 2016, en esta edición ha crecido la participación de distritos como Avellaneda (apenas por debajo de Quilmes, que ha retrocedido en peso relativo), Berazategui y Almirante Brown.

**Tabla 2.** Distribución de partidos de residencia del estudiantado

<b>Partido de residencia</b>	<b>2016</b>	<b>2018</b>
Quilmes	27,7%	24,6%
Avellaneda	19,6%	23,7%
Lanús	13,1%	9,9%
Lomas de Zamora	9,5%	7,3%
Florencio Varela	8,9%	5,6%
CABA	7,3%	5,6%
Berazategui	7,0%	9,5%
Almirante Brown	5,0%	9,5%
Otros <sup>3</sup>	2,0%	4,3%
<b>Total</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>

Por lo general esta distribución no varía en gran medida con el correr de los niveles. Sí destacamos que estudiantes que viven en los partidos más alejados de la Sede Domingo, como Ezeiza (44 km), Presidente Perón (36 km) o San Justo – La Matanza (34km) se encuentran en los primeros niveles.

Finalmente, la distribución geográfica de los lugares de trabajo muestra una elevada participación de la CABA, seguida en orden de forma similar a la distribución de lugares de residencia. Al respecto, se observa un gran nivel de coincidencia entre el partido de residencia y el de trabajo. Es decir, para el caso de la población trabajadora dentro del estudiantado, el principal partido de trabajo suele ser el mismo que aquel donde se vive.



**Gráfico 4.** Distribución geográfica de lugares de trabajo<sup>4</sup>.

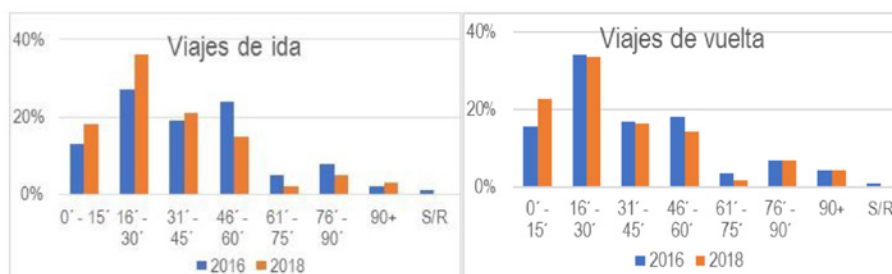
-----  
<sup>3</sup> Otros: Esteban Echeverría, Ezeiza, La Matanza y Presidente Perón.

<sup>4</sup> Otros: General San Martín, Presidente Perón, trabajo sin domicilio específico y sin respuesta

## Resultados sobre la movilidad de los y las estudiantes

Realizada una descripción general de las características de la muestra, procedemos a estudiar el comportamiento de las variables referidas a la movilidad del estudiantado.

La primera variable observada fue el tiempo de viaje promedio en los viajes de ida y de vuelta. Fue detectado un comportamiento idéntico al informe anterior: los viajes de vuelta son levemente más breves que los de ida. Al mismo tiempo, también se identificó que en la nueva edición de la encuesta, los rangos de viaje más cortos (menos de 30 minutos) crecen en participación, tanto para los viajes de ida (pasan de representar el 40% al 54% del total de viajes) como de vuelta (pasan del 50% al 56%). Es decir: la nueva medición arroja que los viajes son más breves.



Gráficos 5 y 6. Tiempo de viaje de ida y de vuelta según rango. Comparación 2016 – 2018.

También es destacable que el tiempo de viaje promedio se reduce conforme avanza la cursada. Los y las estudiantes de niveles más altos suelen viajar menos tiempo tanto para asistir como para retirarse de la Facultad. Llama la atención el aumento para estudiantes de nivel 5. Posteriormente se analizará esta cuestión a la hora de cotejar los niveles con los medios utilizados.

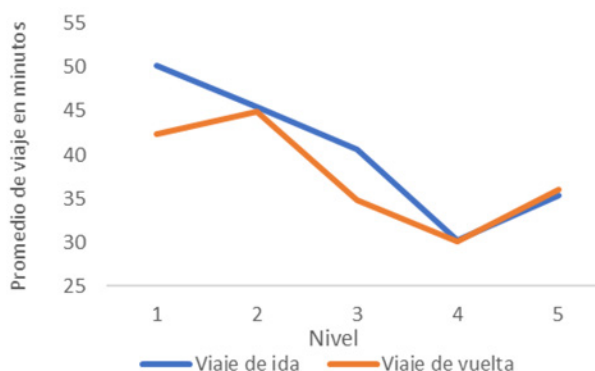


Gráfico 7. Tiempo promedio de viaje de ida y de vuelta según nivel. 2018.

La segunda variable que se analizó fue la composición de origen de los viajes. La mayoría de los y las estudiantes respondieron que el principal lugar desde el cual asisten a la FRA es el domicilio de residencia, representando el 72% de las repuestas, mientras que otro 25% corresponde a lugar de trabajo. La brecha entre ambos indicadores creció en relación a la encuesta anterior, que era 68 y 30% respectivamente. Si se coloca el acento en aquellos que trabajan, la proporción se reparte 61% desde domicilio y 37% desde el lugar de trabajo (en la edición anterior se repartían en partes

iguales). Es decir: se observa que en comparación con la edición anterior hay un aumento del domicilio como origen de los viajes. Al mismo tiempo, prácticamente la totalidad del destino de los viajes es la residencia de los y las estudiantes.

En tercer lugar, se analizó lo que se conoce como “etapas de viajes”. Conceptualmente se separa “viaje” y “etapas”, precisamente porque un viaje puede estar compuesto por varias etapas. Tomaremos la definición que realiza Unidad Ejecutora Central del Ministerio de Transporte de la Nación: “Definimos viaje como el desplazamiento entre un origen y un destino que se realiza para cumplir una función determinada, ‘motivo del viaje’. Una ‘etapa del viaje’ corresponde al uso de alguno de los modos de transporte que las personas utilizan para realizar un viaje. Si el viaje utiliza sólo un modo, existe sólo una etapa y el viaje y la etapa coinciden, siempre y cuando no existan cuerdas caminadas antes. Si, por el contrario, el viaje se completa con más de un modo o más de un vehículo (por ejemplo, colectivo-Subte, o dos colectivos diferentes) hablamos de un ‘viaje con trasbordo’” (UEC, 2010: 23).

Tomando estas definiciones observamos que para los desplazamientos de ida casi tres cuartos de los viajes se realizan en una etapa, mientras que para la vuelta estos viajes ascienden a casi el 80%. Los viajes, al concentrarse en su gran mayoría en una etapa, implican menor cantidad de trasbordos, lo cual los vuelve más rápidos y cómodos. También puede observarse que en los viajes de vuelta se encuentra una mayor proporción de desplazamientos de una sola etapa, aunque 1 de cada 5 estudiantes (22% del total) tiene que realizar al menos un trasbordo en altas horas de la noche.

**Tabla 3.** Distribución de viajes de ida y vuelta según cantidad de etapas. Comparación 2016 – 2018.

Etapas	2016		2018	
	Viaje de ida	Viaje de vuelta	Viaje de ida	Viaje de vuelta
1	74%	79%	72%	78%
2	18%	15%	17%	10%
3	8%	6%	10%	12%
4	1%	0%	0%	0%

Sin embargo, también se observa en la edición de 2018 que crecen levemente los viajes de 3 etapas en desmedro de los 1 y 2.

A continuación, se analizará la composición de viajes en función de los medios de transporte que una determinada población elige para desplazarse. El reparto total de modos es conocido como “distribución modal”. En la categorización realizada para esta encuesta, se incluyeron por un lado los modos considerados como “activos”, que son aquellos desplazamientos realizados en bicicleta, a pie o en otro modo de locomoción que no sea motorizado<sup>5</sup>. Luego se encuentran los medios automotores, que incluyen básicamente a los colectivos, los automóviles particulares y las motos. En lo que respecta a los automóviles particulares, la encuesta distinguió dos variantes: aquellas personas que se desplazan como conductores, y aquellas que lo hacen como acompañantes.

-----  
<sup>5</sup> Para este estudio se aclaró en la encuesta que se considera viaje a pie un desplazamiento igual o mayor a 4 cuerdas o 400 metros.

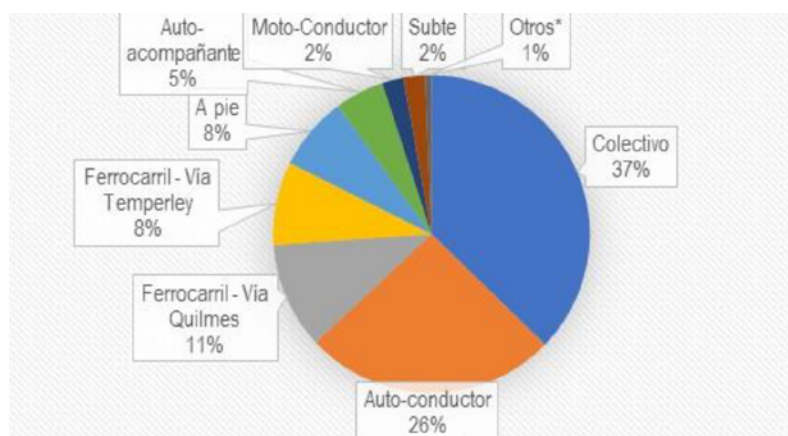


Dentro de lo que se considera como transporte ferroviario, se incluyen los trenes metropolitanos (en este caso, los dos ramales del ferrocarril Roca) así como el subterráneo. Finalmente, se agrupó al resto de los modos en la categoría “otros”, como el Premetro, remises o charters provistos por empresas.

Este recorte puede ser complementado por otros enfoques de análisis. Por ejemplo, el de la propiedad del medio: mientras que los medios particulares son el automóvil y la moto, los públicos serían los colectivos, trenes y Subte. U otra forma es categorizar según la configuración de la tracción, distinguiendo medios activos del resto de los medios motorizados (en estos últimos se incluirían tanto particulares como públicos)<sup>6</sup>. De esta forma, un mismo viaje puede ser analizado desde distintos ángulos. Por ejemplo, si se piensa un viaje de 2 etapas en la cual la persona primero viaja en colectivo, para luego desplazarse como acompañante en un auto particular, puede categorizarse como viaje “automotor”, ya que la totalidad de etapas fueron realizadas por medios de esa índole. Ahora bien, si se analiza desde el punto de vista de la “propiedad” de los modos, se tratará de un viaje “mixto”, ya que una etapa fue en un medio público, y otra fue realizada en un medio particular.

Para ilustrar este punto, podemos remitirnos a la información relevada por la encuesta. Si se piensa el enfoque de “propiedad”, los viajes mixtos son tan solo un 9%. Pero si se analizan los viajes desde un punto de vista de la “modalidad” (identificando cuatro respuestas posibles: modo activo, automotor, ferroviario y mixto), los viajes mixtos alcanzan casi el 19% del total de viajes. Esto se debe a que, como veremos, en las prácticas de viaje de los y las estudiantes las combinaciones de medios representan una estrategia usual a la hora de asistir o retirarse de la FRA. Esa misma apreciación puede pensarse para la movilidad de cualquier persona en una metrópolis como Buenos Aires: los trasbordos y combinaciones entre ferrocarriles/Subte y colectivos, caminatas o autos particulares es absolutamente usual.

Dicho esto, a la hora de ver la distribución modal según cada modo de transporte, resulta conveniente descomponer los viajes mixtos, sumando el conjunto de etapas realizadas en cada modo para obtener un total de desplazamientos utilizados en cada uno de ellos, independientemente de las combinaciones utilizadas. Puede observarse la “fotografía” resultante en el Gráfico 8.



**Gráfico 8.** Distribución modal del total de desplazamientos<sup>7</sup>. 2018.

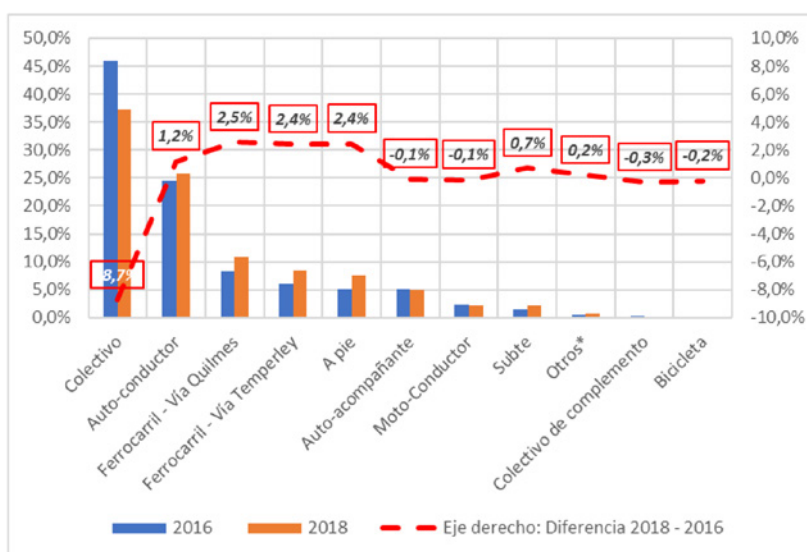
<sup>6</sup> En el informe de la primera encuesta se realizó un análisis a partir de estas categorías. Ver Bossio et. al (2018).

<sup>7</sup> Otros: Premetro, Charter de la empresa, Remis y sin respuesta.

Se observa la preponderancia del medio automotor, explicada por la frecuencia elevada del colectivo y el automóvil privado: ambos modos reúnen casi 2/3 del total de modos elegidos.

¿Cuáles fueron las modificaciones de la distribución modal en comparación con los resultados de la encuesta anterior? Como se observa en el Gráfico 11, el colectivo fue el modo que más retrocedió en estos años: pasó de representar el 46% del total de viajes a estar apenas por arriba del 37%. Tal como indica la línea punteada (eje derecho del gráfico), se trata de una caída de 8,7 puntos porcentuales. Otros modos que retrocedieron, pero en mucho menor escala, fueron la modalidad auto-acompañante y moto-conductor. Hubo dos modos que directamente no fueron registrados en la segunda edición de la encuesta. Por un lado, el “colectivo de complemento”, que fue una modalidad de transporte automotor de pasajeros que suplió la reducción de servicios del FFCC – Vía Quilmes mientras se hallaban en curso las obras de electrificación de dicho ramal. Esta modalidad de transporte dejó de utilizarse una vez concluyeron dichas obras, en octubre de 2017<sup>8</sup>. Por otro lado, no se registraron viajes en bicicleta.

Como indica el Gráfico 9, los modos que registraron un mayor crecimiento fueron los dos ramales del Tren Roca, así como los viajes a pie. También se registró un aumento en los viajes como auto-conductor, así como los realizados en Subte.



**Gráfico 9.** Distribución modal del total de viajes . Comparación 2016 - 2018.

Como se afirmó anteriormente, estas panorámicas permiten visualizar la utilización de modos independientemente de las configuraciones según las etapas de viaje en la ida como en la vuelta. A continuación, se observará cómo son las distintas combinaciones posibles, como para dar cuenta con mayor claridad de las estrategias de viaje desplegadas por los y las estudiantes.

<sup>8</sup> Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Ramal\\_ferroviano\\_Constituci%C3%B3n-La\\_Plata](https://es.wikipedia.org/wiki/Ramal_ferroviano_Constituci%C3%B3n-La_Plata)

<sup>9</sup> Otros: Premetro, Charter de la empresa, Remis y sin respuesta.

**Tabla 4.** Distribución modal de las etapas de viaje en los desplazamientos de ida. 2018.

Medios de ida	2018					TOTAL	
	Etapas 1	Etapas 2	Etapas 3	Etapas 4			
A pie	26	0	0	0	26	8,0%	
Auto-acompañante	10	0	0	0	10	3,1%	
Auto-conductor	82	0	0	0	82	25,4%	
Colectivo	88	18	1	1	108	33,4%	
FFCC Roca - Vía Quilmes	4	23	23	0	50	15,5%	
FFCC Roca - Vía Temperley	6	19	0	0	25	7,7%	
Moto-Conductor	7	0	0	0	7	2,2%	
Otros <sup>10</sup>	3	0	0	0	3	0,9%	
Subte	6	5	1	0	12	3,7%	
<b>Total</b>	<b>232</b>	<b>65</b>	<b>25</b>	<b>1</b>	<b>323</b>	<b>100,0%</b>	

**Tabla 5.** Distribución modal de las etapas de viaje en los desplazamientos de vuelta.

Medios de vuelta	2018					Total	
	Etapas 1	Etapas 2	Etapas 3	Etapas 4			
A pie	6	9	6	1	22	7,0%	
Auto-acompañante	20	1	1	0	22	7,0%	
Auto-conductor	82	0	0	0	82	26,2%	
Colectivo	98	12	19	0	129	41,2%	
FFCC Roca - Vía Quilmes	19	0	0	0	19	6,1%	
FFCC Roca - Vía Temperley	0	29	0	0	29	9,3%	
Moto-Conductor	7	0	0	0	7	2,2%	
Otros <sup>11</sup>	0	0	1	0	1	0,3%	
Subte	0	1	1	0	2	0,6%	
<b>Total</b>	<b>232</b>	<b>52</b>	<b>28</b>	<b>1</b>	<b>313</b>	<b>100,0%</b>	

A partir de las Tablas 4 y 5 pueden destacarse algunos elementos de estas distribuciones a la hora de establecer una comparación. Lo primero a señalar es la reducción de etapas de viaje, tal como se había observado en la Tabla 3. En segundo lugar, pueden compararse los totales para ver cuáles son los modos que sufren mayores cambios. Se observa con claridad en los viajes de vuelta un descenso de participación del FFCC Roca – Vía Quilmes (-9,4 p.p.), Subte (-3,1 p.p.) o a pie (-1 p.p.). Por el contrario, se destaca un crecimiento de los viajes en Colectivo (+7,8 p.p.), auto acompañante (+3,9%) y FFCC Roca – Vía Temperley (+1,5%). Los modos donde no hay modificaciones son auto-conductor y moto-conductor. Estas alteraciones que surgen en la comparación de los totales de los viajes de ida y de vuelta son muy similares a las identificadas en la encuesta anterior.

Estas variaciones pueden apreciarse no solo en los totales, sino en la participación de cada modo según se trata de la primera, segunda, tercera o cuarta etapa de viaje. Vuelve a confirmarse que los viajes de ida no son iguales a los de vuelta, evidenciando un comportamiento ya identificado en la primera investigación. En principio, esto puede explicarse por la cantidad de viajes de ida que son realizados desde el lugar de trabajo (un 25% de la muestra son estudiantes que trabajan y que se dirigen a la FRA desde el trabajo), pero esos mismos estudiantes se trasladan, al salir de la Facultad, a sus respectivas casas, dando cuenta necesariamente de una modificación en la necesidad de viaje.

<sup>10</sup> Otros: Premetro, Charter de la empresa y sin respuesta

<sup>11</sup> Otros: Remis.

Al mismo tiempo, se observa una tendencia a realizar de forma más sencilla y directa los viajes de vuelta. Se trata de viajes en su mayoría realizados después de las 10 la noche, para una población mayoritariamente trabajadora. Sea por una cuestión de economizar tiempos, por cansancio o por seguridad, los y las estudiantes en su mayoría optan o bien por reducir trasbordos, o bien por modificar desplazamientos a otros medios. Por ejemplo, el 40% de los viajes de ida que se realizan a pie en una sola etapa se modifican a viajes en otros modos, como colectivos o autos -acompañantes.

En el informe en base a la encuesta de 2016 se había dado cuenta de la reducción, en los viajes de vuelta, del FFCC Roca – Vía Quilmes por las restricciones horarias de este modo, que obligan a los y las estudiantes a retirarse antes de finalizar la cursada para lograr abordarlo, dirigiéndose en su mayoría a partidos no alejados a la Facultad (algunos más cercanos, como Berazategui, Lanús o el barrio de la Boca en CABA, u otros más alejados como Almirante Brown, Lomas de Zamora o Presidente Perón). Se confirma nuevamente que la totalidad de estudiantes que eligen el ramal Quilmes del FFCC Roca como primer modo para retirarse de la FRA ya lo hicieron para las 22:30 hs., algo que no sucede con ningún otro modo. Otra regularidad que se vuelve a registrar es el aumento de los viajes como auto-acompañante en los viajes de vuelta.

¿Qué sucede con las modificaciones en relación a las incidencias relativas de cada modo al compararse con la encuesta de 2016? Como se vio anteriormente, se detectó un descenso muy importante del colectivo, así como avances en los viajes en los dos ramales del Roca, en los viajes a pie y en la modalidad auto conductor. Estos avances relativos se dan de forma pareja tanto en los viajes de ida como de vuelta.

En las tablas siguientes pueden observarse con mejor precisión las prevalencias de cuáles son las principales elecciones modales de los y las estudiantes, así como una comparación con el informe anterior.

**Tabla 6.** Distribución modal de las principales elecciones modales para los desplazamientos de ida. Comparación 2016 - 2018 <sup>12</sup>.

Elección modal viajes de ida (cantidad de etapas)	2016	2018	Diferencia
Auto Conductor (1)	31,0%	35,3%	4,3%
Colectivo (1)	32,4%	24,1%	-8,3%
Colectivo - Tren –Tren (3)	4,5%	6,0%	1,5%
Colectivo –Tren (2)	3,4%	4,7%	1,3%
A Pie (1)	2,0%	3,9%	1,9%
Auto Acompañante (1)	2,0%	3,4%	1,4%
Colectivo –Colectivo (2)	5,9%	2,6%	-3,3%
A Pie - Tren –Tren (3)	0,6%	1,7%	1,1%
Subte - Subte –Tren (3)	0,6%	1,7%	1,1%
Tren (1)	2,8%	1,7%	-1,1%
Resto	14,8%	14,7%	-0,1%
<b>Total</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>0,0%</b>

<sup>12</sup> La tabla exhibe las elecciones modales con mayor peso relativo para el año 2018, aunque se privilegia aquellas con mayores modificaciones con respecto a 2016. En la categoría "Resto", por ejemplo, se incluye elecciones como "Moto Conductor" que en 2018 representó el 3% del total de las elecciones modales, pero que prácticamente no varió en comparación con 2016.

**Tabla7.** Distribución modal de las principales elecciones modales para los desplazamientos de vuelta. Comparación 2016 - 2018.

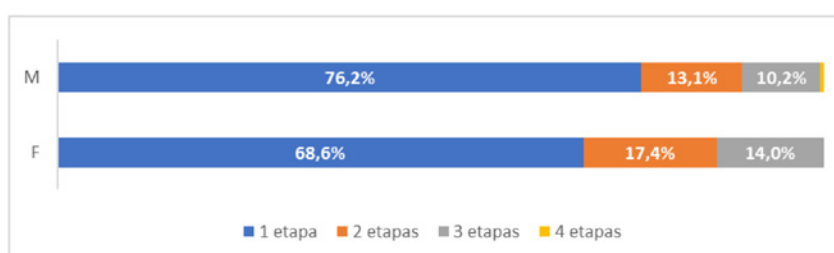
Elección modal viajes de ida (cantidad de etapas)	2016	2018	DIF
Auto Conductor (1)	32,1%	35,3%	3,2%
Colectivo (1)	32,7%	28,9%	-3,8%
Auto Acompañante (1)	7,5%	7,3%	-0,2%
Tren - Tren – Colectivo (3)	1,7%	5,2%	3,5%
Colectivo - A Pie (2)	1,7%	3,9%	2,2%
Colectivo – Colectivo (2)	8,7%	3,4%	-5,3%
Moto Conductor (1)	3,1%	3,0%	-0,1%
A Pie (1)	3,4%	2,6%	-0,8%
Colectivo - Tren – Colectivo (3)	1,1%	2,6%	1,5%
Colectivo – Tren (2)	1,1%	1,3%	0,2%
Resto	6,9%	6,5%	-0,4%
<b>Total</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>0,0%</b>

Vuelve a quedar de manifiesto cómo los viajes en colectivo retroceden tanto en viajes de ida como de vuelta, ya sea como viajes de una sola etapa como las combinaciones colectivo-colectivo. Por el contrario, surge con contundencia que la principal elección modal tanto para asistir como para retirarse es auto-conductor, desplazando al viaje en colectivo de una sola etapa del primer lugar. Como datos complementarios se observa una dualidad de los viajes a pie en una sola etapa: crecen en 2018 en los viajes de ida, pero decrecen en los de vuelta. A su vez crecieron los viajes que combinan tren con otra etapa, evidenciándose el valor que tiene este modo como complemento de otro. Allí reside su eficacia.

### Género, edad y nivel como factores explicativos.

En este apartado se examinarán las variaciones modales descritas anteriormente a la luz de tres perspectivas: género, trabajo y nivel. En algunos casos se cruzarán estas variables para poder encontrar explicaciones multidimensionales que ayuden a dar cuenta de las prácticas de viajes de los y las estudiantes.

Por un lado vemos que las mujeres tienden a hacer más trasbordos que los varones. Si bien en líneas generales la mayoría de los viajes totales (contemplando ida y vuelta) para ambos géneros se realiza en una sola etapa, las mujeres hacen más viajes de 2 y 3 etapas que los varones.



**Gráfico 10.** Distribución de viajes ida y vuelta según cantidad de etapas utilizadas y género. 2018.

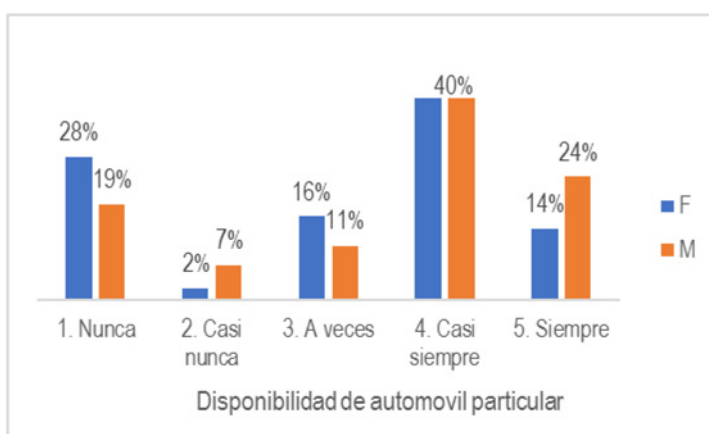
Las elecciones modales también son diferentes según el género. Mientras que para los varones la principal elección modal es el automóvil particular, para las mujeres es el colectivo. Esta circunstancia se presenta independientemente de si se trata del viaje de ida o el de vuelta. Para los viajes de vuelta, se observan tres fenómenos para las mujeres: por un lado, desaparecen los viajes a pie de única etapa; por otro, se multiplican los viajes como auto-acompañante; a su vez, caen los viajes en colectivo. Para el caso de los varones, los viajes de única etapa a pie se mantienen casi iguales; los viajes de auto acompañante suben pero en muchísima menor proporción que en el caso de las mujeres; y finalmente los viajes en colectivo aumentan.

**Tabla 8.** Distribución de las principales elecciones modales según género.

Elección modal	Viaje de ida		Viaje de vuelta	
	F	M	F	M
Auto Conductor	25,6%	38,0%	25,6%	38,0%
Colectivo	32,6%	22,5%	27,9%	28,9%
Colectivo - Tren - Tren <sup>13</sup>	7,0%	5,3%	7,0%	4,8%
Auto Acompañante	4,7%	3,2%	16,3%	5,3%
A pie	4,7%	3,7%	0,0%	3,2%

Una explicación posible para estas alteraciones es que las mujeres evitan realizar viajes a pie en caminata al retirarse de la FRA por razones de seguridad, elemento que no pesa de forma clara en el caso de los varones. De hecho, para ambos géneros el grueso del horario de salida es entre las 21:00 hs y las 22:30 (81% en ambos casos), pero resulta llamativo que prácticamente no hay mujeres que continúen luego de ese horario (solo el 2% del total), mientras que en el caso de los varones asciende a casi 8%. El aumento de viajes como acompañantes puede ir en ese mismo sentido en tanto estrategia de ahorro de tiempos, dinero o mayor confort al evitar riesgos.

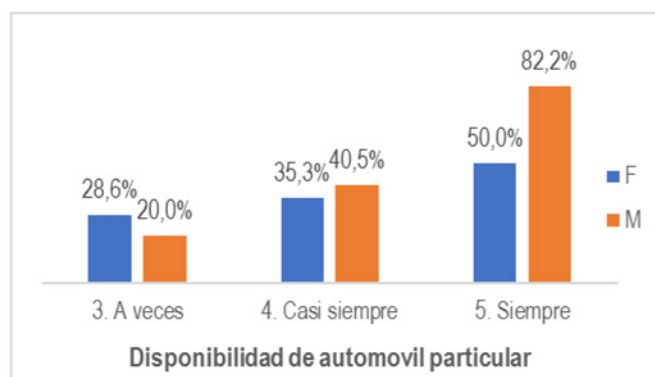
Al mismo tiempo, la posibilidad de utilizar automóvil depende de la disponibilidad del mismo. Muchos estudiantes lo comparten con su grupo doméstico, por lo que no siempre se encuentra a disposición. Lo que se observó fue que, en promedio, los varones tienen mayor disponibilidad de vehículo particular.



**Gráfico 11.** Disponibilidad de vehículo según género.

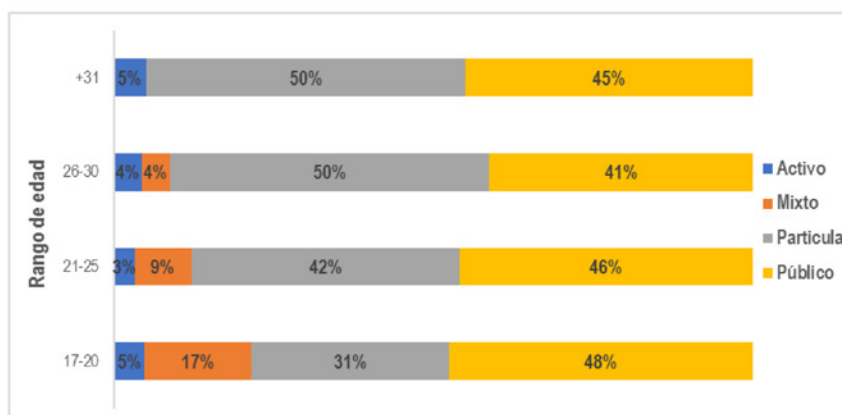
<sup>13</sup> Para el viaje de vuelta esta combinación sería: Tren – Tren – Colectivo

Además de tener una posibilidad mayor para utilizar automóvil, efectivamente lo hacen: mientras que el 82% de los varones que siempre tienen a disposición automóvil lo utilizan para asistir a la FRA; solo el 50% de las mujeres lo usan. Esta variación también puede evidenciar una mayor dificultad de las estudiantes mujeres para utilizar el vehículo en comparación con los varones por factores que van más allá de la posibilidad material de utilizarlo.



**Gráfico 12.** Relación entre personas según género que viajan como auto-conductor con la disponibilidad de automóvil.

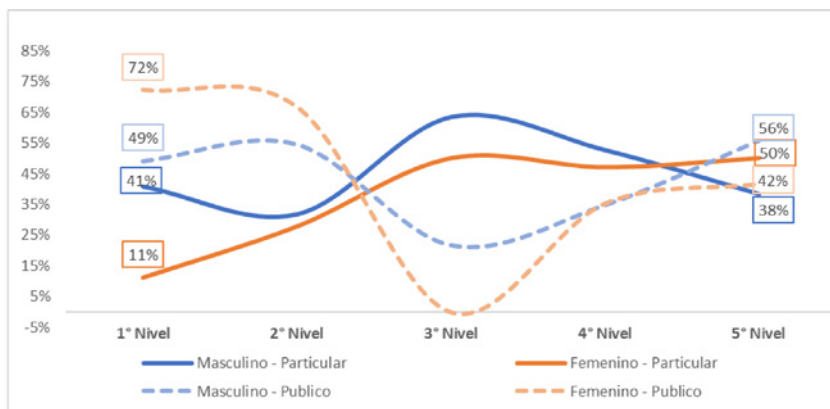
¿Hay influencia de la edad en las prácticas de viaje en relación a la utilización de medios particulares? En general se observa que con los años hay una tendencia a utilizar cada vez más el automóvil particular pero no en desmedro de los medios públicos, sino desistiendo de la utilización de combinación de medios (es decir, de las configuraciones de viajes mixtos de dos o más etapas que combinan caminatas y viajes en transporte público, o caminatas y viajes en transporte particular, o incluso viajes en transporte público y particular como parte de un mismo viaje).



**Gráfico 13.** Distribución de elección modal en % en relación al rango etario.

¿Qué sucede al combinar las variables género, nivel de cursada (que es correlativa al rango de edad) y elección modal? Se hará tan solo un contrapunto entre la elección de transporte público en contraposición de transporte particular. Se observa que en el caso del género femenino la utilización del transporte particular crece marcadamente a mayor nivel, a la par que disminuye el

uso de los medios públicos. Por el contrario, en el caso de los varones la utilización del transporte particular disminuye levemente, mientras que el uso de transporte público aumenta.

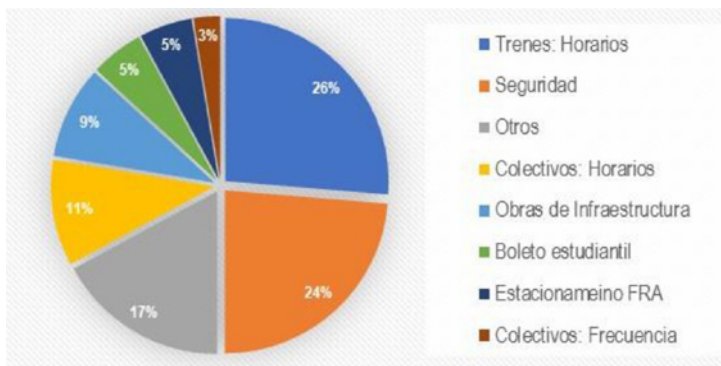


**Gráfico 14.** Relación entre personas según género que viajan como auto-conductor con la disponibilidad de automóvil. Combinación viajes de ida como de vuelta.

Estos resultados muestran un contrapunto con los hallados en la encuesta de 2016, que evidenciaban que, a mayor nivel, menor utilización de transporte público y mayor de transporte particular. Estos datos enseñan la posibilidad de abandonar correlaciones fijas e invitan a ampliar los recursos metodológicos para explicar estos comportamientos.

### Percepciones de los y las estudiantes sobre las condiciones de movilidad.

Finalmente, la encuesta habilitó a los y las estudiantes a dejar comentarios a modo de observaciones generales. Esto permitió detectar información por fuera del diseño procedimental de la encuesta, dándole cierta flexibilidad para recoger otro tipo de datos relacionados a la movilidad del estudiantado. Fueron 68 los y las estudiantes que dejaron comentarios de algún tipo. Para analizar los comentarios relevados, se procedió a una clasificación distinguiendo los contenidos de cada observación, según categorías más o menos generales.



**Gráfico 15.** Distribución de comentarios dejados por los y las estudiantes según categorías.



Al compararse estas prevalencias con las de 2016, vuelven a aparecer como principales inquietudes la seguridad y el horario de los trenes, representando entre ambas categorías el 50% del total de comentarios, dando cuenta que se trata de problemáticas de índole estructural en la percepción de los y las estudiantes. Una diferencia que se percibe es que ambas inquietudes intercalaron posiciones: en esta edición la preocupación por el horario de los trenes superó la inquietud por la problemática de la inseguridad.

Les siguen comentarios sobre el horario de los colectivos, la queja por obras de infraestructura en la zona (en aquel momento estaba en construcción el Metrobus de Quilmes, que afectaba una arteria importante de la zona como la Avenida Calchaquí), cerrando el listado comentarios sobre el boleto estudiantil, el estacionamiento de la FRA y quejas sobre la frecuencia de los colectivos.

¿Hay oscilaciones en los comentarios según género? En general las estudiantes mujeres expresaron una mayor inquietud por la problemática de seguridad (43%), seguida por el horario de trenes y colectivos en partes iguales, sin mención al resto de las categorías mencionadas. En el caso de los varones la mayoría de los comentarios se centraron en horario de trenes y seguridad (32% y 27% respectivamente), así como una mayor dispersión de preocupaciones. En ese sentido se observa en la inquietud por la seguridad un primer matiz entre ambos géneros, así como una mayor concentración de inquietudes en el caso de las estudiantes mujeres.

Con respecto al nivel, llamó la atención que los y las estudiantes de nivel 1 pusieron al horario de los trenes como principal inquietud (50%), sin mencionar la problemática de seguridad. Por el contrario, mientras más avanzado sea el nivel, menos lugar tiene el horario del ferrocarril Roca para habilitar otros problemas en una proporción más o menos pareja: seguridad, horario de colectivos o estacionamiento.

Finalmente, aquellos estudiantes que trabajan tienen como principal inquietud la seguridad (37%), seguida por los horarios de trenes (28%), mientras que los y las estudiantes desocupados se concentraron en el horario del Tren Roca (40%), dejando muy del lado el resto de los tópicos identificados. Posiblemente este comportamiento se encuentre relacionado al hecho de que los y las estudiantes de los primeros niveles se reparten equitativamente entre trabajadores y no trabajadores, mientras que los y las estudiantes de mayores niveles se encuentran mayoritariamente como empleados.

## CONCLUSIONES

A partir de la realización de la encuesta, su digitalización, procesamiento y análisis de resultados se lograron detectar características y obtener patrones en relación con la movilidad de estudiantes del establecimiento. A continuación, recogemos los elementos que consideramos más destacables de lo presentado hasta aquí, haciendo un énfasis en la comparación con el informe presentado en el año 2018 con los datos relevados en 2016.

- Quilmes es el partido predominante, como origen, en los viajes de ida, así como destino en los viajes de vuelta. Es el distrito donde más estudiantes viven y el tercero donde más trabajan. Con respecto a la muestra de 2016 se mantiene como principal distrito de residencia, pero con una menor distancia con el segundo, que es Avellaneda.

- CABA se mantiene como el distrito donde más estudiantes de la FRA trabajan.
- Los viajes de ida y de vuelta se han hecho levemente más breves.

- La mayoría de los viajes hacia la FRA se realizan desde el lugar de residencia de los y las estudiantes (72%), aumentando levemente en comparación con la encuesta anterior (68%). Esta variación se registra también en aquellos estudiantes que trabajan, que en su gran mayoría (61%) van a la FRA desde su casa.

- Buena parte de los viajes se realizan en una sola etapa (72% para la ida, 78% para la vuelta). Crecieron en comparación con la edición anterior de la encuesta los viajes de 3 etapas, incrementando en 2 puntos porcentuales para la ida, y en 6 p.p. para la vuelta. Por lo tanto, los y las estudiantes hacen más trasbordos que antes. Se mantiene el hecho de que 1 de cada 5 estudiantes realiza al menos un trasbordo en el viaje de regreso a su casa.

- El principal modo de transporte utilizado por los y las estudiantes es el colectivo (37% del total de desplazamientos), seguido por el automóvil en calidad de conductor/a (26%) y el FFCC Roca - Vía Quilmes (11%). A pesar de seguir siendo el modo preponderante, el colectivo retrocedió 8,7 p.p. con respecto a la encuesta anterior, mientras que el automóvil particular y los ramales del Tren Roca avanzaron en relación al total.

- El principal aporte del ferrocarril se realiza en combinación con otros medios de transporte, tal como se relevó en la encuesta de 2016.

- Al mismo tiempo, vuelve a confirmarse que los viajes de vuelta se consuman en menor cantidad de etapas que los viajes de ida, aunque esto se da sobre todo en los varones.

- La elección de viaje en modo auto-conductor es la principal elección de movilidad para los estudiantes varones al igual que en 2016. En esta edición se confirmó que hay más mujeres que eligen esta modalidad, aunque no llega a ser la principal estrategia de movilidad para este género. Resulta llamativo que aun teniendo vehículo a disposición muchas estudiantes mujeres optan por otros modos para dirigirse a la FRA.

- Vuelven a encontrarse, al igual que en la edición anterior, elevados tiempos de viaje en los y las estudiantes de los primeros años, ya sea por provenir o dirigirse a lugares muy alejados o por utilizar en mayor medida modos de transporte público. Más del 25% de los y las estudiantes del nivel 1 tardan más de 60 minutos para llegar a la FRA. Conforme se avanza en la carrera, menos tiempo de viaje se invierte, así como se abandonan los lugares de origen y/o destino alejados. En ese sentido volvemos a postular que la deserción estudiantil, provocada por los elevados tiempos de viaje producto de residir en distancias muy alejados, explica la evolución de este indicador.

- Por las noches vuelve a evidenciarse un “retiro prematuro” de la FRA en relación con el horario de finalización de cursada. Una de las explicaciones de este fenómeno es “una anticipación” por parte de los y las estudiantes contemplando la reducción de servicios públicos nocturnos. Esta situación se ve reflejada en los comentarios dejados por los y las estudiantes, evidenciando una sostenida preocupación por el horario de los trenes. El último servicio ferroviario no permite al estudiante (que es usuario) quedarse hasta el horario de finalización de clases.

- En este sentido, los principales problemas relevados en los comentarios son las limitaciones en la oferta de transporte y la inseguridad.

- Sigue evidenciándose en varios casos una modificación en la elección modal en los viajes de vuelta con respecto a los de ida. Las mismas circunstancias que en la encuesta de 2016 siguen presentes: reducción de oferta de trenes, preocupación por eventos de inseguridad o búsqueda de realizar el viaje de la forma más rápida, barata y/o comfortable.

Contemplando estos elementos es posible afirmar que no se detectaron modificaciones sustanciales en las prácticas de movilidad de los y las estudiantes de la FRA. De cierta forma era

una conclusión esperable, ya que no se realizaron grandes transformaciones en los servicios de transporte ni en las infraestructuras de la región.

Las variaciones en el declive del colectivo como modo elegido para realizar viajes directos o trasbordos pueden encontrar una explicación en el aumento de la tarifa de colectivos, aumentando escalonadamente a lo largo del 2018, pasando de \$6 en enero a \$13 en octubre, en un contexto de caída de los ingresos reales. El avance del automóvil particular, por el contrario, puede deberse a un avance relativo del estudiantado que proviene de hogares de mayores ingresos, y presumiblemente, hogares que cuentan con automóviles a disposición. En el período en cuestión se amplió levemente el estacionamiento de la FRA, lo cual habilita a un mayor ingreso de vehículos. Este aumento de capacidad puede asimismo haber operado como un factor inductor a la demanda. Otra interpretación puede ser la migración “por opcionalidad”; es decir, estudiantes que ya contaban con la opción de transportarse en vehículo particular pero que, por distintos factores, preferían otros modos. Los datos relevados por el informe no podrían aportar la información necesaria para confirmar o descartar estas hipótesis, por lo que deben ser interpretadas como tales.

Al igual que se afirmó en el informe anterior (Bossio et. al., 2018: 185):

Los resultados dan cuenta de cómo algunas circunstancias referidas a la oferta de transporte condicionan las elecciones de movilidad de los y las estudiantes. A su vez, estas elecciones están determinadas por el género y la edad del pasajero/a: es muy probable que un estudiante varón que se encuentra finalizando la carrera tenga una variedad de opciones distintas a las de una estudiante mujer del primer nivel. La racionalidad de los y las estudiantes no es distinta a la de la mayoría de la población: buscamos viajar con comodidad, ahorrando tiempo, evitando circunstancias de riesgo. Pero muchas veces las opciones no son las deseadas, producto de las modificaciones en la oferta de transporte, o de la ausencia de conexiones a la hora de vincular orígenes y destinos distantes. En este sentido, no es menor que los y las estudiantes que viven en puntos más alejados tengan mayores dificultades para acceder a cursar.

Finalmente, este artículo fue concluido en junio de 2020, mientras el país atraviesa el aislamiento social, preventivo y obligatorio dictaminado por el poder ejecutivo en el contexto de la pandemia por el Covid-19. Este marco ha generado una enorme transformación en prácticamente todas las prácticas sociales, generado en particular nuevas modalidades de enseñanza-aprendizaje en nuestra casa de estudios. Difícilmente pueda volver a realizarse este año una nueva edición de la encuesta, que ya obtuvo cierta regularidad a la hora de generar mediciones sistemáticas sobre las prácticas de movilidad del estudiantado. En cualquier caso, aspiramos a que este artículo pueda seguir aportando información valiosa para la comunidad académica, al echar luz sobre algunos determinantes que operan como habilitadores o inhibidores de ciertas prácticas de movilidad que, en el corto o largo plazo, puede afectar las condiciones de permanencia del estudiantado.

Una vez que hayamos logrado superar este difícil contexto, será necesario tomar medidas que faciliten la permanencia de los y las estudiantes, minimizando lo máximo posible los efectos negativos que esta pandemia tendrá en el conjunto de población, particularmente los sectores más

---

<sup>14</sup> Fuente: <https://www.minutouno.com/notas/3091498-el-boleto-colectivo-13-cuanto-aumento-2018-el-pasaje-del-transporte-publico>

empobrecidos que, producto de políticas de largo alcance, han logrado acceder a la universidad pública.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a Oscar Lopetegui, Adriana García, Lucas Giménez, Carmello Caparelli, Delia García, Julia Fucci y a todos los docentes que facilitaron la realización de la encuesta en sus respectivas clases.

## **REFERENCIAS**

APAOLAZA, R.A. (2013). Los debates sobre transporte urbano, movilidad cotidiana y exclusión social. Una revisión desde el caso argentino. Ponencia presentada en XXIX Congreso de la Asociación Latinoamericana de Sociología. Avance de investigación en curso. Beca Doctoral Programa UBACYT (F- 134), período 2012-2015.

BOSSIO, D; CAPARELLI, C.; FILGUEIRA, E.M., GIORMENTI MORAVEC, B.; GURRERA, W.; LÓPEZ DENTONE, F; PICCIRILLO, J.M.; ROLÓN; R. (2018). La movilidad de los y las estudiantes de la Facultad Regional Avellaneda de la Universidad Tecnológica Nacional. Rumbos Tecnológicos Vol. 10 - Octubre 2018 – Septiembre 2019.

GUTIÉRREZ, A. (2009). Movilidad o inmovilidad: ¿qué es la movilidad? Aprendiendo a delimitar los deseos. Ponencia presentada en XV Congreso Latinoamericano de Transporte Público y Urbano. Buenos Aires, Argentina.

SHIRAHIGE, M. y CORREA, J. (2015). La desigualdad en el acceso al transporte público en el área metropolitana de Santiago: análisis mediante la aplicación del modelo PTAL en campamentos y villas de blocks. Revista CIS N°18

UNIDAD EJECUTORA CENTRAL – UEC- (2010). ENMODO: Encuesta de Movilidad Domiciliaria. Ministerio del Interior y Transporte del Gobierno de la Nación Argentina. Buenos Aires, Argentina.

VECSLIR, L. Y BLANCO, J. (2014). Movilidad cotidiana y reestructuración de la centralidad en el sur de la Región Metropolitana de Buenos Aires. XII Seminario Internacional Red Iberoamericana de Investigaciones sobre globalización y territorio. Salvador, Brasil

# DESARROLLO DE CATALIZADORES DE COBRE SOPORTADOS SOBRE ESFERAS DE CELULOSA PARA ELIMINAR CONTAMINANTES EMERGENTES EN AGUA

Fecha de Recepción: 8 de abril de 2020 • Fecha de Aceptación: 13 de Octubre de 2020

**Exequiel N. Nudel\*<sup>1</sup>, Graciela V. Olmos<sup>1</sup>, Alejandra Devard<sup>2</sup>, F. Albana Marchesini<sup>2</sup>, María C. Taleb<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Instituto de Tecnología Celulósica - Facultad de Ingeniería Química - Universidad Nacional del Litoral, Santiago del Estero 2654, 3000, Santa Fe Capital, Santa Fe, Argentina.

<sup>2</sup> Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas - Facultad de Ingeniería Química - Universidad Nacional del Litoral, Santiago del Estero 2829, 3000, Santa Fe Capital, Santa Fe, Argentina.

*\*Autor a quien la correspondencia debe ser dirigida  
Correo Electrónico: exequielnudel@gmail.com*

## RESUMEN

Los contaminantes emergentes se encuentran frecuentemente en los efluentes acuosos de industrias químicas, farmacéuticas y petroquímicas, siendo los procesos de oxidación avanzada (POA), tales como oxidación catalítica húmeda con  $H_2O_2$  (CWPO), una buena opción para eliminarlos. En este trabajo se plantea el uso de catalizadores preparados a partir de celulosa estructurada en esferas como soporte de nanopartículas de cobre. Un método ecológico se emplea para sintetizar in situ el cobre en presencia de ácido ascórbico como agente reductor del precursor de cobre. La forma esférica permite su fácil recuperación, además de tratarse de una matriz orgánica, económica,

renovable y biodegradable, para eliminar fenol, el cual se emplea típicamente como molécula sonda de contaminantes emergentes. Los resultados mostraron que la actividad de los catalizadores no está directamente vinculada con la concentración de cobre depositado en las esferas. Si bien deberá mejorarse la eficiencia de los catalizadores respecto a la conversión de carbono orgánico total, las conversiones de fenol logradas a los 120 minutos de reacción, en general fueron superiores al 90 %.

**Palabras Claves:** celulosa regenerada, cobre, fenol, contaminantes emergentes.

## ABSTRACT

Emerging contaminants are frequently found in aqueous effluents of chemical, pharmaceutical and petrochemical industries, being advanced oxidation processes such as  $H_2O_2$  wet catalytic oxidation a good option to eliminate them. The present work proposes the use of different catalysts prepared from structured cellulose in beads as a support for copper nanoparticles synthesized in situ by an ecological method, in which ascorbic acid is used as a reducing agent of the copper precursor. The beads shape allows its easy recovery, being an organic, economic, renewable and biodegradable matrix

to eliminate phenol used as a probe molecule of emerging contaminants. Results show that the catalysts activity is not directly related to the copper concentration deposited in the beads. While the efficiency of catalysts regarding total organic carbon conversion must be improved, phenol conversions achieved at 120 minutes of reaction, were in general greater than 90 %.

**Keywords:** regenerated cellulose, copper, phenol, emerging contaminants.

## INTRODUCCIÓN

Los contaminantes emergentes (CE) son compuestos que se encuentran en muy bajas concentraciones en el agua, y que actualmente, empleando técnicas de pre-concentración y metodologías analíticas sensibles, se los han logrado detectar y asociar al desarrollo de diversos efectos adversos en la ecología y/o en los organismos (Stuart et al, 2012).

Para la eliminación de CE en efluentes acuosos, resultan ser útiles los Procesos de Oxidación Avanzados (POA), estos engloban un conjunto de tratamientos que degradan compuestos orgánicos como el fenol. Se caracterizan por generar radicales oxidantes altamente reactivos, capaces de degradar compuestos orgánicos a  $H_2O$ ,  $CO_2$  y sales minerales (Deng et al, 2015). Dentro de los POA se incluyen fotocatalisis, tratamiento con UV/ $H_2O_2$ , ozonización, oxidación húmeda con aire (WAO) y oxidación catalítica húmeda con aire (CWAO) o con peróxido (CWPO), siendo este último de interés en este trabajo. La presencia de materiales catalíticos, induce a mejoras sustanciales en las variables del proceso, como temperatura, presión y tiempo de residencia (Zapico et al, 2017). Como alternativa a la generación de radicales hidroxilo ( $HO\cdot$ ) se ha propuesto aprovechar las propiedades redox de las especies de cobre, principalmente el par  $Cu^{2+}/Cu^+$  (Xu et al, 2018; Moreno-Castilla et al, 2019).

En este sentido, el diseño de formulaciones catalíticas para estos tratamientos, que resulten activas, selectivas, estables y de bajo costo sigue siendo un desafío importante (Chiron et al, 2000). Existen numerosos trabajos que emplean catalizadores conteniendo cobre, entre ellos, recientemente Pan et al, 2020 utilizaron un catalizador con cobre Cu/UiO-66 a base de Circonio ligado a una red metal-orgánica (MOF), que resulta ser eficaz para la CWPO del 4-clorofenol. Por otra parte, Lozano et al, 2020 prepararon un catalizador basado en el MOF UiO-66 por síntesis asistida por microondas con especies de cobre altamente dispersas (Cu/UiO-66) y obtuvieron un buen desempeño en la oxidación con peróxido (CWPO).

En esta línea, la síntesis de nanopartículas metálicas y las propiedades derivadas son de gran

interés debido al uso como materiales catalíticos. Para esta aplicación es necesario inmovilizar las nanopartículas en sustratos sólidos, siendo la celulosa una matriz óptima debido a que es uno de los materiales orgánicos más abundantes y disponibles en la tierra cuyas propiedades fisicoquímicas conducen a una gran variedad de aplicaciones en el campo de los adsorbentes y catalizadores. No obstante, su uso en diferentes campos está restringido por limitaciones derivadas de su estructura. Dado que el punto de fusión de la celulosa es superior a su temperatura de degradación, la disolución es la única vía para la formación de productos de celulosa regenerada, en forma de fibras, películas, membranas, esponjas o esferas (Navard, 2012, Weibl et al., 2018).

Industrialmente los métodos de disolución de celulosa más utilizados son el proceso de viscosa y el de N-óxido N-metilmorfolina (NMMO). El proceso de viscosa aún domina los métodos industriales de disolución de celulosa, con una producción anual mundial proyectada para el 2020 de alrededor de 6 millones de toneladas. Para la preparación de la misma se utilizan pulpas para disolver de diferentes grados, siendo la calidad de la pulpa y su reactividad factores muy importantes (Östberg y Germgard, 2012; Heinze et al, 2018-a). Sin embargo el proceso de viscosa genera como residuo derivados del azufre que son altamente contaminantes.

Investigaciones actuales se centran en realizar disoluciones directas de celulosa, amigables con el medio ambiente en líquidos iónicos y en NaOH. El método de disolución en líquidos iónicos tiene el potencial de disolver grandes cantidades de celulosa para la producción de fibras, compuestos de celulosa, aerogeles porosos, esferas, películas bioactivas y micropartículas funcionalizadas, pero es costoso y todavía se encuentra en estudio (Tan y Lee, 2012). En cambio una vía interesante es la que utiliza soluciones acuosas de NaOH, con y sin aditivos (urea, tiourea, óxido de zinc), que tienen las ventajas de ser muy simple, barata y sin problemas de polución medioambiental.

La formación de productos regenerados a partir de celulosa disuelta ha cobrado interés ya que son fáciles de obtener, son biocompatibles, biodegradables, estables química y térmicamente (Wang et al, 2016; Heinze et al, 2018-b).

El objetivo de la presente investigación es desarrollar una ruta de síntesis conveniente de preparación de un catalizador, que conduzca a un balance general positivo en el que participen costos, tiempo, calidad del producto, rendimiento catalítico y efectos sobre el ambiente. Para ello, se presenta un método de deposición in situ de nanopartículas de Cu sobre un soporte inerte estructurado de celulosa regenerada para la eliminación de contaminantes en agua, empleando fenol como molécula prueba.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Todos los reactivos químicos fueron de grado analítico y se usó agua desionizada. Se trabajó con una pulpa para disolver de eucalipto (95,3 % de  $\alpha$ -celulosa) marca Solucell® proporcionada por la empresa Bahia Specialty Cellulose S.A. (Camacari, Brasil).

### **Preparación de disolución directa de celulosa en NaOH/urea**

Para obtener la disolución de celulosa se mezcló la pulpa, en un vaso de reacción, con una solución de NaOH 7 % m/m y urea 12 % m/m y se colocó en un baño termostático a  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , con agitación constante durante 30 minutos. Luego, para separar la celulosa no disuelta se centrifugó a 12000 rpm durante 15 minutos y la solución de celulosa se almacenó a baja temperatura (Olmos, 2016).

### Preparación y caracterización del soporte

Como soporte del catalizador se usó celulosa regenerada (CR) en forma de esferas. El procedimiento de formación se realizó por goteo de solución de celulosa con bomba de jeringa a un caudal de 30 ml/h. Las esferas de celulosa se coagularon y regeneraron en un baño ácido de  $H_2SO_4$  5 % m/v y  $Na_2SO_4$  5 % m/v. Luego se lavaron hasta neutralidad y se almacenaron en heladera (Olmos et al., 2014).

El soporte de celulosa se caracterizó mediante análisis de imágenes de partículas húmedas por microscopía óptica (Olympus, BX51) provisto de cámara digital (Olympus E-330). La distribución de tamaño se determinó estadísticamente a partir de la medición de sus diámetros. Se calculó valor promedio, desviación estándar, coeficiente de variación y el diámetro se expresó teniendo en cuenta el valor estadístico según la distribución t al 95 % de nivel de confianza. La porosidad total se determinó por la relación entre el volumen de agua contenida en las esferas y el volumen total. Se cuantificó la masa de esferas húmedas ( $m_h$ ), luego se secaron en estufa a 105 °C y se determinó la masa seca ( $m_s$ ) (Olmos et al, 2014). La porosidad se calculó con la Ecuación 1.

$$\% P = \frac{(m_h - m_s)}{(\delta_{H_2O})} / \frac{(m_h - m_s)}{(\delta_{H_2O})} + \frac{m_s}{\delta_{cel}} \quad \text{Ec.(1)}$$

Siendo:  $\delta_{H_2O}$ : densidad del agua (0,998 g/cm<sup>3</sup>)  
 $\delta_{cel}$ : densidad de la celulosa (1,519 g/cm<sup>3</sup>)

### Preparación y caracterización del catalizador

Las partículas de cobre se sintetizaron en las esferas de celulosa con una solución acuosa del precursor de acetato de cobre  $[Cu(CH_3COO)_2]$  al 1 y 5 % m/m de Cu en relación al soporte. El pH de esta solución se ajustó a  $7,0 \pm 0,1$  (Liu et al, 2012) por agregado de un pequeño volumen de solución de HCl o NaOH 0,1 M. En un reactor conteniendo la solución de cobre y el soporte, se agregó con bomba jeringa una solución de L-ácido ascórbico 0,037 M como agente reductor. La mezcla se mantuvo a reflujo a 25 y 80 °C con agitación magnética durante 4 y 8 h. Finalmente, el catalizador se filtró y se lavó con agua desionizada.

La cantidad de Cu en el catalizador se determinó por Espectroscopía de Absorción Atómica (EAA) y la observación de las distintas especies cristalinas se realizó mediante Difracción de rayos X (DRX, Shimadzu XD-D1).

### Evaluación catalítica

La reacción de oxidación catalítica se llevó a cabo en un sistema discontinuo provisto de agitación magnética y reflujo, empleando 50 ml de solución de fenol (1000 ppm) y una masa de catalizador de manera que contenga 0,15 mg de Cu. La solución se calentó a 70 °C, alcanzada esa temperatura se adicionó el catalizador seguido de 5 ml de  $H_2O_2$  (100 Vol) y se dejó reaccionar durante 120 minutos. A intervalos fijos de tiempo se tomaron muestras del sobrenadante para determinar el contenido de fenol, por espectrofotometría a 500 nm mediante el método de la 4-ami-



noantipirina, según la Norma 5530-D del Standard Method for water assay. La conversión de fenol a diferentes tiempos de reacción se calculó teniendo en cuenta la concentración inicial de fenol. Al finalizar la reacción, en el sobrenadante se determinó el Carbono Orgánico Total (COT), según Norma ISO-8245 (1999).

## RESULTADOS

### Caracterización del soporte

El soporte formado por goteo de la solución de celulosa, presentaron un diámetro promedio de  $2,73 \pm 0,03$  mm y una porosidad total de 93,8 %. El coeficiente de variación resultó menor al 10 %, lo que indica que los diámetros de las esferas de celulosa mostraron una distribución homogénea.

#### Preparación del catalizador

La Tabla 1 muestra las diferentes condiciones de preparación de los catalizadores, carga de Cu inicial, temperatura y tiempo de tratamiento. A 25 °C y 4 h, y con dos cargas diferentes de fase activa, 1% y 5% de Cu (C1-25-4 y C5-25-4), se puede apreciar que la cantidad de Cu depositado en el catalizador fue prácticamente la misma. En cambio, al mantener 4 horas de reacción y aumentar la temperatura a 80 °C, para una carga inicial de 1 % Cu (C1-25-4 y C1-80-4) se observa que retiene 38 % menos. Para el catalizador preparado con 5 % de Cu inicial (C5-25-4 y C5-80-4), la cantidad de Cu aumenta 88 % cuando la síntesis se realiza a la temperatura más alta. Por otro lado, al comparar entre 1 % y 5 % a 80°C (C1-80-4 y C5-80-4) se produce un aumento del 92,4 % de cobre en el catalizador. Con la mayor carga de Cu y al aumentar el tiempo de reacción a 8 horas (C5-80-4 y C5-80-8), la retención del Cu en el catalizador es más baja.

**Tabla 1.** Condiciones de preparación y cuantificación de Cu antes de la evaluación catalítica en catalizadores.

Catalizador	Cu inicial (%)	T (°C)	Tiempo (h)	Cu catalizador* (%)
C1-25-4	1	25	4	0,068
C5-25-4	5			0,063
C1-80-4	1	80	4	0,042
C5-80-4	5			0,546
C5-80-8	5		8	0,114
C5-80-4 <sup>#</sup>			4	0,027

\*Cu cuantificado por EAA

<sup>#</sup>Sin agente reductor L-Ácido Ascórbico

En las mismas condiciones de síntesis en el catalizador C5-80-4 se analizó la capacidad reductora de la celulosa. Para ello se sintetizaron las nanopartículas de Cu en ausencia del ácido ascórbico como agente reductor. En la Tabla 1, la muestra C5-80-4<sup>#</sup> evidencia una muy baja retención de Cu comparado con el catalizador en presencia del reductor externo.

### Caracterización del catalizador

En la Figura 1 se muestran los difractogramas de rayos X de la celulosa regenerada (CR) y de los catalizadores. El difractograma del soporte de CR muestra la presencia de los picos caracte-

rísticos de Celulosa II en los ángulos  $2\theta$  igual a  $21^\circ$  y  $12,5^\circ$  (Moharram y Mahmoud, 2007), que confirma el tipo de estructura cristalina. En el caso de los catalizadores, se observan difracciones debidas a especies de Cu en los ángulos  $2\theta$  mayores a  $25^\circ$ , correspondientes a  $\text{Cu}^0$  en  $43,3^\circ$  ( $\text{Cu}$ , ●, PDF 4-836),  $\text{Cu(I)}$  en  $29,0^\circ$  y  $36,4^\circ$  ( $\text{Cu}_2\text{O}$ , ■, PDF 5-667) y  $\text{Cu(II)}$  en  $53,3^\circ$  ( $\text{CuO}$ , ▲, PDF 80-1917). Este análisis permite sugerir que las nanopartículas estarían dispersas en el soporte y que las mismas no modifican la estructura cristalina de la celulosa (Muthulakshmi et al., 2019).

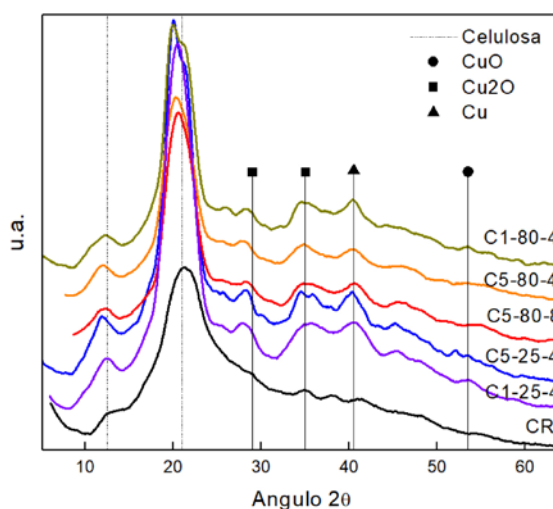


Figura 1. DRX del soporte de celulosa regenerada (CR) y de los catalizadores.

### Evaluación catalítica

Para determinar las condiciones operativas en la evaluación catalítica, se consideran resultados de estudios previos con catalizadores de  $\text{Cu}/\text{Al}_2\text{O}_3$  (Devard A. et al. 2019), donde analizaron el efecto de la temperatura tanto en la conversión de fenol como en la mineralización alcanzada. En estas experiencias, observaron que a  $25^\circ\text{C}$  y  $40^\circ\text{C}$ , las conversiones de fenol y de COT fueron bajas y la solución final resultó muy coloreada. Mientras que, al aumentar a  $70^\circ\text{C}$  lograron mejorar la conversión de fenol y la mineralización y la solución final fue incolora.

Para la evaluación catalítica en los catalizadores, primero se analizó el blanco de reactivos es decir, la solución de fenol con  $\text{H}_2\text{O}_2$  a  $70^\circ\text{C}$  durante 120 minutos. Al final de la reacción la conversión de fenol fue despreciable. Por otra parte, se evaluó la reacción de fenol en el soporte de celulosa regenerada en iguales condiciones de temperatura, tiempo y concentración de  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Al finalizar la reacción se observó que las esferas no producen conversión de fenol.

La evaluación catalítica se realiza sobre aquellos catalizadores preparados con 5 % de Cu inicial, manteniendo fija la relación entre la carga de Cu en el catalizador y la concentración inicial de fenol durante la reacción. La Figura 2 muestra los resultados de la conversión de fenol en función del tiempo de reacción para los catalizadores C5-25-4, C5-80-4 y C5-80-8. En la misma, se observan dos comportamientos bien diferenciados en la conversión de fenol. A los 120 minutos de reacción, la muestra C5-25-4 alcanza una conversión de 66 % mientras que para el catalizador C5-80-4 convierte el 97 %. En el caso del catalizador C5-80-8 presenta una eficiencia intermedia para convertir el fenol.

La reacción de conversión de fenol se inicia cuando el sistema alcanza los 70 °C, momento en el cual la solución es incolora. Al agregar el H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y conforme transcurre el tiempo, la oxidación se produce y una serie de productos intermediarios coloreados; como hidroquinonas, benzoquinonas, entre otros (Liotta et al, 2009); comienzan a formarse hasta que la misma alcanza una coloración marrón. Luego estos productos son escindidos a ácidos grasos de cadenas cortas y también mineralizados, con lo cual la solución adquiere bajo pH decolorándose hasta alcanzar una variación de color, de amarillo a ámbar dependiendo del grado de mineralización. Como estos productos de cadena más corta resultan igualmente tóxicos, es necesario evaluar el grado de mineralización, esto es conversión a CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O, que efectivamente se produjo del fenol. Para analizar el grado de mineralización se realizan determinaciones del carbono orgánico total (COT). Para el cálculo de la conversión de COT se consideran que los 1000 ppm de fenol se corresponden con 766 ppm de carbono orgánico total teóricos, es decir, todo el carbono orgánico proviene del fenol.

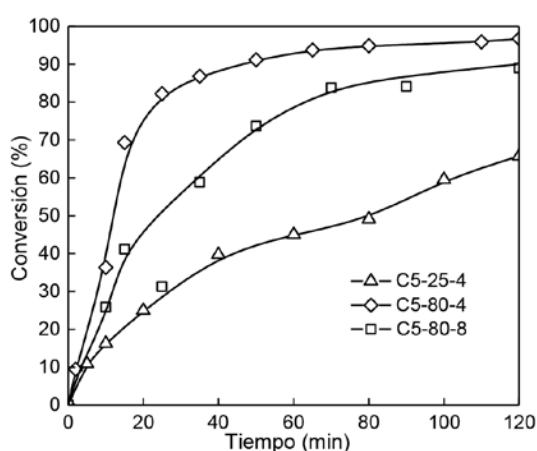


Figura 2. Evolución de la conversión de fenol en los catalizadores con el tiempo de reacción.

La Tabla 2 muestra los resultados de conversión de COT para los catalizadores evaluados en la reacción con fenol, donde se puede observar que el catalizador C5-25-4 presenta la más baja conversión de TOC, es decir un bajo grado de mineralización.

El catalizador C5-80-4 tuvo la mayor deposición de cobre, mayor porcentaje de conversión de fenol y de COT comparado con el catalizador C5-80-8. Ambos catalizadores desarrollados a 80 °C, muestran mayor deposición de cobre y conversiones que aquel sintetizado a 25 °C.

La tendencia es que aquellos catalizadores que ofrecen una alta conversión de fenol en los 120 minutos de reacción también evidencian mayor conversión de carbono orgánico total.

Tabla 2. Mineralización luego de la evaluación catalítica.

Sobrenadante	Conversión COT (%)
C5-25-4	2,2
C5-80-4	52,0
C5-80-8	25,0

El grado de conversión de fenol y de carbono orgánico total está vinculado a la disponibilidad de cobre para catalizar la reacción más que a la cantidad de la fase activa, que en todas las experiencias fueron constantes. Además, existe competencia entre la reacción heterogénea que se produce con el cobre del catalizador y los compuestos orgánicos y la reacción homogénea del cobre que queda en solución (leaching). Los compuestos orgánicos presentes en el medio de reacción reducen el cobre ( $\text{Cu}^{2+}$ ) depositado en el catalizador y luego parte de este catión reducido ( $\text{Cu}^+$ ) pasa a la fase líquida (Santos et al, 2005). Esta especie reducida se vuelve a oxidar en solución y los cationes  $\text{Cu}^{2+}$  comienzan el nuevo ciclo de oxidación de los compuestos orgánicos presentes en fase líquida. Esta es la competencia, que se observa entre catalizador heterogéneo y homogéneo, necesaria para que se extienda la mineralización y que resulta como consecuencia del lixiviado de la fase activa.

Según Eremenko et al. (2016), el mecanismo de reducción de iones metálicos en la superficie del soporte celulósico durante el proceso de síntesis y su estabilidad en relación con la lixiviación de las partículas metálicas o iones en contacto con agua y fluidos biológicos no está del todo claro.

La celulosa es un homopolímero lineal constituido por unidades de D-glucosa con estructura de anillo piranósico, unidas entre sí por enlaces  $\beta$ -1,4 glicosídicos. Este biopolímero posee un extremo reductor por la presencia de un grupo aldehído potencial, que presumiblemente podría promover el proceso de reducción de los iones cobre. Sin embargo los resultados analizados en la muestra C5-80-4# muestran una baja retención de Cu por lo que el poder reductor de la celulosa no sería suficiente comparado con el catalizador preparado en presencia de un reductor externo.

Estos autores indican que es posible que los cationes metálicos formen enlaces con los hidroxilos de la celulosa. Además, las moléculas de agua estarían incluidas en la esfera de coordinación de los iones metálicos, formando simultáneamente un enlace de hidrógeno con grupos OH de celulosa (Eremenko et al, 2016). Los resultados alcanzados en este trabajo evidencian que la concentración de Cu que pueda unirse a la celulosa depende fuertemente de las condiciones de preparación del catalizador.

## CONCLUSIONES

Se desarrolló un soporte de celulosa regenerada con solución de celulosa, el cual presenta buenas propiedades para sintetizar nanopartículas de cobre. El interés en estos catalizadores reside en su preparación por métodos amigables con el ambiente y el empleo de un soporte biodegradable, económico y abundante, que no aporta otro tipo de contaminación en el agua tratada y que al ser estructurado permite ser separado fácilmente al final del proceso.

Estos catalizadores de Cu soportados sobre esferas de celulosa de disolución directa, resultaron activos y eficientes para la eliminación de contaminantes emergentes empleando fenol como molécula modelo, alcanzando conversiones mayores al 80 % y mineralizaciones del 50 %, con excepción del C5-80-8 cuya mineralización ha sido muy baja. Estos constituyen prometedores resultados de reacción, sin embargo los catalizadores deben ser más estudiados para poder determinar los motivos de las diferentes eficiencias catalíticas.

## REFERENCIAS

Chiron, S., Fernandez-Alba, A., Rodriguez, A. y Garcia-Calvo, E. (2000). Pesticide chemical oxidation: state-of-the-art. *Water Research*, 34(2), 366–377.

Deng, Y., Zhao, R. (2015). Advanced Oxidation Processes (AOPs) in Wastewater Treatment. *Curr Pollution Rep* 1, 167–176.

Devard, A., Brusino, P., Marchesini, F. A. y Ulla, M. A. (2019). Cu(5%)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalytic performance on the phenol wet oxidation with H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: Influence of the calcination temperature. *Journal of Environmental Chemical Engineering* Volume 7, Issue 4, 103201.

Eremenko, A. M., Petrik, I. S., Smirnova, N. P., Rudenko, A. V. y Marikvas, Y. S. (2016). Antibacterial and Antimycotic Activity of Cotton Fabrics, Impregnated with Silver and Binary Silver/Copper Nanoparticles. *Nanoscale Research Letters*, 11-28.

Heinze T., El Seoud O. y Koschella A., (a) (2018). Chapter 3: Cellulose Activation and Dissolution. *Cellulose Derivatives*. Springer International Publishing AG 2018 T. Springer Series on Polymer and Composite Materials.

Heinze T., El Seoud O. y Koschella A., (b) (2018). Chapter 5: Cellulose Esters. *Cellulose Derivatives*. Springer International Publishing AG 2018 T. Springer Series on Polymer and Composite Materials.

Liotta, L. F., Gruttadauria, M., Di Carlo, G., Perrini, G. y Librando, V. (2009) Heterogeneous catalytic degradation of phenolic substrates: catalysts activity. *J. Hazardous Mater*, 162(2-3), 588-606.

Liu, Q., Yasunami, T., Kuruda, K. y Okido, M. (2012). Preparation of Cu nanoparticles with ascorbic acid by aqueous solution reduction method. *Transactions of Nonferrous Metal Society China*, 22, 2198–2203.

Lozano, L. A., Devard, A., Ulla, M. A. y Zamaro J. M. (2020). Cu/UiO-66: a novel nanocatalyst obtained by a microwave-assisted protocol in DMF-free media for the efficient phenol removal via catalytic wet peroxide oxidation. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 8, 104332.

Moharram, M. A. y Mahmoud, O. M. (2007). X-Ray Diffraction Methods in the Study of the Effect of Microwave Heating on the Transformation of Cellulose I into Cellulose II During Mercerization. *Journal of Applied Polymer Science*, 105, 2978–2983.

Moreno-Castilla, C., López, M.V., Fontecha, M.A., Álvarez, M.A. y Mateus, L. (2019). Removal of phenolic compounds from water using copper ferrite nanosphere composites fenton catalysts. *Nanomaterials* 9, 901–917.

Muthulakshmi L., Varada Rajalu A., Kaliaraj G., Siengchin S., Parameswaranpillai J. y Saraswathi R., (2019). Preparation of cellulose/copper nanoparticles bionanocomposite films using a bio-flocculant polymer as reducing agent for antibacterial and anticorrosion applications. *Composites Part B: Engineering*, Volume 175 (2019), 107177.

Navard, P. (2012). *The European Polysaccharide Network of Excellence (EPNOE). Research initiatives and results*. Vienna, Austria: Springer Netherlands.

Olmos G V. (2016). Alternativas de disolución de celulosa para la obtención de productos regenerados (Tesis de Doctorado en Química) Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe.

Olmos, G., Taleb, M. C., Lanieri, D., Balbi, M. C. y Maximino, M. (2014). Obtención de productos regenerados de celulosa a partir de solución de viscosa. In 14° SAM-CONAMET / IBEROMAT 2014 - XIII SIMPOSIO MATERIA.

Östberg, L. y Germgard, U. (2013). Some aspects on the activation of dissolving pulps and the influence on the reactivity in a following viscose stage. *Cellulose Chemistry and Technology*, 47(3-4): 165-169.

Pan, Y., Jiang, S., Xiong, W., Liu, D., Li, M., He, B., Fan, X. y Luo, D. (2020). Supported CuO catalysts on metal-organic framework (Cu-UiO-66) for efficient catalytic wet peroxide oxidation of 4-chlorophenol in wastewater, *Micropor. Mesopor. Mater.* 291, 109703.

Santos, A., Yustos, P., Quintanilla, A., Ruiz, G. y Garcia-Ochoa, F. (2005). Study of the copper leaching in the wet oxidation of phenol with CuO-based catalysts: Causes and effects. *Applied Catalysis B: Environmental*, 61, 323–333.

Stuart, M., Lapworth, D., Crane, E. y Hart, A. (2012). Review of risk from potential emerging contaminants in UK groundwater. *Science of the Total Environment*, 416, 1–21.

Tan, H. T. y Lee K. T. (2012). Understanding the impact of ionic liquid pretreatment on biomass and enzymatic hydrolysis. *Chemical Engineering Journal*, 183, 448– 458.

Wang S., Lu A. y Zhang L. (2016). Recent advances in regenerated cellulose materials. *Progress in Polymer Science*, 53, 169–206.

Weibl M., Niegelhell K., Reishofer D., Zankel A., Innerlohinger J. y Spirk S. (2018). Homogeneous cellulose thin films by regeneration of cellulose xanthate: properties and characterization. *Cellulose*, 25:711–721.

Xu, S., Zhu, H., Cao, W., Wen, Z., Wang, J., François-Xavierc, C.P. y Wintgens, T. (2018). CuA-I2O3-g-C3N4 and Cu-Al2O3-C-dots with dual-reaction centres for simultaneous enhancement of Fenton-like catalytic activity and selective H2O2 conversion to hydroxyl radicals, *Appl. Catal. B-Environ* 234, 223–233.

Zapico, R. R., Marín, P., Díez, F. V. y Ordóñez, S. (2017). Assessment of phenol wet oxidation on CuO/ $\gamma$ -Al2O3 catalysts: Competition between heterogeneous and leached-copper homogeneous reaction paths. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(3), 2570–2578.

# DESARROLLO DE UN ADSORBENTE COMPUESTO DE CELULOSA ESFÉRICA/ OXIHIDRÓXIDO DE HIERRO PARA LA ELIMINACIÓN DE ARSÉNICO EN AGUAS

Fecha de Recepción: 30 de junio de 2020 • Fecha de Aceptación: 12 de Agosto de 2020

**M. Cecilia. Balbi, Matías A. Favot, Giuliana Leone, Graciela V. Olmos, M. Claudia Taleb\***

Instituto de Tecnología Celulósica – Facultad de Ingeniería Química – Universidad Nacional del Litoral. Santiago del Estero 2654, 3000, Santa Fe, Argentina.

*\*Autor a quien la correspondencia debe ser dirigida  
Correo Electrónico: turtaleb@fiq.unl.edu.ar*

## RESUMEN

Se preparó un adsorbente compuesto para eliminar arsénico en aguas subterráneas, constituido de un mineral de hierro soportado en esferas de celulosa. Las esferas se prepararon por coagulación directa de solución de viscosa y luego se cargaron con el mineral de hierro (akaganita) siguiendo un procedimiento de hidrólisis/precipitación. Los diferentes materiales: soporte, mineral de hierro y adsorbente; se caracterizaron y la calidad del adsorbente se determinó mediante estudios termodinámicos y cinéticos. Se realizaron ensayos dinámicos de remoción de arsénico en agua subterránea y pruebas de regeneración del adsorbente. El adsorbente desarrollado mostró una buena afinidad para mitigar arsénico en muestras de agua subterránea.

**Palabras Claves:** adsorción, aguas subterráneas, celulosa/akaganita, arsénico.

## ABSTRACT

A composite adsorbent based on cellulose beads loaded with iron ore was prepared for arsenic removal from groundwater. Beads obtained by direct coagulation of viscose solutions were loaded with iron ore (akaganite) following a hydrolysis/precipitation method. Different materials: support, iron ore and adsorbent; were characterized and thermodynamic and kinetic studies were performed in order to determine the adsorbent quality. Dynamic experiments for arsenic removal from groundwater and regeneration tests of adsorbent were conducted. Adsorbent developed showed great affinity for arsenic mitigation from groundwater.

**Key-words:** adsorption, groundwater, cellulose /akaganite, arsenic.

## INTRODUCCIÓN

La contaminación por arsénico (As) en aguas subterráneas es un problema a nivel mundial por las implicancias nocivas para el medio ambiente y la salud poblacional. La exposición al arsénico aguda y crónica a través del agua potable se ha informado en muchos países, sobre todo en Argentina, Bangladesh, India, México, Mongolia, Tailandia y Taiwán, donde una gran proporción de aguas subterráneas está contaminada a niveles de 100 a 200  $\mu\text{g/L}$  (Smedley and Kinniburgh, 2002; Loewenberg, 2017).

En nuestro país la región afectada es una de las más extensas del mundo y comprende parte de las provincias de Córdoba, La Pampa, Santiago del Estero, San Luis, Santa Fe, Buenos Aires, Chaco, Formosa, Salta, Jujuy, Tucumán, La Rioja, San Juan y Mendoza (INTI, 2009).

En particular, en el noroeste de la provincia de Santa Fe, los antecedentes indican la existencia de acuíferos con concentración del mineral que supera ampliamente los valores recomendados para consumo humano. La presencia de este tóxico, es un factor condicionante para el aprovechamiento del agua subterránea. Los resultados muestran una concentración media de arsénico en la zona de 203 ppb. Su mayor amenaza para la salud pública reside en la utilización de agua contaminada para beber, preparar alimentos y regar cultivos alimentarios (Revelli et al., 2016).

La exposición, el consumo de alimentos y agua con concentraciones mayores a los valores permitidos producen una enfermedad llamada Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico (HACRE) que se caracteriza por presentar lesiones en la piel que evolucionan hasta afectar el funcionamiento hepático, renal y respiratorio como también problemas de desarrollo, enfermedades cardiovasculares, neurotoxicidad y diabetes (OMS, 2018). El Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (CIIC) ha clasificado el arsénico y los compuestos de arsénico como cancerígenos para los seres humanos; el arsénico presente en el agua de bebida también ha sido incluido en esa categoría por el CIIC.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2018), el límite recomendado para la concentración de arsénico en el agua potable es de 10  $\mu\text{g/L}$ , aunque este valor de referencia se considera provisional dadas las dificultades de medición y las prácticas relacionadas con la eliminación del mismo. Cuando hay problemas para respetar el valor guía, los Estados Miembros pueden establecer límites más elevados teniendo en cuenta las circunstancias locales y los recursos disponibles. El ente regulador de la provincia de Santa Fe (ENRESS) en el Anexo A de la Ley 11.220 según la Resolución N° 0465 del año 2016, recomienda que las aguas distribuidas no superen los 50  $\mu\text{g/L}$  de arsénico.

En medios acuáticos, el arsénico se encuentra como As (III) y As (V), dependiendo de las condiciones de óxido-reducción. El As (III) es el más tóxico, aunque el arsénico (V) es el más móvil (Lopez-Leal et al., 2012). Diferentes tecnologías se han aplicado para remover el arsénico de aguas contaminadas. Los métodos comúnmente aplicados incluyen: coprecipitación (usando  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  o  $\text{FeCl}_3$ ) o coagulación con sales férricas o de aluminio tal como  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$  como coagulante (Hering et al., 1997; Meng et al., 2002), intercambio iónico (Vagliasindi and Benjamin, 1998), uso de medios de adsorción (Singh and Pant, 2004) o de hierro metálico (Lackovic et al., 2000; Su and Puls, 2001), ósmosis inversa y electrodiálisis (Waypa et al., 1997). Entre los posibles tratamientos, la adsorción se considera menos costosa que la filtración con membranas, más fácil de manejar que los residuos de precipitación y más versátil que los de intercambio iónico. En la bibliografía se presenta una extensa revisión sobre la remoción de arsénico de aguas, aguas residuales y efluen-



tes utilizando adsorbentes, dividiendo los mismos, en dos clases: carbones activados comerciales y sintéticos, y los adsorbentes de bajo costo (Mohan and Pittman, 2007). El carbón activado es el adsorbente más popular y ampliamente utilizado a nivel mundial, pero el precio elevado y altos costos de regeneración limitan su uso a gran escala para remoción de contaminantes orgánicos e inorgánicos (Bailey et al., 1999).

Muchos estudios han publicado la utilización de adsorbentes donde la fase sólida es cargada con diferentes especies de hierro presentando la particularidad de ser eficientes en la remoción de arsénico en aguas contaminadas. En una reciente publicación, Siddiqui et al. (2017) revisaron las alternativas de aplicación de adsorbentes para la remoción de arsénico y resumieron en una tabla un estudio comparativo y detallado de los óxidos de hierro y de otros adsorbentes para eliminar arsénico con sus eficiencias de adsorción al As (III) o As (V), y sus correspondientes referencias. Por otra parte presentan, como alternativa segura y perspectiva futura alentadora, la implementación de los óxidos de hierro para la eliminación de arsénico en agua. Los adsorbentes a base de hierro, en particular; las nanopartículas de óxido de hierro presentan una gran área superficial, sitios de mayor actividad y carácter magnético, convirtiéndolos en un potencial tecnológico para la eliminación de arsénico en aguas contaminadas (Su et al., 2017). La magnetita, hematita, maghemita, óxido de hierro hidratado (III), goetita y ferrihidrita son los principales derivados del óxido de hierro que se usan para la eliminación de As (III) y As (V) del agua. Otras formas de óxidos de hierro encontrados en la naturaleza son akaganita, lepidocrocita, feroxihita. La akaganita es hidróxido de hierro granular (GIH) con un área superficial específica notablemente más alta que la de goetita. Kolbe et al. (2011) publicaron resultados satisfactorios en los ensayos de adsorción de Arsénico y otros metales presentes en el agua con akaganita sintetizada y comercial. Aredes et al. (2013), analizaron la capacidad de varios minerales naturales de óxido de hierro para la eliminación de arsénico en agua y encontraron que todos los minerales naturales de óxido de hierro (magnetita, hematita y goetita) fueron eficaces.

En los últimos años, los adsorbentes modificados superficialmente se han tornado muy importantes. Además de su utilización en forma granular, se han empleado otros materiales compuestos donde estas partículas de hierro se confinan en los poros del soporte, tales como arcillas (Villalba et al., 2010) y polímeros (Ilesan et al., 2008). Fusé et al. (2011) analizaron un adsorbente para la remoción de As (V) de aguas subterráneas utilizando arenas revestidas con hierro (III) y determinaron su eficiencia de remoción. Las especies de hierro presentes en la capa de revestimiento fueron Goetita ( $\alpha$ -FeOOH) y/o Hematita ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) y concluyeron que el material desarrollado presentó afinidad por el Arsénico y el proceso ocurrió en monocapa. Mohan et al. (2007) recubrieron fibras (polipropileno, poliéster, fibra de vidrio y celulosa) con óxidos de hierros como adsorbentes de arsénico. El recubrimiento consistió en añadir el material a recubrir a una solución de cloruro férrico concentrado y precipitar el hierro por neutralización con NaOH. Estos materiales fibrosos, aplicados como matriz para el recubrimiento de óxido de hierro proporcionan un área de superficie específica de 8 a 30 veces mayor que la arena. Por otra parte, poseen pequeños diámetros generalmente en las decenas de micras, en lugar de los cientos de micras típicos de materiales adsorbentes granulares. Además, estas materias primas son relativamente baratas, que es crítico para un adsorbente que se utilizará una sola vez, como es la práctica actual con muchos procesos de eliminación de arsénico. Muchos de estos materiales poseen grupos funcionales de superficie tales como hidroxilo, carboxilo, éster, silanoles, que son capaces de unir compuestos de hierro.

Deliyanni et al. (2003); Deliyanni et al. (2007) sintetizaron un adsorbente de Akaganita ( $\beta$ -FeOOH) en el laboratorio por precipitación a partir de una solución acuosa de  $\text{FeCl}_3$  y carbonato de amonio. El adsorbente retuvo su alta área superficial y estructura cristalina durante mucho tiempo, aún después de su regeneración. Zhao et al. (2012) presentaron un completo review en el cual resumen las aplicaciones de adsorbentes tipo akaganita en forma de polvo fino para la remoción de As (III) y (V), metales pesados y fosfatos, su utilización en forma granular: GFH (hidróxido férrico granular) y GAC-Fe (carbón activado granular cargado con hierro) y en materiales adsorbentes compuestos.

Guo (2005) preparó un nuevo adsorbente basado en celulosa esférica y oxihidróxido de hierro. Utilizó un proceso de carga continuo para distribuir en forma estable y homogéneamente Akaganita ( $\beta$ -FeOOH) en las esferas y estudió su aplicación para la remoción de arseniato y arsenito de aguas subterráneas. En un trabajo posterior concluye que tanto el arsenito como el arseniato fueron fuerte y específicamente adsorbidos por los centros de Akaganita mediante un mecanismo de esfera interna (Guo et al., 2007).

El comportamiento del adsorbente es importante para poder entender y determinar el rendimiento y la eficiencia del proceso de adsorción. En la bibliografía se reportan trabajos sobre estudios cinéticos e isothermas de adsorción de arsénico en aguas, utilizando diferentes materiales basados en compuestos de hierros soportados en distintas matrices. Los modelos matemáticos más utilizados para describir una isoterma de adsorción son los de Freundlich y Langmuir. Estos modelos utilizan parámetros que reflejan la naturaleza del adsorbente y pueden emplearse para determinar el rendimiento del proceso de adsorción.

En este trabajo se presenta el desarrollo y la evaluación de la calidad de un adsorbente preparado en el laboratorio para la remoción de arsénico en aguas subterráneas. Para entender el proceso de adsorción y obtener información útil en el tratamiento de aguas contaminadas se determinan las isothermas de adsorción, la capacidad máxima y la cinética de adsorción del adsorbente. Por otra parte, se realizan ensayos dinámicos en columna para predecir el comportamiento del adsorbente y su capacidad para eliminar el As del agua a un nivel potable y por último se regenera el adsorbente buscando que pueda ser reutilizado.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Todos los reactivos químicos fueron grado analítico y el material de vidrio fue lavado con solución de  $\text{HNO}_3$  al 15 % y enjuagado con agua destilada. Los ensayos de adsorción de As se realizaron con agua subterránea proveniente de la localidad de Sarmiento, provincia de Santa Fe (Argentina).

### **1. Preparación y caracterización del soporte de celulosa (CE)**

A partir de soluciones de viscosa con contenido de celulosa de 4,4 % se preparó el soporte de celulosa en forma de esferas por goteo de la solución con una bomba de jeringa a una velocidad de  $30 \text{ mL h}^{-1}$  (Lanieri et al., 2014). La altura de caída de la gota se ajustó a 1,5 cm desde la superficie del baño de coagulación y regeneración, constituido por una mezcla de ácido sulfúrico al 12,5 % ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) y sulfato de sodio anhidro al 20 % ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ). El procedimiento se realizó bajo agitación continua y a temperatura ambiente (Olmos et al., 2014). Las esferas coloreadas formadas en la reacción de coagulación se agitaron hasta total regeneración de la celulosa cambiando el color anaranjado a blanco nieve. Luego se lavaron con abundante agua destilada y se almacenaron en refrigerador hasta su uso.

El soporte de esferas de celulosa se caracterizó mediante análisis de imágenes de partículas húmedas por microscopía óptica (OLYMPUS BX51) provisto de cámara fotográfica (OLYMPUS E330). La distribución de tamaño del soporte se determinó estadísticamente con un nivel de confianza de 95 % a partir de la medición del diámetro. La porosidad de las partículas o volumen total de poros en el soporte se calculó a partir de la masa húmeda y seca a 105 °C por 24 h de una muestra de esferas, considerando la densidad de la celulosa 1,519 g cm<sup>-3</sup> (Ettenauer et al., 2011). La forma y morfología superficial se observó en un microscopio electrónico de barrido ambiental (ESEM - FEI Quanta 250).

## **2. Impregnación con oxihidróxido de hierro (OxHFe) y Caracterización del adsorbente (CE/OxHFe)**

El adsorbente compuesto se preparó por recubrimiento del soporte de esferas de celulosa regenerada (CE) con nanopartículas del mineral de oxihidróxido de hierro (akaganita) (OHFe), mediante un proceso de sucesivas cargas siguiendo la metodología de hidrólisis/precipitación a temperaturas moderadas.

Una porción de 50 mL de solución de cloruro férrico 0,37 mol L<sup>-1</sup> y 25 mL de esferas de celulosa húmedas se colocaron en un matraz de 300 mL bajo agitación continua a 200 rpm y 30 °C. Luego se agregó lentamente con bomba de jeringa una solución de hidróxido de sodio 1 mol L<sup>-1</sup> a un caudal de 10 mL h<sup>-1</sup> hasta pH final igual a 5. Para ajustar el pH final, cada cierto volumen de NaOH se detuvo la agitación de la mezcla y se midió el pH con pehachímetro en extracto de sobrenadante. En todos los casos el volumen de NaOH requerido fue de aproximadamente 50 mL. El proceso de carga se repitió varias veces. Luego el adsorbente se filtró y se colocó en un matraz con 50 mL de hidróxido de sodio 0,5 mol L<sup>-1</sup>, con agitación continua durante 4 horas. Finalmente se lavó varias veces con agua destilada y se almacenó en refrigerador hasta su uso (Guo and Chen, 2005). El precipitado excedente del proceso de cargas se filtró, se lavó con agua destilada, se secó al aire y se molió en mortero para su posterior identificación.

La morfología superficial del adsorbente se observó en un microscopio electrónico de barrido ambiental (ESEM-FEI Quanta 250) y por microscopía óptica (OLYMPUS BX51). La cuantificación de hierro en CE/OxHFe se realizó mediante la técnica de 1,10-fenantrolina por espectrofotometría UV-Vis a 510 nm (Shimadzu UV-160 1PC) previa extracción en HCl concentrado. La especie de mineral de hierro sintetizado se identificó por Difracción de Rayos X (DRX) en un difractor Shimadzu XD-D1 y se confirmó por Espectroscopía Infrarrojo con Transformada de Fourier (FTIR) en un espectrómetro Shimadzu IRPrestige-21 en el rango de 400 a 4000 cm<sup>-1</sup>. Para ello se prepararon pastillas auto-soportadas con ~ 5 % de cada muestra diluida en KBr. El tamaño de las partículas se determinó por dispersión dinámica de la luz (Dynamic Light Scattering, DLS - Malvern Zetasizer Nano Range).

## **3. Isotermas de adsorción de arsénico**

El proceso de adsorción se evaluó a partir de isotermas sólido-líquido en sistema batch variando la masa de adsorbente (carga de hierro 82 mg Fe mL<sup>-1</sup> CE/OxHFe) entre 0,01 a 0,3 g. Cada muestra se colocó en erlenmeyer de 250 mL con 25 mL de agua subterránea (C<sub>i</sub> = 250 ppb), se ajustó el pH a 8, se agitó durante 1 hora y la temperatura se mantuvo a 25 ± 0,5 °C. Por último se filtró, y el filtrado se conservó para el análisis de arsénico residual.

Los datos experimentales se ajustaron a los modelos matemáticos de Langmuir (Ecuación 1) y

Freundlich (Ecuación 2). En la Ecuación 1,  $b$  es la constante de equilibrio relacionada con la energía de sorción ( $L \text{ mmol}^{-1}$ ) es decir la afinidad del adsorbente por el adsorbato. En la Ecuación 2,  $k$  es el coeficiente de adsorción en  $L/mg$  relacionado con la afinidad del adsorbente por los iones metálicos y  $n$  es el parámetro adimensional de la ecuación, relacionado con la intensidad de la adsorción.

$$q_{eq} = \frac{bQ_{max} C_{eq}}{1+b C_{eq}} \quad (1)$$

$$q_t = (k C_{eq})^{1/n} \quad (2)$$

Para ambas ecuaciones,  $q_{eq}$  es la capacidad de adsorción en  $mg \text{ g}^{-1}$ ;  $Q_{max}$  es la capacidad máxima de adsorción en  $mg \text{ mL}^{-1}$ ,  $C_{eq}$  es la concentración de equilibrio del soluto en  $mg \text{ L}^{-1}$ .

#### 4. Cinética de adsorción de arsénico

La cinética de adsorción se realizó en un erlenmeyer de 500 mL, se mezcló 1 mL de adsorbente ( $82 \text{ mg Fe mL}^{-1} \text{ CE/OxHFe}$ ) con 250 mL de agua subterránea ( $C_i = 250 \text{ ppb}$ ), se ajustó a pH 8, se agitó a 200 rpm y la temperatura se mantuvo a  $25 \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ . A intervalos de tiempo entre 0 a 9 horas se tomaron alícuotas del sobrenadante ( $\approx 5 \text{ mL}$ ) y se conservaron para el análisis de arsénico residual.

La capacidad de adsorción se calculó según la Ecuación 3.

$$q_t = \frac{(C_i - C_r)V}{v} \quad (3)$$

Donde:  $q_t$  es la capacidad de adsorción en un tiempo determinado ( $mg \text{ mL}^{-1}$ ),  $C_i$  y  $C_r$  representan la concentración de arsénico en agua inicial y residual (ppb) respectivamente,  $V$  es el volumen de muestra utilizado (L) y  $v$  es el volumen de adsorbente (mL).

#### 5. Pruebas de Adsorción de As en CE/OxHFe y regeneración en columna de As-CE/OxHFe

Las experiencias dinámicas se realizaron en una columna de vidrio de  $18 \times 350 \text{ mm}$  empacada con 50 mL de adsorbente ( $93 \text{ mg Fe mL}^{-1} \text{ CE/OxHFe}$ ). La alimentación del agua subterránea ( $C_i$  de As de 220 ppb) se realizó en forma continua y por la parte superior de la columna con una bomba peristáltica a un caudal de  $640 \text{ mL h}^{-1}$ . El tiempo de contacto del lecho vacío (EBCT) se ajustó en 4,7 min y la velocidad superficial del líquido (SLV) en  $2,5 \text{ m h}^{-1}$ . El volumen total tratado fue de 18 L. Luego de cada agregado de 1,2 L de agua se tomaron muestras y se conservaron para el análisis de arsénico residual.

La regeneración del adsorbente usado en las experiencias dinámicas de adsorción de As se llevó a cabo en columna. El volumen de adsorbente proveniente de la etapa de adsorción (50 mL) se dividió en dos porciones. Cada muestra de 25 mL de As-CE/OxHFe, se regeneró con soluciones de hidróxido de sodio 1 N y 2 N por agregado de 10 porciones de 25 mL de álcali en cada una. La solución de NaOH se alimentó con una bomba peristáltica por la parte superior de la columna a un caudal de  $250 \text{ mL h}^{-1}$  recogiendo muestras cada 25 mL. El tiempo de contacto del lecho vacío (EBCT) se ajustó en 6 min y la velocidad superficial del líquido (SLV) en  $1.0 \text{ m h}^{-1}$ .

Luego de cada regeneración, las muestras se conservaron para el análisis de arsénico residual. El adsorbente tratado con solución alcalina se lavó varias veces con agua destilada y se guardó para su reutilización.

En todas las experiencias se determinó la concentración de As inicial y residual en agua por Espectrometría de Absorción Atómica con generación de hidruro e inyección en flujo (FI-HG AAS).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 1. Características del adsorbente CE/OxHFe

En el desarrollo de un adsorbente, es importante obtener los diferentes materiales de tal manera de lograr que sea el adecuado para una aplicación determinada. Las características del soporte juegan un rol significativo para realizar la impregnación de las partículas de mineral de hierro. El soporte de CE utilizado en este estudio posee un diámetro promedio de  $2,95 \pm 0,03$  mm según lo evaluado por las mediciones en las imágenes de las mismas. El porcentaje del coeficiente de variación fue de 6,4 %, valor inferior al 10 % por lo que se puede decir que hay una homogeneidad en los diámetros del soporte. La porosidad de CE definida, como la relación del volumen de agua contenida en el soporte y el volumen total, es de 94,2 %. La Figura 1 muestra microfotografías de una CE húmeda tomada al azar por microscopía electrónica de barrido ambiental. Se puede observar la forma esférica y la superficie altamente porosa.

Las propiedades físicas y químicas de los cristales de akaganita dependen del tamaño, forma y morfología. La akaganita nanocristalina presenta elevada área superficial, estrecha distribución de tamaños de poros y diferentes formas cristalinas tales como varillas, agujas, haces y cigarros, entre otras. Posee una estructura cristalina monoclinica formada por canales ocupados por iones cloro. La movilidad de los mismos a lo largo de los canales y la capacidad para la adsorción de iones, hacen de este oxihidróxido un material especialmente adecuado para el intercambio de iones (Millan et al., 2009). La síntesis a través de la hidrólisis de  $\text{FeCl}_3$  ha sido ampliamente estudiada porque el proceso es simple, rápido y efectivo. Los factores principales que controlan el mecanismo de cristalización, tamaño y forma son la temperatura, concentración de  $\text{FeCl}_3$ , pH, tiempo de reacción y adición de otros iones.

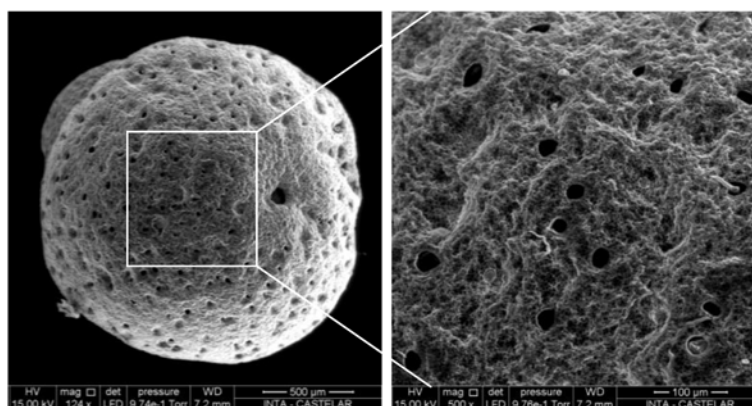


Figura 1. Micrografía ESEM de CE.

El mineral de hierro cargado en el soporte CE fue observado por microscopio electrónico de barrido. Las microfotografías de la Figura 2 muestran la superficie de la celulosa regenerada antes y después de la deposición de las nanopartículas de hierro. Se puede observar que las nanopartículas de OxHFe cubren las paredes de los poros de la celulosa.

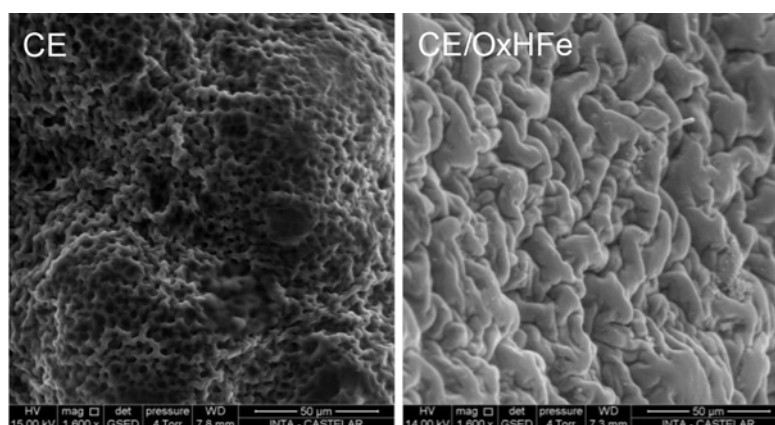


Figura 2. Micrografía ESEM de la superficie de CE y CE/OxHFe

En la Figura 3 se muestra la imagen por microscopía óptica con luz incidente de un corte de muestra de adsorbente tomado al azar. En la misma se puede observar el recubrimiento de las nanopartículas de mineral de hierro en la superficie porosa de la celulosa regenerada.

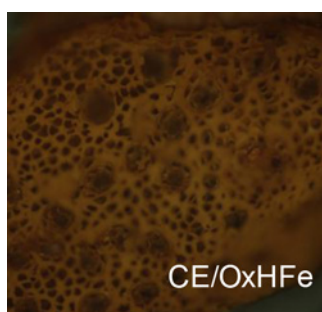
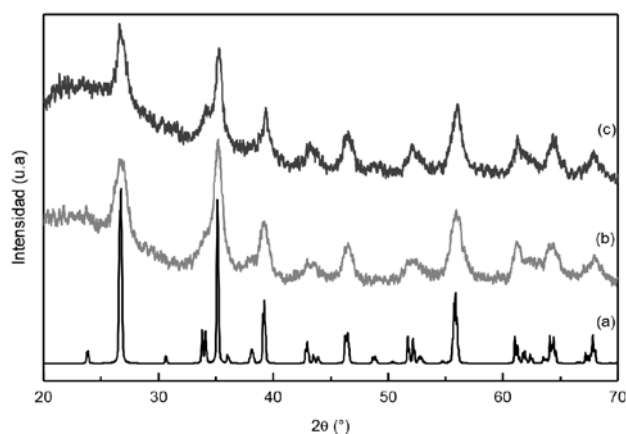


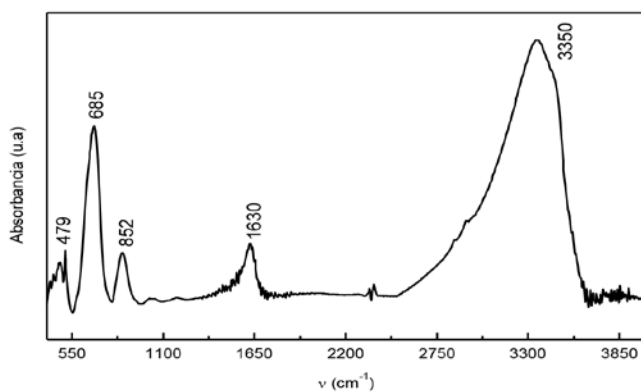
Figura 3. Micrografía óptica de la superficie del adsorbente CE/OxHFe (20X).

La identificación del mineral de hierro depositado tanto en la CE como el presente en el precipitado excedente luego de cada carga, se detectó por difracción de rayos X. En la Figura 4 se muestran los difractogramas (DRX) correspondientes, (a) patrón de akaganita (PDF 42-1315), (b) akaganita precipitado sin adherir al soporte y (c) adsorbente de CE/OxHFe. Las señales encontradas para el material sin adherir (b) se corresponden con aquellas presentes en el patrón (a) revelando la formación de la especie  $\beta$  oxihidróxido de hierro o akaganita ( $\beta$ -FeOOH). De igual modo, se corroboró la deposición del mineral en el soporte de celulosa (c).



**Figura 4.** Difractogramas (a) Patrón: Akaganita, (b) OxHFe precipitado y (c) CE/OxHFe 82 mg Fe mL<sup>-1</sup>.

Por análisis FTIR se verificó la identificación realizada por DRX (Figura 5).



**Figura 5.** Espectro FTIR de las nanopartículas de OxHFe.

Las moléculas de agua absorbidas se evidenciaron por las bandas de estiramiento del enlace O-H centrada en 3350 cm<sup>-1</sup> y de deformación H-O-H a 1630 cm<sup>-1</sup>. Las bandas a 852 y 685 cm<sup>-1</sup> corresponden a los modos de vibración del enlace H-O-Cl y la banda centrada en 479 cm<sup>-1</sup> se asigna a los modos de traslación del enlace Fe-O ó a las vibraciones de estiramiento simétrico del enlace Fe-O-Fe, típicas de la akaganita (Millan et al., 2009).

El tamaño de las nanopartículas de hierro sintetizadas en el soporte de celulosa se determinó por dispersión dinámica de la luz (DLS). Para ello se analizan las partículas del mineral sintetizado sin incorporar en el soporte de CE. Los resultados de la intensidad en función del tamaño de las partículas se muestran en la Figura 6. Se observan dos picos, el primero corresponde a un grupo de partículas pequeñas con tamaño entre 20 y 400 nm y el otro grupo de mayor diámetro pero en menor intensidad entre los 3000 y 6000 nm posiblemente como resultado de la agregación del mineral. El diámetro de partícula promedio para el pico con mayor intensidad fue de de 84,3 ± 3,3 nm. Esto corrobora que el oxihidróxido de hierro (OxHFe) sintetizado se trata de un mineral con escala nanométrica.

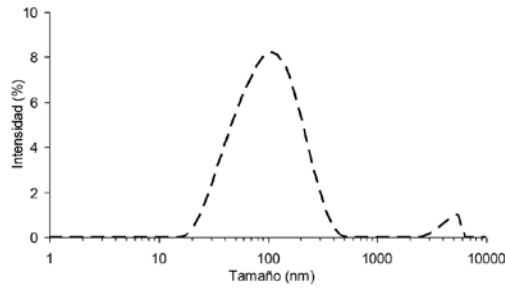


Figura 6. Distribución de tamaño de partículas sintetizadas de OxHFe mediante DLS.

## 2. Isotermas de adsorción de Arsénico

La adsorción es el fenómeno de concentración (depósito) de una sustancia (adsorbato o soluto) sobre la superficie de un sólido o un líquido (adsorbente). La adsorción se debe a la presencia de fuerzas intermoleculares sin balancear de las moléculas que se encuentran en la superficie de un sólido o un líquido (interfase), por lo cual atraen a las moléculas de otras sustancias con las que se ponen en contacto, equilibrando de esta manera las fuerzas atractivas y disminuyendo la energía superficial. La interfase puede ser: sólido – gas; sólido – líquido; líquido – gas ó líquido – líquido.

Para caracterizar el proceso de adsorción, los datos experimentales obtenidos a partir del ensayo de isoterma sólido-líquido en sistema batch, se ajustan a los modelos de Langmuir y Freundlich y se analizan linealizados.

$$\frac{C_{eq}}{q_{eq}} = \frac{1}{(bQ_{max})} + \frac{C_{eq}}{Q_{max}} \quad (4)$$

En el modelo lineal de Langmuir (Ecuación 4),  $C_{eq}$  es la concentración de adsorbato en la solución después de la adsorción ( $mg L^{-1}$ ) y  $q_{eq}$  es la masa de soluto adsorbido ( $mg$ ) por unidad de masa de adsorbente ( $g$ ). El parámetro  $Q_{max}$  representa la capacidad de adsorción máxima del As en el adsorbente y corresponde a la formación de una monocapa sobre la superficie del adsorbente ( $mg mL^{-1}$ ); y el parámetro  $b$  refleja la afinidad del adsorbente por los iones ( $L mg^{-1}$ ).

La ecuación lineal de Freundlich (Ecuación 5),  $q_{eq}$  representa la capacidad de adsorción es decir, la masa de soluto adsorbido ( $mg$ ) por unidad de masa de adsorbente ( $g$ ),  $C_{eq}$  es la concentración del As en el equilibrio ( $mg L^{-1}$ ), el parámetro  $K$  es el coeficiente de adsorción ( $L g^{-1}$ ) que se relaciona con la afinidad del adsorbente por los iones presentes, mientras que  $n$  es un parámetro empírico adimensional que varía con el grado de heterogeneidad.

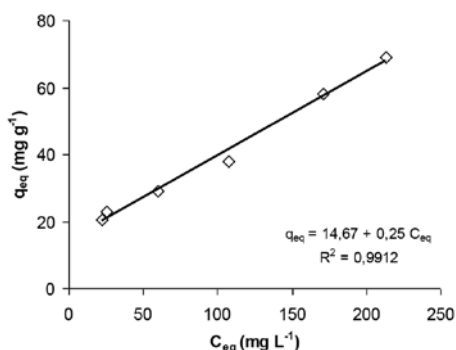
$$\log(q_{eq}) = \left(\frac{1}{n}\right) \log C_{eq} + \log k \quad (5)$$

La Figura 7 muestra la isoterma de adsorción de As en el adsorbente CE/OxHFe a pH 8.

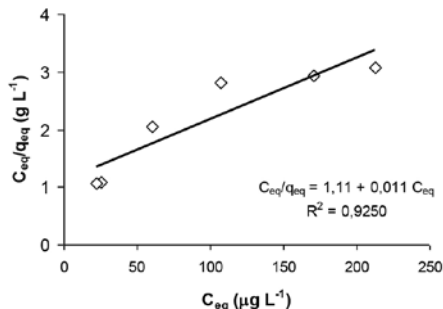
En la misma se observa la cantidad de arsénico adsorbido por gramo de adsorbente ( $q_{eq}$ ) en función de la concentración residual de As ( $C_{eq}$ ). La forma de la curva y la pendiente del gráfico, indican que se trata de un sistema donde el adsorbente presenta alta afinidad por el adsorbato. Además, un elevado valor del coeficiente de determinación ( $R^2$ ) revela que los resultados se ajustan adecuadamente al modelo lineal.



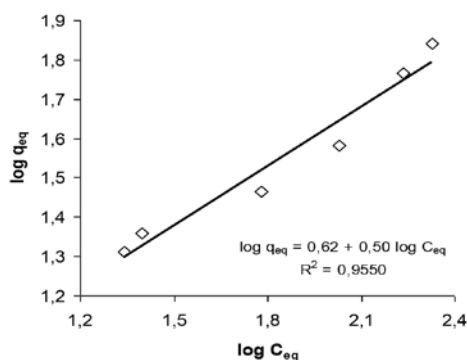
Las Figuras 8 y 9 muestran la variación de la capacidad de adsorción con respecto a la concentración residual ajustada a los modelos de Langmuir y Freundlich (4) y (5), así como las correspondientes ecuaciones de regresión lineal con los coeficientes de determinación y de regresión. Los modelos de Langmuir y Freundlich presentan buenos ajustes respecto a los valores observados, con coeficientes de correlación ( $r$ ) de 0,962 y 0,977 respectivamente. Los ajustes resultaron muy similares, con un valor levemente superior para el modelo de Freundlich. Los altos coeficientes de correlación indican que ambos modelos son adecuados para describir el equilibrio de adsorción del arsénico en el adsorbente CE/OxHFe.



**Figura 7.** Isotherma de adsorción de As en CE/OxHFe (82 mg Fe mL<sup>-1</sup>) a 25 ± 0,5 °C, C<sub>i</sub> 250 ppb, 1 h.



**Figura 8.** Isotherma de adsorción ajustada al modelo lineal por Langmuir.



**Figura 9.** Isotherma de adsorción ajustada al modelo lineal Freundlich.

Los parámetros estimados por ambos modelos (Tabla 1) confirman la afinidad entre el adsorbente y el adsorbato. El valor de máxima capacidad de adsorción es el valor máximo de  $q_{eq}$  y es el más importante para identificar la capacidad de adsorción.  $Q_{máx}$  estimado por el modelo de Langmuir resulta de 90,9 mg As mL<sup>-1</sup> de CE/OxHFe. El parámetro  $n$  indica el efecto de la concentración sobre la capacidad de adsorción y representa la intensidad de adsorción. El valor de  $n > 1$  indica un proceso de adsorción favorable y el valor del parámetro  $K$  de 4,2 L g<sup>-1</sup> demuestra que la capacidad de adsorción del adsorbente es alta.

**Tabla 1.** Parámetro de las isotermas de adsorción de Langmuir y de Freundlich de As en CE/OxHFe.

mg Fe mL <sup>-1</sup> CE/OxHFe	Langmuir			Freundlich		
	$Q_{máx}$ (mg mL <sup>-1</sup> )	$b$ (L mg <sup>-1</sup> )	$r$	$n$	$K$ (L g <sup>-1</sup> )	$r$
82	90,9	0,01	0,962	2,0	4,2	0,977

La densidad del adsorbente As-CE/OxHFe (mg As mg<sup>-1</sup> Fe) se puede estimar dividiendo la máxima capacidad de adsorción de arsénico por el contenido de hierro presente en el adsorbente. Teniendo en cuenta que la densidad de CE/OxHFe es 0,16 g mL<sup>-1</sup> se puede calcular en el adsorbente con 82 mg Fe mL<sup>-1</sup> el contenido de hierro y la capacidad de adsorción máxima por gramos de adsorbente las que resultan en 512,5 mg Fe g<sup>-1</sup> y 584,4 mg As g<sup>-1</sup> respectivamente. Por lo tanto, la densidad del adsorbente, resulta en 1,14 mg As mg<sup>-1</sup> Fe. Considerando las masas molares de ambas especies, se calcula la máxima relación molar la que resulta en 0,85 mol As mol<sup>-1</sup> Fe.

Comparando adsorbentes que usan como soportes del mineral de hierro carbón activado, arena, alúmina ó celulosa, ésta última presenta la mejor capacidad de adsorción de As. La capacidad de adsorción de As (V) con el carbón activado disminuyó de 3,09 a 1,57 mg g<sup>-1</sup> (Chuang et al., 2005), con la arena presentó 0,041 y 0,043 mg g<sup>-1</sup> para As(III) y As(V) respectivamente (Thirunavukkarasu et al., 2003), con alúmina activada fue de 9,2 mg g<sup>-1</sup> de As(V) a pH 7 (Takanashi et al., 2004) y con soporte de celulosa (BCF) fueron de 99,6 y 33,2 mg g<sup>-1</sup> para Arsenito y Arseniato respectivamente a pH 7 (Guo and Chen, 2005). Kolbe et al. (2011) usaron akaganita comercial y sintetizado para eliminar As (III) y As (V) en muestras de agua y determinaron que las capacidades de adsorción de akaganita para As (III) fueron de 35,0 y 32,6 mg g<sup>-1</sup> y As (V) fueron de 29,1 y 30,7 mg g<sup>-1</sup>, respectivamente a pH 7.

Para el adsorbente desarrollado CE/OxHFe, con similar composición que el propuesto por Guo and Chen (2005) (BCF), mostró un valor de adsorción de As superador alcanzando una máxima capacidad de determinado como As total de 584,4 mg g<sup>-1</sup> adsorbente. La mayor capacidad de adsorción de CE/OxHFe por el As se podría atribuir a las características que presenta el adsorbente como son la elevada porosidad en el soporte de CE regenerada, la alta carga de Fe y el tipo de especie de mineral de hierro depositado como  $\beta$ -FeOOH o akaganita.

Por otra parte, la máxima relación molar de As/Fe de arsenito y arseniato en BCF son 0,053 y 0,16 mol As mol<sup>-1</sup> Fe respectivamente y para CE/OxHFe es de 0,85 mol As total mol<sup>-1</sup> Fe. El elevado valor de la densidad de adsorción del arsénico en el adsorbente CE/OxHFe podría atribuirse a que las partículas del oxihidróxido de hierro cargadas en el soporte presentaron características nanométricas con un valor promedio determinado por DLS de 83,4 ± 3,3 nm.

La carga de hierro determinada en CE/OxHFe de 512,5 mg Fe g<sup>-1</sup> adsorbente muestra el poder de carga que presenta el soporte de celulosa y resulta un poco mayor a aquel determinado en el adsorbente BCF investigado por Guo and Chen (2005), en 468 mg Fe g<sup>-1</sup>. El valor de máxima capacidad de adsorción estimada por el modelo de Langmuir en BCF fue de 15,6 mg mL<sup>-1</sup> y para CE/OxHFe fue de 93,5 mg mL<sup>-1</sup>.

### 3. Cinética para la remoción de Arsénico

La cinética de adsorción, describe la velocidad de adsorción del soluto es decir, la cantidad de soluto adsorbido en el tiempo de reacción. Es una de las características importantes que definen la eficiencia del proceso de adsorción. Por lo tanto, en el presente estudio, la cinética de eliminación de arsénico en agua subterránea se determina para entender el comportamiento del adsorbente desarrollado CE/OxHFe.

Los datos experimentales se ajustan a través del modelo cinético de pseudo-segundo orden con la Ecuación 6.

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2 (q_{eq} - q_t)^2 \quad (6)$$

Donde  $q_{eq}$  es la capacidad de sorción en el equilibrio (mg mL<sup>-1</sup>) y  $q_t$  es la carga de arsénico en fase sólida en el tiempo  $t$  (mg mL<sup>-1</sup>),  $k_2$  representa la constante de velocidad de pseudo-segundo orden para el modelo cinético en mL mg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>. Mediante la integración de la Ecuación 6 en condiciones límites de  $q_t = 0$  a  $t = 0$  y  $q_t = q_t$  a  $t = t$ , se obtiene la ecuación lineal (Ecuación 7).

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{V_0} + \frac{1}{q_{eq}} t \quad (7)$$

$$V_0 = k_2 q_{eq}^2 \quad (8)$$

Donde  $V_0$  (mg mL<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) es la velocidad de sorción inicial y se expresa como (8).

De las pruebas cinéticas experimentales, con la gráfica de  $t/q_t$  en función de  $t$  y la ecuación de regresión se pueden determinar los valores de  $V_0$  y  $q_{eq}$ . En la Figura 10 se gráfica la variación  $t/q_t$  en función de  $t$  en el proceso de adsorción y se presenta la ecuación del modelo lineal de la cinética de segundo orden con el correspondiente coeficiente de determinación. El modelo de pseudo-segundo orden se ajusta muy bien a los datos cinéticos del adsorbente, indicado por el coeficiente de correlación ( $r = 0,992$ ).

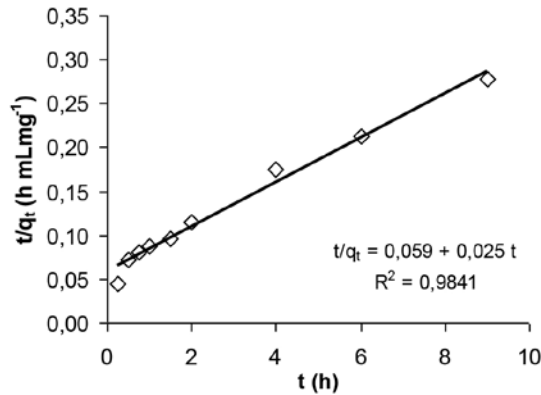


Figura 10. Cinética de adsorción de As en adsorbente CE/OxHFe a  $25 \pm 0,5$  °C, pH 8,  $C_i = 250$   $\mu\text{g L}^{-1}$ .

La Tabla 2 muestra los parámetros calculados con el modelo cinético (Ecuaciones 7 y 8). La velocidad de adsorción inicial del As es de  $17 \text{ mg mL}^{-1} \text{ h}^{-1}$  y la cantidad de arsénico adsorbido en el equilibrio resultó en  $39,5 \text{ mg mL}^{-1}$ . El adsorbente CE/OxHFe presenta una tendencia ascendente para la cinética de As con un ajuste muy bueno.

Tabla 2. Parámetros del modelo cinético de adsorción de arsénico en CE/OxHFe.

$V_0$ ( $\text{mg mL}^{-1} \text{ h}^{-1}$ )	$q_{\text{eq}}$ ( $\text{mg mL}^{-1}$ )	$K_2$ ( $\text{mL mg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ )	r
17,0	39,5	0,02	0,992

En la Figura 11 se representa la cinética de remoción de arsénico con CE/OxHFe. En la misma se observa, la dependencia de la adsorción de As con el tiempo. La cantidad residual del mismo desciende a medida que el tiempo de contacto entre el contaminante y adsorbente transcurre. No obstante, a medida que el adsorbente se va saturando de Arsénico (As-CE/OxHFe), la velocidad de adsorción disminuye, alcanzándose el equilibrio más allá de 9 horas de tratamiento. Por otra parte, se muestra la cantidad adsorbida en función del tiempo, donde se experimenta que la adsorción es rápida en las dos primeras horas, con una velocidad de eliminación del 32 %, luego se ralentiza considerablemente para finalmente eliminar 70 % del As inicial acercándose al equilibrio después de 9 h.

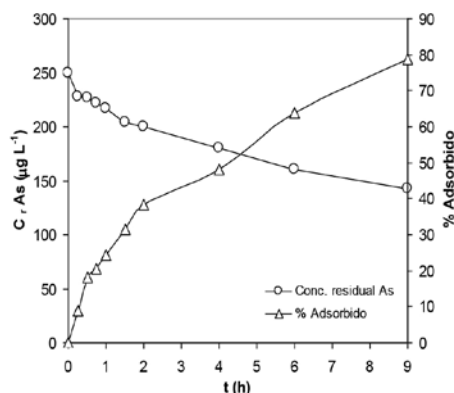


Figura 11. Concentración residual de As y porcentaje adsorbido en función del tiempo de tratamiento.

En experiencias similares Guo and Chen (2005) informan que la cinética de adsorción del adsorbente BCF presentó para el arsenito y arseniato una dependencia con el tiempo y que la adsorción fue rápida en las dos primeras horas alcanzando adsorciones de 70 % y 30 % respectivamente y luego disminuyó considerablemente. Para el arsenito la remoción fue de 90 % después de 6 horas y la eliminación de arseniato alcanzó el 77 % en 10 horas, luego en ambas experiencias se acercaron al equilibrio.

Otros estudios cinéticos han reportado para diferentes tipos de adsorbentes el tiempo de equilibrio de adsorción del As (V). Gu and Deng (2007) informaron que la adsorción de arseniato en el carbono mesoporoso conteniendo hierro alcanzó el equilibrio en aproximadamente 3 h. Onyango et al. (2003) investigaron el uso de zeolita combinada con hierro para la eliminación del arseniato y encontraron que el tiempo de equilibrio de adsorción fue de 48 h.

Guo and Chen (2005) describen un mecanismo de adsorción, donde plantean que inicialmente el arsénico se adsorbe en la superficie del adsorbente. Cuando ésta alcanza el nivel de saturación los iones de arsénico comienzan a ingresar en el adsorbente a través de los poros y se produce la adsorción en el interior del mismo. Cuando el ión arsénico difunde en el interior de los poros del adsorbente, se incrementa la resistencia de difusión, lo que a su vez conduce a una disminución en la velocidad de difusión. Con la disminución de la concentración de arsénico en la solución, la velocidad de difusión se hace constante y en consecuencia, los procesos de difusión alcanzan el equilibrio. Por otra parte, Thirunavukkarasu et al. (2003) plantean que el As se adsorbe en la superficie de los oxihidróxidos a través de la formación de complejos. La adsorción es específica e involucra el reemplazo del grupo hidroxilo superficial por el ligando adsorbido.

La adsorción de arsénico en el adsorbente compuesto de celulosa esférica y mineral de hierro (CE/OxHFe) presenta una muy buena capacidad de adsorción. La rápida capacidad que presenta se puede atribuir a las propiedades tanto físicas como químicas del adsorbente. En términos de propiedades físicas, el soporte de celulosa tiene un carácter hidrófilo elevado, de alta porosidad, tamaño de poro relativamente uniforme con la capacidad de poder cargar el mineral de hierro. En cuanto a las propiedades químicas, la akaganita que está uniformemente cargada en el soporte de celulosa, adsorbe arsénico con alta cinética de adsorción.

#### **4. Estudios de adsorción en columna con CE/OxHFe**

Es importante conocer el comportamiento del adsorbente desarrollado (CE/OxHFe) y su capacidad para eliminar arsénico en agua mediante estudios dinámicos usando como muestra de alimentación en columna agua natural o subterránea.

La Figura 12 muestra el comportamiento de la eliminación de As en una muestra de agua subterránea ( $C_i = 220$  ppb) en columna rellena con el adsorbente con  $93 \text{ mg Fe mL}^{-1}$  de adsorbente durante 15 corridas. Tres zonas bien definidas se observaron, variando cada una en la cantidad promedio de arsénico adsorbido de manera constante para cada zona.

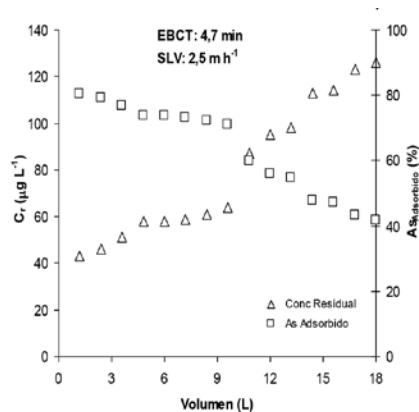


Figura 12. Adsorción en columna CE/OxHFe (93 mg Fe mL<sup>-1</sup>). [As]<sub>i</sub> = 220 ppb.

En las primeras 8 corridas adsorbió el 75 % de la cantidad total agregada (1584 µg As adsorbido de 2112 µg As agregados), luego las siguientes 3 corridas adsorbió el 57 % de la masa de As tratada (446 µg As adsorbido de 783 µg As agregados), y en las últimas 4 corridas eliminó el 45 % (466 µg As adsorbido de 1037 µg As agregados). En los primeros 9,6 L la mitigación del As presente en el agua a tratar alcanzaron valores residuales a un nivel potable para el consumo adsorbiendo 165 µg L<sup>-1</sup> de As. La segunda zona con el agregado de sucesivas alícuotas de agua adsorbe hasta la mitad de la concentración inicial de As, produciendo una adsorción de 124 µg L<sup>-1</sup> de As. En las últimas porciones muestra que la eficiencia decae adsorbiendo 97 µg L<sup>-1</sup> de As.

Considerando todas las experiencias en columna realizadas con este adsorbente se consiguió, para la cantidad total de As alimentada de (3931 µg), una retención de 2496 µg As que representaría un 63,5 %. La densidad de adsorción de arsénico en las experiencias en columna resultó en 50 µg As mL<sup>-1</sup> de adsorbente.

## 5. Regeneración del adsorbente As-CE/OxHFe

Las experiencias para regenerar el adsorbente se realiza por desorción del arsénico con solución alcalina, empleando el adsorbente usado en los ensayos de adsorción dinámico. Para llevar a cabo la regeneración se toma la mitad del volumen de adsorbente empleado en las pruebas de eliminación de As en agua. De acuerdo a la cantidad de As adsorbido en el adsorbente, en 25 mL posee 1248 µg de As. La Figura 13 muestra los perfiles de extracción del arsénico en el adsorbente a dos concentraciones de solución de NaOH. En la misma se observa, para ambas concentraciones de NaOH analizadas, que a medida que avanzan el número de regeneraciones sucesivas la masa extraída de As del adsorbente va aumentando hasta que luego se extrae prácticamente la misma cantidad. La curva de desorción de As con la solución de mayor concentración alcalina va por encima de la de menor concentración. Después de los 10 ciclos de regeneración con las soluciones alcalinas se observa que 640 µg de As fueron extraídos del adsorbente con la solución de hidróxido de sodio 1 M y 1033 µg de As se logró extraer con la solución 2 M de NaOH, esto corresponde a un porcentaje de extracción de As de 51 % y 83 % respectivamente. La capacidad de desorción del arsénico en medio alcalino 2 M resulta más eficiente que aquella extraída con NaOH 1 M. En el adsorbente quedó remanente de As 611 y 215 µg de As en cada porción de 25 mL de adsorbente tratado con cada solución alcalina.

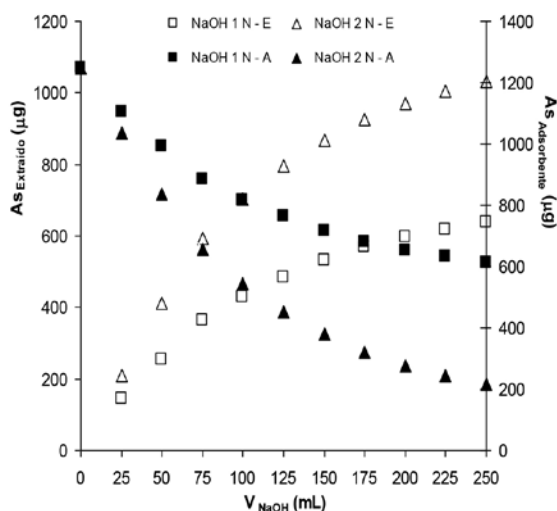


Figura 13. Ciclos de regeneración del adsorbente cargado con As (As-CEOxH-Fe) con NaOH 1 N y 2 N.

## CONCLUSIONES

En el laboratorio se logró desarrollar un adsorbente con un soporte de celulosa y nanopartículas de hierro de la forma  $\beta$ -oxihidróxido de hierro (akaganita). La aplicación de técnicas de caracterización (DRX, FTIR, ESEM, DLS) permitió identificar y estudiar los materiales sintetizados.

La caracterización del proceso de adsorción se pudo lograr mediante los modelos de las isothermas planteados. El adsorbente presentó una buena afinidad por el adsorbato, demostrando factibilidad para la eliminación del contaminante en aguas. La elevada capacidad de adsorción se podría atribuir a las características tanto del soporte de celulosa (alta porosidad, carácter hidrófilo) como también al mineral de hierro que presenta una gran área superficial específica y estructura de túnel.

En la regeneración con solución alcalina, el adsorbente no sufrió alteraciones en su resistencia y estructura morfológica lo que permitiría la posible reutilización.

## AGRADECIMIENTOS

Proyecto de Investigación (PI) CAI+D Orientado a problemas sociales y productivos, Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe Argentina.

## REFERENCIAS

- Aredes S., Klein B., Pawlik M. (2013). The removal of arsenic from water using natural iron oxide minerals. *Journal of Cleaner Production* 60, 71-76.
- Bailey S. E., Olin T. J., Bricka R.M., Adrian D.D. (1999). A review of potentially low cost sorbents for heavy metals. *Water Res.* 33, 2469-2479.
- Chuang, C.L., Fan M., Xu M., Brown R.C., Sung S., Saha B., Huang C.P. (2005). Adsorption of

arsenic (V) by activated carbon prepared from oat hulls. *Chemosphere* 61, 478–483.

Deliyanni, E.A., Bakoyannakis, D.N., Zouboulis, A., Matis, K.A. (2003). Sorption of As(V) ions by akaganeite-type nanocrystals. *Chemosphere* 50, 155-163.

Deliyanni, E.A.; Peleka, E.N.; Matis, K.A. (2007). Effect of cationic surfactant on the adsorption of arsenites onto akaganeite nanocrystals. *Sep. Sci. Technol.* 42, 993-1012.

Ettenauer M., Loth F., Thummler K., Fischer S., Weber V., Falkenhagen D., (2011). Characterization and functionalization of cellulose microbeads for extracorporeal blood purification. *Cellulose* 18, 1257-1263.

Fusé, V.S., Marquina, L., Rodríguez Salemi, V., Hildt, C.E., Higa, L.E., Juliarena, M.P. (2011). Estudio y preparación de medios adsorbentes con capacidad para remover arsénico de aguas subterráneas”. Congreso de Ciencias Ambientales. Consejo Profesional de Ingeniería Mecánica y Electricista (COPIME).

Gu, Z., and Deng, B. (2007). Use of iron-containing mesoporous carbon (IMC) for arsenic removal from drinking water. *Environmental Engineering Science* 24(1):113-121.

Guo, X. (2005). Ph.D. Thesis, Nankai University, China.

Guo, X., and Chen, F. (2005). Removal of arsenic by bead cellulose loaded with iron oxyhydroxide from groundwater. *Environ. Sci. Technol.* 39(17):6808-6818.

Guo, X., Du, Y., Chen, F., Park, H.S., Xie, Y. (2007). Mechanism of removal of arsenic by bead cellulose loaded with iron oxyhydroxide ( $\beta$ -FeOOH): EXAFS study. *J. Colloid Interface Sci.* 314(2):427-433.

Hering J.G., Chen P.-Y, Wilkie J.A., Elimelech M. (1997). Arsenic removal from drinking water by coagulation. *J. Environ. Eng.* 23, 800-807.

Ilesan C.M., Capat C., Ruta F., Udrea I. (2008). Evaluation of a novel hybrid inorganic/organic polymer type material in the arsenic removal process from drinking water. *Water Research* 42(16):4327-4333

Instituto Nacional de Tecnología Industrial. INTI Química. Junio 2009. Modelo de Intervención para el Abatimiento de Arsénico en Aguas de Consumo.

Kolbe F., Weiss H., Morgenstern P., Wennrich R., Lorenz W., Schurk K., Stanjek H., Daus B. (2011). Sorption of aqueous antimony and arsenic species onto akaganeite. *Journal of Colloid and Interface Science* 357, 460–465.

Lackovic J.A., Nikolaidis N.P., Dobbs G.M. (2000). Inorganic arsenic removal by zero-valent iron. *Environ. Eng. Sci.* 17(1):29-39.

Lanieri D., Olmos G., Alberini I.C., Maximino M.G. (2014). Rapid estimation of gamma number of viscose by UV spectrophotometry. *O Papel* 75(2):60-65.

Loewenberg, S. (2017). “El agua envenenada de Bangladesh”. *El País*, el periódico global. [https://elpais.com/elpais/2017/02/08/planeta\\_futuro/1486575516\\_170559.html](https://elpais.com/elpais/2017/02/08/planeta_futuro/1486575516_170559.html)

Lopez-Leal M.A., Cortés Martínez, R., Cuevas Villanueva R.A., Martínez Florez H.E., Cortés Penagos C. (2012). Arsenate biosorption by iron-modified pine sawdust in batch systems: Kinetics and equilibrium studies. *BioResources* 7(2):1389-1404.

Meng X.G., Korfiatis G.P., Bang S., Bang K.W. (2002). Combined effects of anions on arsenic removal by iron hydroxides. *Toxicol. Lett.*, 133, 103-111.

Millan A., Urtizberea A., Natividad E., Luis F., Silva N.J.O., Palacio F., Mayoral I., Ruiz-González M.L., González-Calbet J.M., Lecante P., Serin V. (2009). Akaganeite polymer nanocomposites. *Polymer* 50(5):1088–1094.



Mohan D., Pittman C. U. (2007). Arsenic removal from water/wastewater using adsorbents - A critical review. *J. Hazard. Mater.* 142, 1-53.

Olmos G., Taleb M. C., Lanieri D. B., Balbi M. C., Maximino M. G. (2014). Obtención de productos regenerados de celulosa a partir de solución de viscosa. 14° SAM-CONAMET / IBEROMAT 2014 - XIII SIMPOSIO MATERIA.

Onyango, M. S., Matsuda, H., and Ogada, T. (2003). Sorption kinetics of arsenic onto iron-conditioned zeolite. *Journal of Chemical Engineering of Japan* 36(4):477-485.

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2018). Arsénico. Recuperado de [www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic](http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic)

Revelli, G.R., Sbodio, O.A., & Costa, G.V. (2016). Estudio epidemiológico de arsénico en agua subterránea para consumo humano en el territorio del Cluster Lechero Regional. *Acta Toxicol. Argent.*, 24(2):105-115.

Sharf Ilahi Siddiqui, Saif Ali Chaudhry. (2017). Iron oxide and its modified forms as an adsorbent for arsenic removal: A comprehensive recent advancement. *Process Safety and Environmental Protection* 111, 592–626.

Singh T.S., Pant K.K. (2004). Equilibrium, kinetics and thermodynamic studies for adsorption of As(III) on activated alumina. *Sep. Purif. Technol.* 36, 139-147.

Smedley P. L., Kinniburgh D.G. (2002). A review of the source, behavior and distribution of arsenic in natural waters. *Appl. Geochem.* 17, 517-568.

Su C., Puls R.W. (2001). Arsenate and arsenite removal by zerovalent iron: kinetics redox transformation and implications for in situ groundwater remediation. *Environ. Sci. Technol.* 35, 1487-1492.

Su, H., Ye, Z., Hmidi, N. (2017). High-performance iron oxide graphene oxide nano composite adsorbents for arsenic removal. *Colloids Surf. A Physicochem. Eng. Asp.* 522, 161–172.

Takanashi H., Tanaka A., Nakajima T. and Ohki A. (2004). Arsenic removal from groundwater by a newly developed adsorbent. *Water Science and Technology* 50(8):23-32.

Thirunavukkarasu, O., Viraraghavan, T., Subramanian, K.S. (2003). Arsenic removal from drinking water using iron oxide-coated sand. *Water, Air and Soil Pollution.* 142, 95-111.

Vagliasindi F.G.A., Benjamin M.M. (1998). Arsenic removal in fresh and non-preloaded ion exchange packed bed adsorption reactors. *Water Sci. Technol.* 38(6):337-343.

Villalba J.C., Constantino V.R., Anaissi F.J. (2010). Iron oxyhydroxide nanostructured in montmorillonite clays: Preparation and characterization. *J. Colloid Interface Sci.* 349(1):49-55.

Waypa J.J., Elimelech M., Hering J.G. (1997). Arsenic removal by RO and NF membranes. *J. Am. Water Works Assoc.* 89 (10):102-116.

Zhao, J., Lin, W., Chang, Q., Li, W., Lai, Y. (2012). Adsorptive characteristics of akaganeite and its environmental applications: a review. *Environmental Technology Reviews.* 1(1):114-126.



## REPORTES DE CASO



# MEJORA Y ADAPTACIÓN DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE PIEZAS DE MATERIALES COMPUESTOS PARA LA INDUSTRIA NAVAL LIVIANA

Fecha de Recepción: 30 de junio de 2020 • Fecha de Aceptación: 29 de septiembre de 2020

**Pablo Andrés Corradini\*, Carlos Monti**

UTN Facultad Regional General Pacheco, Hipólito Irigoyen 288, 1617, Tigre, Buenos Aires, Argentina.

*\*Autor a quien la correspondencia debe ser dirigida*  
Correo Electrónico: pcorradini@docentes.frgp.utn.edu.ar

## RESUMEN

Por usos y costumbre, falta de legislación y, en muchos casos, desconocimiento, la industria naval liviana de la región, hace uso de tecnologías muy precarias, con altos tiempos de curado, lo que conlleva a una baja productividad y altos niveles de contaminación. La producción por laminación manual, resulta ser una tarea artesanal cuyos parámetros como, porcentaje de fibra en resina, la presencia de burbujas o los espesores, dependen de las competencias del operario que lamina las piezas, otorgándole una alta variabilidad. Por otra parte, la industria deberá estar preparada para poder afrontar tanto los altos estándares de calidad como las reglamentaciones de fabricación que ya están siendo aplicadas en los países avanzados, con el crecimiento de esta actividad que

no tardará en ser requerimiento fundamental para obtener las habilitaciones internacionales necesarias para la producción. Es por lo que previendo la situación, esta investigación persigue la evaluación, mejora y adaptación de procesos de producción de piezas de materiales compuestos para la Industria Naval Liviana de nuestra zona de influencia, con el objetivo de describir el cuadro de situación de los procesos productivos y recomendar las acciones necesarias para mitigar las amenazas que pueden afrontar ante una competencia en desigualdad de condiciones.

**Palabras Claves:** Eficiencia – Náutica – Materiales compuestos - Contaminación – Fabricación

## ABSTRACT

Due to uses and custom, lack of legislation and in many cases ignorance, the region's light shipbuilding industry uses very precarious technologies, with long curing times, leading to low productivity and high levels of contamination. The production by manual lamination, turns out to be an artisan task whose parameters such as percentage of fiber in resin, the presence of bubbles or thickness, depend on the skills of the operator who laminates the pieces, giving it high variability. On the other hand, the industry must be prepared to be able to face both the high quality standards and the manufacturing laws that are already being applied in advanced countries and that, with the growth of this

activity, will soon be a fundamental requirement to obtain the international ratings necessary for production. That is why, foreseeing this situation, this research pursues the evaluation, improvement and adaptation of production processes of pieces of composite materials for the Light Naval Industry of the region, with the aim of describing the situation picture of the productive processes and Recommend the necessary actions to mitigate the threats they may face in the face of unequal competition.

**Key-words:** Efficiency - Nautical - Composite Materials - Pollution - Manufacturing

## INTRODUCCIÓN

El dinamismo del sector artesanal en el manejo de productos de PRFV en los últimos años, ha presentado un claro avance en la industria naval liviana, dando un paso importante para el desarrollo de la región norte del gran Buenos Aires, particularmente en los municipios de Tigre y San Fernando. Sin embargo varios sectores de la cadena de producción de los artesanos presentan debilidades que caben subrayar: la falta de maquinaria y de tecnología necesaria, el limitado y a veces inexistente acceso al crédito, que permita la adquisición de tecnología o incluso la materia prima requerida, pero sobre todo la falta de capacitación en las distintas formas productivas que les permita ir de la mano del desarrollo sostenible, que se pretende alcanzar hoy en día.

Por tanto el artesano, estudiante y profesional en diseño, debería conocer temáticas actuales sobre sistemas constructivos a base de Plásticos Reforzados con Fibra de Vidrio (PRFV), cuyas características y aplicaciones contribuirán con iniciativas para el desarrollo industrial en cualquiera de sus aplicaciones.

La ejecución de este proyecto contribuye a la investigación y desarrollo en el área de ejecución de los procesos de fabricación de piezas en plástico reforzado con fibra de vidrio PRFV, permitiendo establecer potenciales ahorros en insumos productivos (por ejemplo: uso adecuado de resinas, catalizadores, cargas de refuerzo, desarrollo de metodologías eficientes de laminado, eficiencia de moldes, etc.). Si bien el proyecto se basa en el estudio del proceso de fabricación de las embarcaciones livianas, los resultados aportan mejoras en la fabricación de otros productos fabricados en la zona como, por ejemplo, carrocería de micro ómnibus, vanitory y bañeras para baño, tanques de agua, piletas, etc.

Contribuye además a la toma de conciencia en el uso adecuado de los elementos que intervienen en el proceso productivo los cuales son considerados como contaminantes químicos (estireno- catalizadores - aceleradores - fibra de vidrio - resinas en general), en la baja de costos productivos,

aportar a la conservación del ambiente, sin perjudicar la calidad de los productos elaborados.

El proyecto de investigación relevó el estado actual de los procesos y motivó al desarrollo de nuevas alternativas optimizando tanto los aspectos económicos, técnicos y ecológicos, difundiendo el conocimiento y experiencias de nuevas tecnologías, las cuales no son utilizadas actualmente en la industria naval liviana argentina, donde los procesos de producción usados son lentos y contaminantes.

## **DESARROLLO**

En la UTN Facultad Regional General Pacheco (UTN -FRGP) por medio de una unidad de prestación de servicios de ensayos de resistencia a la tracción, flexión y contenido de fibras, para la homologación del diseño de embarcaciones por Prefectura Naval Argentina bajo la Ordenanza N°3/02 (DPSN) "régimen técnico del buque" Tomo 1, del 02 de Agosto de 2002, se han realizado más de 100 ensayos conforme a las NORMAS ISO y ha dado respuesta a aproximadamente 80 Astilleros, distribuidos en todo el país, disponiendo de un contenido amplio de información en cuanto al estado de la actividad industrial y en línea con los últimos modelos que los astilleros de la zona de influencia se encuentran fabricando.

### **Metodología**

Este proyecto tuvo una ejecución que duró 24 meses, distribuidos en dos etapas, la primera incluyó la recopilación de información de base, la identificación y definición de los casos de estudios, la definición del instrumento de relevamiento y, en la segunda etapa, se procedió al relevamiento de campo, al análisis de la información y conclusiones del estudio.

La distribución de las tareas de cada etapa de ejecución fueron las siguientes.

1. Conformación de la muestra de los astilleros participantes.
2. Coordinación de los trabajos de campo.
3. Definición de los instrumentos de relevamiento.
4. Recopilación de información de campo.

1. Para la selección de la muestra de astilleros participantes de la investigación, se utilizó la base de datos del Laboratorio de Ensayos de Materiales Compuestos de la UTN FRGP, de la cual se tomaron los astilleros de zona norte con mayor desarrollo de modelos en los últimos cinco años, que hayan realizado los ensayos de homologación en el mencionado Laboratorio.

Quedaron seleccionados siete astilleros, de los cuales solo dos permitieron la difusión de sus nombres; no obstante, se mantuvieron todos bajo la confidencialidad de la investigación.

2. El equipo de investigación en distintas comisiones realizó el relevamiento de los procesos productivos vigentes, para ello se han contactado a los directivos o representantes de cada astillero para coordinar reuniones informativas. Esta actividad demandó varias reuniones por cada empresa participante hasta lograr la visita de trabajo de campo.

3. Se buscó definir un instrumento común que permitiera el relevamiento de información y de las observaciones particulares de cada uno de los miembros del equipo de trabajo. Se propuso una serie de preguntas (ver Tabla 1) que luego nos permitiese realizar una comparación equitativa.

4. Se realizaron 21 visitas a los astilleros para poder terminar con el 100% del relevamiento de campo y más de 28 para poder definir e implementar las mejoras en los procesos productivos. Se realizaron reuniones de gabinete con los miembros del equipo y con los becados para poder analizar y sacar distintas conclusiones con el material relevado. Se trabajó desde el Laboratorio de Materiales Compuestos de la FRGP, en conjunto con los responsables de los astilleros participantes.

## RESULTADOS

Se relevaron los métodos utilizados para la fabricación de los principales modelos de embarcaciones livianas de los astilleros involucrados en el desarrollo, verificando la estandarización de los procesos, los tipos de controles realizados durante la ejecución de los procedimientos de fabricación, la disposición de los elementos e insumos utilizados en la operación y los tipos de registros de control de producción.

Tabla 1. Tabla de resultados cualitativos de campo

ITEM/ASTILLERO	1	2	3	4	5	6	7
Las actividades se desarrollan en un lugar cerrado	Si	Si	No	No	No	No	Si
Las condiciones de proceso se mantienen bajo control humedad-temperatura ambiente	No	No	No	No	No	No	Si
Los elementos de la producción se desechan bajo condiciones seguras	Si	No	No	No	No	No	No
Los operarios conocen los riesgos de contaminación	No	Si	Si	No	Si	Si	Si
Se realizan capacitaciones sobre el manejo de los elementos de producción	No	No	No	No	No	No	No
Se realizan prácticas con nuevas tecnologías o métodos	Si	No	No	No	No	No	Si
El astillero tiene trabajo continuo de acuerdo con la demanda	No	No	No	No	No	No	No
Se desarrollan nuevos diseños de productos	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
La dirección o los supervisores conocen sobre nuevos métodos de trabajo o nuevas tecnologías aplicadas a la producción	Si	Si	No	Si	Si	Si	Si
Total de Satisfactorios	5	4	2	2	3	3	6
Valor Porcentual	71	57	29	29	43	43	86

La Tabla 1 sintetiza el resultado del trabajo de campo en los astilleros participantes; los principales criterios de comparación fueron, el control de los procesos productivos, la existencia de criterios de aceptación o de rechazo de las distintas etapas de producción, las condiciones en las cuales se desarrollaron los procesos productivos y el manejo de los elementos e insumos.

En paralelo se tuvieron en cuenta las variables exógenas que aportan inestabilidad al desempeño de la organización y las competencias del recurso humano.

Como resultado de esta actividad de investigación se identificó, entre otras, la necesidad de que las empresas involucradas desarrollen una correcta estandarización de la ejecución de los procesos productivos, para garantizar la sistematicidad y el control de los mismos.

Se observó una gran necesidad de adecuar las competencias del personal crítico para las operaciones, no tanto sobre las técnicas artesanales, sino en la reducción de las variaciones, a través del uso adecuado de los elementos de medición en las distintas fases de los procesos, el manejo responsable de los materiales, sobre todo en nuevas técnicas de producción.



Uno de los astilleros involucrados utiliza el método de producción de “contra molde de silicona” (ver Fotografía 1), con la preparación de la matriz y la fibra, posterior vuelco de la resina en el molde, se genera vacío entre el molde de silicona y la matriz, con lo que se logra la dispersión uniforme de la resina en toda la matriz.

Este método logra una disminución de los desechos contaminantes del orden del 40% e incrementa la productividad ya que permite la producción en serie de piezas en baja escala, como podemos ver en la Fotografía 2, donde mientras se termina de fraguar la pieza, se puede comenzar a preparar otra matriz para la producción de una segunda pieza.



Fotografía 1



Fotografía 2

## CONCLUSIONES

De la investigación se han sacado varias conclusiones en diferentes aspectos identificados durante la misma.

Como se muestra en el resumen adjunto los astilleros que participaron presentan ineficiencias comunes en la forma de ejecutar y controlar la fabricación de los productos comercializados.

- Solo el 28% de la muestra, es decir 2 astilleros de 7 alcanzan el 70% de las condiciones de una producción sistemáticamente bajo control. Con estos dos astilleros se trabajó en la estandarización productiva mediante procedimientos documentados de los procesos, según requisitos de la norma internacional ISO9001:2015, logrando reproducir la calidad de las piezas ensayadas.

- Uno de los factores comunes es la falta de controles sistemáticos de los procesos, como por ejemplo, tiempos de fraguado, condiciones ambientales (humedad y temperatura), lo cual afecta en forma directa a la calidad de los resultados, provocando que los sistemas de producción sean ineficientes, utilizando más recursos para obtener los mismos resultados. Este tipo de ineficiencias productivas hacen que no se pueda garantizar la calidad del producto en forma sistemática, perdiendo competitividad ante las exigencias de este tipo de mercado.

Como medida de acción correctiva, para dos de los astilleros, se definieron y redactaron procedimientos bajo los lineamientos de la norma de gestión de la calidad ISO9001:2015 para la gestión

de los procesos de fabricación, conteniendo puntos de control, parámetros de procesos como : el peso en la preparación de las resinas, tiempos de homogeneización de las mezclas, tiempo de fraguado, espesores de laminación, calidad de las fibras, temperatura y humedad ambiental y la correcta disposición final de los elementos utilizados durante el proceso de laminación del casco y cubierta.

- Si bien este desarrollo no formaba parte de la investigación inicial se identificó un gran potencial de mejora en cuanto al proceso de la homologación del modelo para la fabricación de las embarcaciones medianas, mediante el estudio de las normativas de Prefectura para la homologación del modelo de embarcación mediana.

Los procedimientos de homologación de las embarcaciones, por parte de los organismos correspondientes, se focalizan en el control estructural del modelo, la forma y los materiales utilizados, homologando el modelo de la embarcación con los resultados de los ensayos físicos de muestras, siendo que una vez que se aprueba el modelo no se cuenta con metodologías que puedan garantizar la sistematicidad de la ejecución de los procesos productivos en condiciones controladas. Esto genera variabilidad en los productos fabricados lo que conlleva a que las empresas productoras no garanticen la repetitividad de las condiciones de fabricación de la embarcación con respecto al modelo aprobado, tema que se desarrollará como un nuevo proyecto de investigación en conjunto con prefectura naval Argentina.

Se recomienda que para garantizar una calidad uniforme y sistemática de los modelos aprobados, las normativas vigentes incorporen controles sobre los procesos productivos, como por ejemplo la obligatoriedad de la certificación de los procesos de fabricación mediante la implementación de la norma internacional ISO 9001 Sistema de gestión de calidad, logrando así que los procesos se estandaricen y que un organismo independiente de ambas partes, verifique el cumplimiento de los compromisos, las reglamentaciones vinculadas y sobre todo los controles de los puntos críticos de la fabricación.

- Se identificó también como nuevo desarrollo, la necesidad de estudiar la forma de adaptar los herramientas utilizados en forma convencional para la fabricación de piezas bajo la modalidad de contra-molde de silicona ya que uno de los factores por el cual no se utiliza esta metodología es el elevado costo de los herramientas o matrices.

La baja demanda de los productos en el mercado local, influye en forma negativa en la implementación de métodos más eficientes y menos nocivos para el medio ambiente. Además al ser muy elevado el costo de la adecuación y al no estar reglamentadas las prácticas de fabricación, la industria náutica en su mayoría no incorpora nuevas prácticas de producción.

## **NORMAS CONSULTADAS**

Ordenanza N°3/02 - Dirección de Policía de Seguridad de la Navegación (DPSN) “régimen técnico del buque” Tomo 1, del 02 de Agosto de 2002.

Norma Internacional ISO 9001:2015 “ Sistema de gestión de la calidad” Requisitos – Tercera edición del 25/09/2015-

Norma Internacional ISO9000:2015 “ Sistema de gestión de la calidad” – Fundamentos y vocabulario -

## NOTAS TÉCNICAS



# EXPERIENCIA DE PRODUCCIÓN A ESCALA PILOTO DE PLACAS DE CIELORRASO A PARTIR DE CARTÓN RECICLADO

Fecha de Recepción: 30 de junio de 2020 • Fecha de Aceptación: 30 de septiembre de 2020

**Marcipar Schenquer, Alfredo\***; **Cerutti, Exequiel**; **De Mattia, Ana**; **Invinkelried, Paula**

Facultad Regional Santa Fe, Universidad Tecnológica Nacional.  
Lavaisse 610, CP: 3000, Santa Fe, Santa Fe, Argentina.

*\*Autor a quien la correspondencia debe ser dirigida*  
Correo Electrónico: [amarcipa@frsf.utn.edu.ar](mailto:amarcipa@frsf.utn.edu.ar)

## RESUMEN

A nivel mundial, la tendencia a reciclar materiales provenientes de los desechos es cada vez mayor. En este sentido, el Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda (CECOVI) perteneciente a la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe (UTN-FRSF) lleva adelante una línea de investigación para el desarrollo de elementos constructivos en base a aglomerados de cartón con cemento.

En el marco de dicha investigación se propone la reutilización de cartones de descarte, buscando otorgarles valor agregado, contribuyendo a disminuir el impacto ambiental.

El presente artículo relata la experiencia de producción de placas cuadradas para confor-

mar un cielorraso de 20m<sup>2</sup> dispuesto sobre una estructura metálica convencional.

Del universo de los cartones de descarte, se ha seleccionado el tipo lámina que cuenta con una de sus caras entintadas y/o barnizadas, lo que lo convierte en un desecho poco atractivo para el circuito tradicional de reciclaje.

Con el nivel actual de avance en la investigación y en base a experiencias de aplicación a escala real, es posible concluir que se puede adaptar el aglomerado de cartón-cemento para su utilización en el ámbito de la construcción de forma sencilla, rápida y accesible.

**Palabras Claves:** Cartón; Cemento; Reciclado; Aglomerados; Prefabricados

## ABSTRACT

The trend to recycle materials from waste is increasing in the worldwide. In this sense, the “Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda” (CECOVI) of the Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe carries out a line of research for the development of construction elements based on cardboard agglomerates with cement.

Within the framework of this research, the reuse of waste cartons is proposed, seeking to provide them added value, helping to reduce the environmental impact.

This article relates the experience of producing square plates to form a 20m<sup>2</sup> ceiling mounted

on a conventional metal structure.

From the universe of discard cardboards, the sheet type that has one of its inks and/or varnished faces has been selected, which makes it an unattractive waste for the traditional recycling circuit.

With the current level of research progress and based on real-scale application experiences, it is possible to conclude that the cardboard-cement chipboard can be adapted for use in the construction field in a simple, fast and accessible way.

**Key-words:** Cardboard; Cement; Recycled; Agglomerate; Precast

## INTRODUCCIÓN

Las experiencias en el Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda (CECOVI) en la aglomeración de materiales de diferente índole en matrices cementíceas y más específicamente de origen natural (ligno-celulósicos), tienden a validar la idea de adherencia entre la celulosa y el cemento. Los antecedentes más relevantes a destacar son los trabajos realizados en aglomeración de pasta cementícea con cascarilla de algodón (Carrasco et al., 2013) y con lana de madera (Citroni et al., 2013). En este sentido, se propuso la sustitución de estos materiales por cartón de descarte, lo que supone una disminución en el costo de la materia prima, dando asimismo valor agregado a un material de desecho y contribuyendo a reducir el impacto ambiental.

A partir del proyecto PID UTN 4804 (2017), se logró evaluar el comportamiento del material compuesto cartón-cemento observándose deficiencias en la adherencia de los materiales utilizados. En función de esto es que surge la necesidad de incorporar aditivos químicos a la pasta cementícea, favoreciendo la compatibilidad entre los materiales.

En base a estos resultados se inició en el año 2018 el proyecto PID UTN 5341 en el que se propone la evaluación del comportamiento del material compuesto cartón-cemento utilizando aditivos para la conformación de elementos aglomerados aplicables en la industria de la construcción.

En 2018, con la finalidad de probar los desarrollos a escala de prototipo, se presentó y aprobó también un proyecto de financiamiento por parte de la Agencia Santafesina de Ciencia, Tecnología e Innovación en su línea de Investigación Orientada.

Según informe del Centro de Implementación de Políticas Públicas para la Equidad y el Crecimiento (CIPPEC), se estima que, en Argentina, la media de residuos urbanos generados per cápita es de 1,05 Kg/día, produciéndose en la ciudad de Santa Fe más de 190.000 toneladas por año. Según datos de la Subsecretaría de Ambiente de la ciudad, de las 540 toneladas de residuos sólidos que se recuperan anualmente, el 38,9% corresponde a papel y cartón y de este porcentaje, el

4% corresponde a cartón específicamente. Por lo tanto, la cantidad promedio de cartón desechado por año es de más de 8 toneladas. Se puede observar que se trata de un volumen significativo de residuos en la ciudad, ante esto se propone su reutilización contribuyendo al proceso de reciclado.

En diciembre de 2009, la Legislatura de la Provincia de Santa Fe establece la Ley 13.055, en la que se reconoce “la importancia de adoptar el concepto de “Basura Cero” como principio fundamental para la Gestión de Residuos Urbanos en su territorio”. Es a partir de esta Ley que la Provincia busca establecer un “principio de reducción progresiva de la cantidad de residuos depositados en rellenos sanitarios”, fijándose para el año 2030 la prohibición de disposición final de materiales reciclables o aprovechables en los mismos.

El material compuesto cartón-cemento resulta ser una buena alternativa para el tratamiento de residuos celulósicos, exceptuándolos de tratamientos químicos contaminantes. Además, por tratarse de tecnologías sencillas y accesibles, se logra contribuir con el desarrollo económico-social, permitiendo su aplicación en emprendimientos industriales, generando nuevas oportunidades de empleo.

El siguiente proyecto se enfoca en una alternativa de aprovechamiento de cartones de descarte para su aplicación en la industria de la construcción a partir de la producción de placas de cielo-raso, explicando las diversas técnicas y metodologías utilizadas para la selección de la materia prima, la preparación del material aglomerado con productos cementíceos y el proceso de fabricación de los elementos constructivos.

## **DESARROLLO**

El proyecto se inicia con el análisis del circuito de reciclado de la ciudad de Santa Fe, a partir del cual se evaluó la trascendencia del cartón dentro del volumen total de residuos. Particularmente se prefirió una orientación hacia los cartones tipo lámina, en virtud de poseer dificultades para el reciclado convencional ya que presentan mayor concentración de tintas y baja presencia de pulpa.

Se desarrolló un plan de recolección, acordando la separación voluntaria de comercios de distintos rubros (quioscos, supermercados y farmacias) y viviendas familiares de una zona específica, donde se retiraron semanalmente distintas cantidades de material. Se contabilizó la totalidad del cartón recolectado y, considerando los comercios del mismo rubro existentes en la ciudad, se estimó la cantidad total de desecho. La extrapolación de las cantidades recolectadas al total de la ciudad coincide con la información publicada desde el área de medio ambiente de la municipalidad.

En el volumen recolectado, se identificó una gran variedad de cartones. Se estableció un procedimiento de clasificación visual y sensorial, y se analizaron las propiedades físicas y mecánicas del material.

Se realizó la preparación de muestras referidas a la norma IRAM-ATIPCA P3007 (2001), definiendo 4 probetas cuadradas de 50 mm de lado por lote, con las que se realizaron los procesos de medición, pesaje, orientación de las fibras y cálculo de densidades, gramajes y volúmenes, acordes a las Normas IRAM-ATIPCA P 3011 (2006), Norma IRAM-ATIPCA 3044 (2001) y IRAM-ATIPCA P 3009 (2001) respectivamente.

Como la mayor parte de los productos celulósicos, el cartón resulta muy ávido de agua, por lo que se realizaron pruebas de absorción, y se consideró dicha variable en la ejecución de los diferentes ensayos.

Respecto al tratamiento físico-mecánico del cartón se experimentó, en una primera instancia, el corte manual y con equipos de trituración según disponibilidad. Se alcanzaron dos alternativas con perspectivas de aplicaciones diferentes, partículas chipeadas y corte en tiras largas y angostas. En función de la disponibilidad de equipos en el mercado, los cuales se asemejan a máquinas trituradoras de documentos y que poseen dos ejes en paralelo con sierras transversales que permiten triturar el cartón, el proyecto se centra en elementos con partículas chipeadas.

Se evaluó la resistencia a tracción simple de cada tipo de cartón y la influencia del sentido de orientación de las fibras en el comportamiento mecánico y del humedecimiento del cartón en la resistencia. Para esto se diseñó una máquina de ensayo y se crearon probetas entalladas en la zona media, como se observa en la Figura 1 (a), con el objetivo de concentrar las posibilidades de rotura en la zona de menor sección. El equipo diseñado sostiene a la probeta desde sus extremos fijando el superior y permitiendo, mediante un dispositivo de agarre, aplicar carga en el extremo inferior hasta llegar a la rotura, ver Figura 1 (b). Se computa la carga máxima alcanzada y la sección transversal de la muestra para calcular la resistencia a tracción simple.

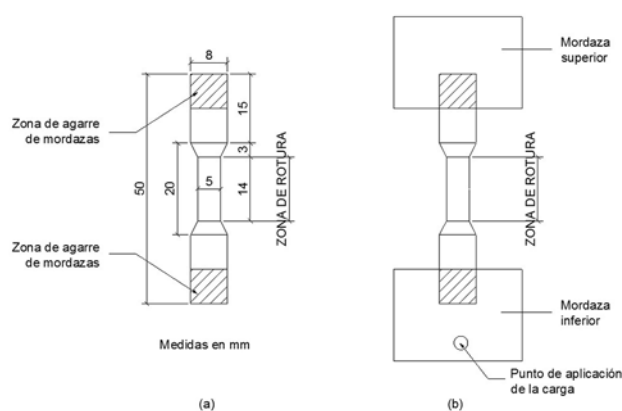


Figura 1. (a) Probeta para ensayo de tracción simple; (b) Dispositivo de ensayo para probetas.

Por otro lado, se efectuaron pruebas para evaluar el comportamiento del material compuesto cartón-cemento con la incorporación de aditivos químicos mejoradores de adherencia para analizar la posibilidad de generar elementos aglomerados. La resistencia mecánica de estos elementos se evaluó mediante ensayos de compresión simple sobre probetas cúbicas de 7 cm de lado, y ensayos de flexión compuesta sobre prismas de base cuadrada de 10 cm de lado y 40 cm de largo tomando como referencia las Normas ASTM D1037 (1999) e IRAM 1871 (2004) respectivamente.

Debido a los buenos resultados obtenidos de los ensayos mencionados anteriormente, que serán especificados en la siguiente sección, junto con la necesidad de finalizar la construcción de una oficina de la escuela de oficios del CECovi, ubicada en el puerto de la ciudad de Santa Fe, es que se decide elaborar placas de cielorraso con los elementos aglomerados estudiados. Estas serían utilizadas adoptando el sistema constructivo de placas de yeso para cielorraso, de 60 cm x 60 cm y 4 cm de espesor.

Dichas placas están formadas en un 25% de cartón, 40% agua, 30% de cemento y el 5% restante lo constituyen aditivos químicos (ligantes e impermeabilizantes).



Para la producción de estos elementos constructivos, se diseñó y fabricó un equipo, como se observa en la Figura 2. Este consiste en un marco cerrado rectangular formado por perfiles metálicos y una mesa de trabajo que se mueve longitudinalmente por medio de dos rieles paralelos. Esta mesa brinda la posibilidad de moldear dos placas en serie. Los moldes para las placas están formados por una estructura cuadrada de hierro del tamaño de la placa a moldear.



Figura 2. Equipo utilizado para la producción de placas de cielorraso

Previo al moldeo de las placas de cielorraso es necesario disponer de suficiente cartón pre-procesado, cortado en partículas de 0,1 cm x 0,4 cm, utilizando una trituradora de documentos convencional.

El proceso comienza mezclando en paralelo el cartón con una parte de agua y el impermeabilizante, para su humedecimiento y, por otra parte, el cemento con el agua restante y el ligante. Luego de unos minutos, se integran ambas mezclas, con la ayuda de una hormigonera. Una vez formada la pasta se la coloca en el molde para su moldeo.

Colocada la mezcla en los moldes se aplica una carga de 2 kg/cm<sup>2</sup> utilizando un gato hidráulico ubicado en la parte inferior de la mesa de trabajo de modo que, gracias a la reacción del marco cerrado, se genere presión sobre la placa, permitiendo alcanzar el espesor necesario.

Por último, las placas son dispuestas en bandejeros para su secado. En la Figura 3 se puede observar una placa luego del secado y previo al acabado superficial.



**Figura 3.** Placa de cielorraso moldeada.

Debido a que la superficie de los elementos moldeados presenta a la vista una gran heterogeneidad, poco usual en elementos para la construcción, se implementaron diferentes acabados superficiales. Por un lado, se utilizaron pigmentos, anilina, grafito y polvo de ladrillo para colorear la pasta y así obtener una superficie rugosa pero más agradable a la vista. Por otro lado, se siguieron las técnicas tradicionales de obra aplicando una mano de base y una de revestimiento proyectado para homogeneizar la superficie y el color (blanco en este caso).

Finalizado el proceso productivo, las placas de cielorraso fueron trasladadas hacia la oficina de la escuela de oficios del CECOVI para proceder a su colocación final, cómo se observa en la Figura 4.

El sistema de suspensión de las placas es el disponible comercialmente, constituido por perfilaría de acero galvanizado y aluminio, la que se cuelga de la estructura de techo existente.



**Figura 4.** Placas colocadas en la oficina del puerto de la ciudad de Santa Fe.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir del estudio del circuito de reciclado de la ciudad de Santa Fe y las actividades de recolección diferenciada de cartones tipo lámina, se puede garantizar la disponibilidad de materia prima para el desarrollo del proyecto. Esto permite estimar además el volumen disponible para su eventual aplicación en un emprendimiento industrial.

Uno de los parámetros fundamentales que se adoptó para caracterizar los cartones fue el gramaje, y asociado a este, el espesor, con los que luego fue posible determinar las densidades y volúmenes. En la Figura 5, se indican los distintos gramajes que se obtuvieron de ejemplares analizados, donde se ha podido conocer que las muestras presentan una variación entre 217,30 g/m<sup>2</sup> y 263,29 g/m<sup>2</sup>, sin que resulte posible encontrar una relación entre el color de la pasta celulósica y el gramaje. En la Tabla 1 se presenta la codificación adoptada para describir cada tipo de cartón, basado en una clasificación según color y dureza.

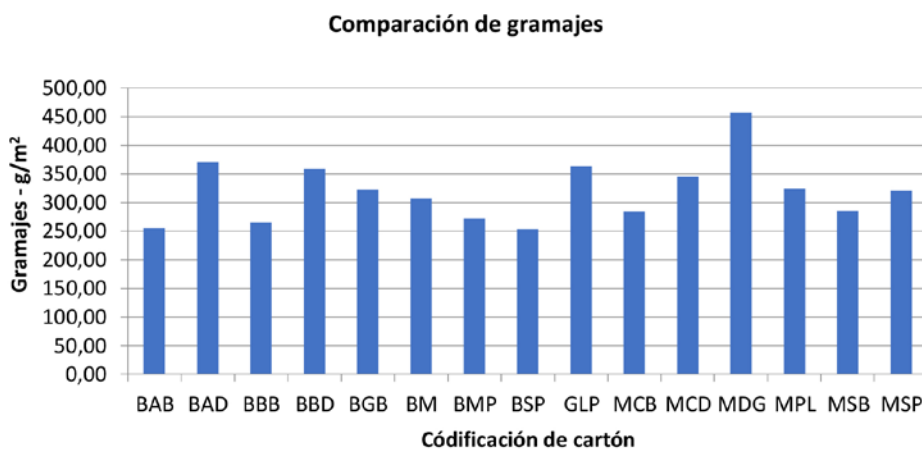


Figura 5. Gramajes obtenidos para cada clase de cartón reciclado.

Tabla 1. Clasificación de cartones.

CÓDIGO	REFERENCIA
BAB	Blanco Amarillo Blando
BAD	Blanco Amarillo Duro
BBB	Blanco Blanco Blando
BBD	Blanco Blanco Duro
BGB	Blanco Gris Blando
BM	Blanco Mate Liso
BMP	Blanco Mate Plastificado
BSP	Blanco Sin Plastificar
GLP	Gris Liso Plastificado
MCB	Marrón Con Blanco
MCD	Marrón Claro Duro
MDG	Marrón Duro Grueso
MPL	Marrón Plastificado Liso
MSB	Marrón Sin Blanco
MSP	Marrón Sin Plastificar

Los resultados de absorción obtenidos para todos los tipos de cartones fueron similares, con valores que alcanzaron el 300% en peso respecto de la masa de cartón. Aunque resulte complejo estandarizar los efectos por tratarse de un material proveniente del circuito de recolección, el cual aporta variaciones inherentes a la materia prima, estos valores condicionan las dosificaciones por su influencia en la trabajabilidad de la pasta fresca, y las resistencias finales obtenidas.

En la Figura 6, se resumen los resultados obtenidos de los ensayos a tracción simple para cada clase de cartón. Como se puede observar, se alcanzan mayores resistencias en los cartones marrones, siendo los menos resistentes los cartones blancos. También se aprecia la variación de resistencia según la orientación de las fibras, resistiendo más los que se encuentran cortados en el sentido paralelo que aquellos cortados en sentido perpendicular. Se observa poca influencia de la humedad en los resultados, alcanzándose valores similares en las piezas secas y humedecidas. En base a esto es que se decidió utilizar el cartón en el sentido paralelo a las fibras y sin humedad para la elaboración de los elementos aglomerados. El promedio de resistencias obtenido teniendo en cuenta todos los tipos de cartones con las condiciones mencionadas anteriormente es de 26,52 MPa.

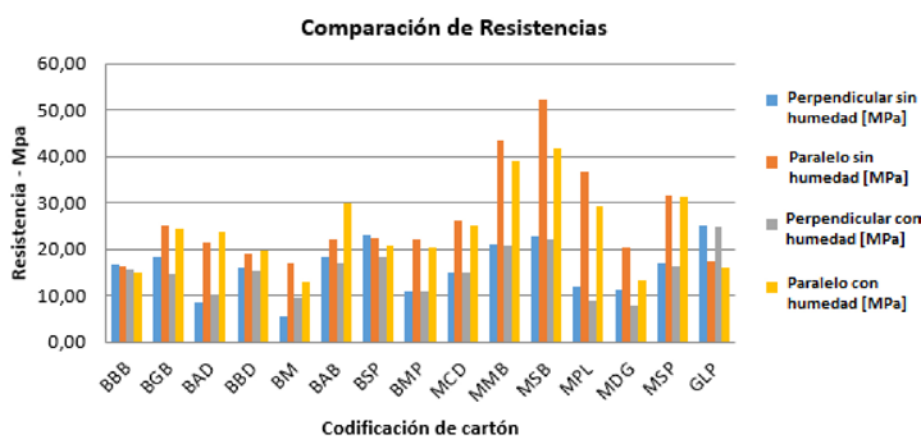


Figura 6. Resistencia a tracción simple de cada tipo de cartón en MPa.

En cuanto a la elaboración del material aglomerado, se observa que la incorporación de aditivos químicos mejora la trabajabilidad, el endurecimiento y la resistencia de la pasta, resultando fundamental para resolver los problemas de compatibilidad y adherencia entre el cartón y la pasta cementícea, permitiendo la elaboración de elementos aglomerados.

Haciendo referencia a la terminación superficial, este aspecto resulta fundamental desde el punto de vista estético, teniendo en cuenta que uno de los principales objetivos de las placas de cielorraso es brindar una terminación agradable.

En el marco del proyecto de investigación se pretende avanzar en el desarrollo de placas que, además de brindar una terminación adecuada, cuenten con aislación térmica y acústica. Esto permitiría brindar plusvalía al producto final.

Por otra parte, habiendo elaborado las placas se realizaron pruebas para evaluar su comportamiento en el exterior, dejándolas a la intemperie durante varios días. Se pudo observar que las mismas no sufrieron deterioro alguno, aspecto a validar en próximas etapas de la investigación.

Asimismo, se encuentra actualmente en discusión la posibilidad de incluir todos los cartones que conforman el universo de residuos, sin limitar la aplicación a los cartones tipo lámina exclusivamente. De esta forma se ampliaría notablemente la posibilidad de disponer de materia prima para una producción a escala mayor.

Bajo estas premisas, se decide continuar con la evaluación del material aglomerado explorando su posibilidad de aplicación en otros elementos constructivos tales como productos para cerramientos, material de relleno para aislación, placas acústicas, entre otros.

## **CONCLUSIONES**

La definición del producto está sustentada en la Industria de la Construcción como uno de los motores de la economía nacional, presentando sus materiales una prolongada vida en servicio, lo que aumenta el ciclo de vida de un producto reciclado, en este caso, el cartón. A su vez, se observa un incremento interanual positivo de la demanda de materiales utilizados en la construcción en seco, confirmando una tendencia al uso de elementos prefabricados en obra.

Al pensar en términos de producción industrial, el cartón recuperado y utilizado para las placas permitiría reducir la cantidad de cartón desechada anualmente, contribuyendo de esta forma a reducir el impacto ambiental.

El producto final que se desea obtener para la utilización en el ámbito de la construcción, se alcanza de una forma rápida, sencilla y accesible, permitiendo que no se requiera mano de obra calificada ni un monto elevado de inversión inicial, contribuyendo al desarrollo económico-social.

Las placas colocadas en la oficina construida en la escuela de oficios del CECOVI, dieron excelentes resultados.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al personal que conforma las diferentes áreas internas del CECOVI por su apoyo en el desarrollo experimental de este proyecto.

A la empresa TELPLAST SRL y en particular a su titular, siempre dispuesta para colaborar con el proyecto, ofreciendo muestras de productos y sugerencias para resolver las dificultades de adherencia entre los materiales.

## **REFERENCIAS**

ASACTEI Investigación Orientada, (2018). Proyecto 2010-060-2016 "Desarrollo de placas de cielorraso a partir del aglomerado de cartón reciclado, polímeros y cemento".

CARRASCO, M., PICCINI, J., MUÑOZ, H., SÁNCHEZ, M., GREYER, R., DEFAGOT, C., (2013). "Propuesta de cielorraso constituido por aglomerados de cascarilla de algodón". En: 1° Congreso Alconpat, Mendoza, Argentina.

CITRONI, J., QUIROGA, A., MARCOALDI, N., RINTOUL, I., (2013). "Parámetros de sustentabilidad de los compuestos de madera cemento frente a materiales de construcción tradicionales".

En: Congreso Internacional de Metalurgia y Materiales SAM-CONAMET, Puerto Iguazú, Argentina.

Legislatura de la Provincia de Santa Fe, (2009). Ley Provincial 13.055. Disponible en: <https://www.santafe.gov.ar/normativa/item.php?id=109524&cod=d188ecfdc85bee2cfbede037271cb-72f#:~:text=LEY%2013055&text=Descripci%C3%B3n%3A%20LA%20PROVINCIA%20RECONOCE%20LA,S%C3%93LIDOS%20URBANOS%20EN%20SU%20TERRITORIO>.

Norma ASTM D1037 (1999). "Métodos de prueba estándar para evaluar las propiedades de fibra de base de madera y materiales de panel de partícula".

Norma IRAM 1871 (2004). "Hormigón. Método de ensayo para determinar la capacidad y la velocidad de succión capilar de agua del hormigón endurecido".

Norma IRAM-ATIPCA P 3007 (2001). "Papel y cartón. Muestreo para determinar localidad promedio".

Norma IRAM-ATIPCA P 3011 (2006). "Papel y cartón. Determinación del espesor y la densidad aparente de hojas aisladas o en mazos".

Norma IRAM-ATIPCA P 3044 (2001). "Papel y cartón. Determinación de la dirección de máquina".

Norma IRAM-ATIPCA P 3009 (2001). "Papel y cartón. Determinación del gramaje".

PID UTN 4804, (2017). "Evaluación del aglomerado de cartón con cemento para su utilización como material de la construcción".

PID UTN 5341, (2018). "Evaluación de material compuesto cartón-cemento aglomerado con cemento y aditivos para su uso como material de construcción".

# GENERACIÓN DE ONDAS SENOIDALES MEDIANTE LA INSERCIÓN DE DESFASADORES ACTIVOS EN UN SISTEMA TETRAFÁSICO

Fecha de Recepción: 30 de junio de 2020 • Fecha de Aceptación: 30 de septiembre de 2020

**Luis Napolitano\***, Marcelo Daniel Leo, Diego Adán Scharf

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Avellaneda, Departamento de Electrónica, Laboratorio de Investigación Aplicada, Av. Ramón Franco 5050, Avellaneda, Buenos Aires, Argentina.

*\*Autor a quien la correspondencia debe ser dirigida*  
Correo Electrónico: [lefra@fra.utn.edu.ar](mailto:lefra@fra.utn.edu.ar)

## RESUMEN

Se presenta un sistema para la generación de ondas senoidales de baja distorsión, de cuatro canales operantes en modo simultáneo; que exhibe un giro de fase de  $90^\circ$  entre cada salida respectiva. El esquema planteado se basa en circuitos desfasadores activos, que tienen la característica de ser intrínsecamente estables en amplitud frente a variaciones de frecuencia y asimetrías propias. Esta particularidad permite implementar un controlador de amplitud de bajo rango de compensación, condición que posibilita alcanzar una reducción significativa de la distorsión (en comparación con los sistemas convencionales).

Se construyó un prototipo funcional de laboratorio de frecuencia variable en modo continuo, que permitió la validación del sistema propuesto a partir de mediciones instrumentales.

**Palabras Claves:** generador de audio, generador senoidal, desfasador activo, filtro pasa-todo.

## ABSTRACT

A system is presented for the generation of low distortion sine waves, with four channels operating simultaneously; that exhibits a  $90^\circ$  phase turn between each respective output. The proposed scheme is based on active phase shifter circuits, which have the characteristic of being intrinsically stable in amplitude against frequency variations and own asymmetries. This particularity allows to implement an amplitude controller with a low compensation range, a condition that makes it possible to achieve a significant reduction in distortion (compared to conventional systems).

A functional laboratory prototype of variable frequency in continuous mode was built, which allowed the validation of the proposed system from instrumental measurements.

**Key-words:** audio generator, sinusoidal generator, active phase shifter, all-pass filter.

## INTRODUCCIÓN

Los instrumentos generadores senoidales de empleo habitual en laboratorios se basan, en general, en un oscilador que implementa alguna red particular de realimentación. Entre los distintos tipos de redes, son ampliamente usados el Puente de Wien (Gwinstek, 2007; Kenwood, 1980) y la red tipo “doble T” (Philips, 1972). La desventaja que presentan las configuraciones citadas, es que son intrínsecamente inestables en amplitud debido a las asimetrías propias del control de frecuencia (Maxim, 2006; Coombs, 1994). Este fenómeno de disparidad se manifiesta como una variación de la ganancia de lazo, lo que deriva en un controlador de amplitud relativamente intenso y consecuentemente en un incremento en la tasa de distorsión (Napolitano et al., 2019).

El método propuesto para generar ondas naturalmente senoidales, se basa en la incorporación de redes activas desfasadoras en un oscilador por rotación de fase. Esta configuración reduce significativamente la desventaja mencionada que presentan las redes de Wien, Doble-T y otras; por otro lado, a diferencia de las mismas, se hace posible la generación de cuatro señales simultáneas, con un desfase de 90°. Mediante el empleo de dos desfasadores activos (filtros pasa-todo), dos inversores, un controlador de amplitud y circuitos asociados, se implementa un generador senoidal tetrafásico, que debido a la inclusión de los filtros mencionados, es intrínsecamente estable en amplitud, lo que minimiza el grado de compensación necesario y consecuentemente se reduce la tasa de distorsión.

## DESARROLLO

En la Figura 1 se observa el circuito de un filtro pasa-todo; mientras que la ecuación 1 representa su función transferencia (Millman y Halkias, 1976).

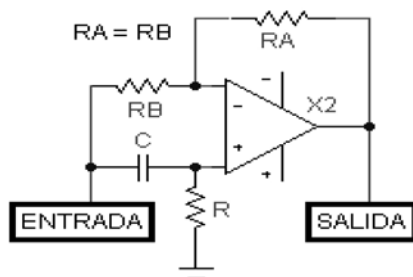


Figura 1. Filtro pasa-todo.

$$TF_i = 1 \cdot e^{j \cdot 2 \cdot \arctan \frac{1}{\omega \cdot R \cdot C}} \quad (1)$$

Teniendo en cuenta que el sistema planteado utiliza dos filtros pasa-todo en cascada, se expresa mediante la ecuación 2, la función transferencia de ambos. Se observa la descripción de un giro de fase en función de la frecuencia.



$$TFc = 1.e^{j.2(\arctan \frac{1}{W.R1.C1} + \arctan \frac{1}{W.R2.C2})} \quad (2)$$

En instrumentos generadores de frecuencia variable en modo continuo, puede utilizarse un capacitor variable doble (representado por C1 y C2) o un potenciómetro doble (representado por R1 y R2). Se aprecia además, que el módulo de la transferencia es “siempre” unitario y no depende de las relaciones entre capacitores o resistores del elemento doble de control. Esta característica es la que permite desarrollar un sistema intrínsecamente estable en amplitud, con reducido grado de compensación y consecuentemente, con un menor factor de alinealidad.

La Figura 2 presenta el esquema en bloques completo del sistema desarrollado. El lazo “externo” está conformado por un amplificador lineal inversor (produce un desfase de 180°), el conjunto de filtros pasa-todo en cascada y un compensador de amplitud (de ganancia aproximadamente unitaria). El resto de los bloques completan el sistema de control automático de amplitud, además de incluir un atenuador y de obtener la cuarta fase del sistema.

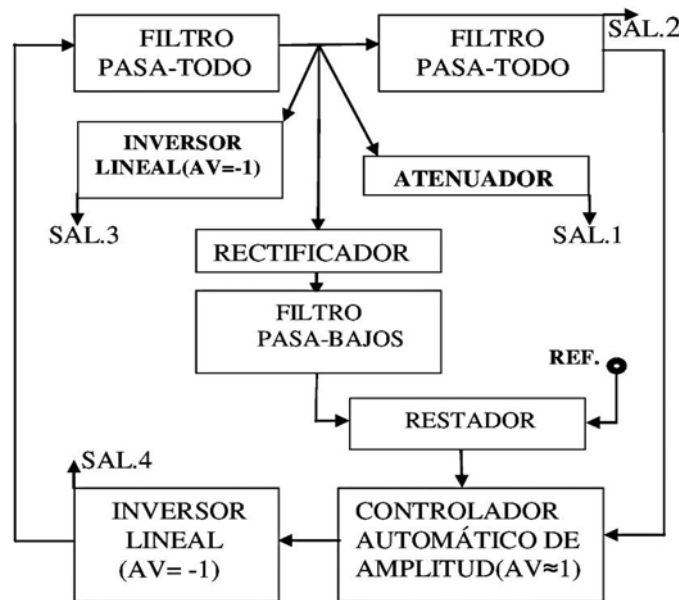


Figura 2. Generador tetrafásico completo

Para que el esquema planteado presente las condiciones de oscilación requeridas, debe cumplir con el criterio de Barkhausen; lo que implica que el lazo “externo” debe presentar una ganancia unitaria con desfase nulo. Se infiere entonces, que el conjunto de filtros pasa-todo deben conformar un desfasador de 180° (ecuación 3).

$$TFc = 1.e^{j.180^\circ} \quad (3)$$

Si se desestima la contribución de las asimetrías presentes en el elemento doble de variación de frecuencia (ecuación 4), se reemplazan las ecuaciones 3 y 4 en la ecuación 2 y se opera, se obtiene la ecuación 5, que permite calcular el valor de la frecuencia de oscilación. Bajo estas mismas consideraciones, el desfase que produce cada filtro pasa-todo es de 90°, lo que posibilita la obtención de las cuatro señales del sistema tetrafásico completo.

$$\begin{cases} R = R1 = R2 \\ C = C1 = C2 \end{cases} \quad (4)$$

$$F_0 = \frac{1}{2.\pi.R.C} \quad (5)$$

Para corroborar las mejoras descritas mediante ensayos instrumentales, así como también para probar la funcionalidad del sistema, se diseñó un prototipo de laboratorio basado en amplificadores operacionales de bajo ruido, a partir del diagrama en bloques de la Figura 2.

En la Figura 3 se expone una fotografía del frente del equipo; allí se observa que su construcción fue realizada en un formato compatible que permita su empleo como instrumento de ensayo de laboratorio; por este motivo, se incluyeron escalas graduadas, conectores, llaves selectoras, perillas de comando, gabinete blindado e indicadores, que permitieron realizar una prueba integral de campo.



Figura 3. Frente del prototipo.

En la Figura 4 se observa el montaje de la totalidad de los componentes que conforman la unidad en cuestión, realizado en una placa impresa sin el empleo de cables; lo que minimiza las posibilidades de falla y permite un acceso simple para realizar mediciones al prototipo y ejecutar posibles intervenciones de calibración, modificaciones, reparaciones, etc.

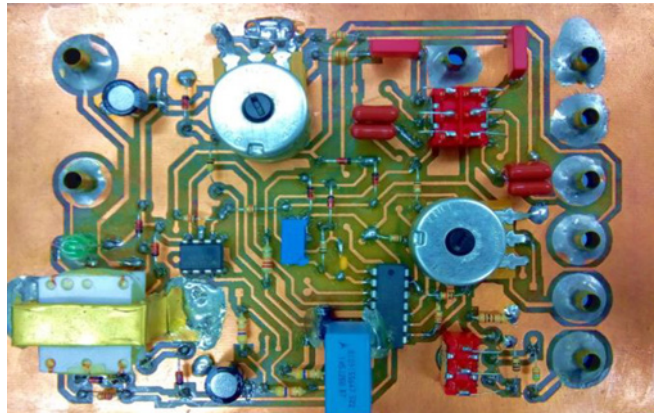


Figura 4. Montaje de los componentes del prototipo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para cuantificar los resultados del método propuesto, a partir del prototipo construido se procedió a reducir el grado de acción del controlador automático de amplitud hasta el valor más bajo posible que permita la compensación adecuada. Se comprobó que la distorsión disminuye en la medida en que se reduce el grado de acción del controlador (lo que justifica la utilidad de tener un sistema intrínsecamente estable); lográndose un piso en la cifra de distorsión de 0,02%. Por otro lado, se procedió a medir el tiempo de estabilización en amplitud luego de realizar un cambio en la frecuencia generada, obteniéndose un valor mínimo de 0,1 segundo.

Otro aspecto que se ha considerado en la evaluación del prototipo es lo concerniente a la operatividad. Es conocido el fenómeno que relaciona en forma inversa la distorsión y el tiempo de establecimiento de la amplitud en osciladores naturalmente senoidales; por lo tanto, en estos instrumentos de baja distorsión, el tiempo de demora para realizar una medición suele prolongarse cuando se modifica la frecuencia de ensayo (el instrumento deberá estabilizar su amplitud y en algunos casos se requiere de varios segundos (Philips, 1972). El prototipo diseñado, fue probado en condiciones reales de laboratorio para el ensayo de amplificadores de audio, habiendo presentado tiempos de recuperación, que en el uso "normal", podrían considerarse despreciables; inclusive se lo ha utilizado para "barrer" en frecuencia.

En la Figura 5 se observa, mediante un osciloscopio de cuatro canales, el funcionamiento de las cuatro señales de salida en forma simultánea, con un giro de fase de 90° entre cada una.

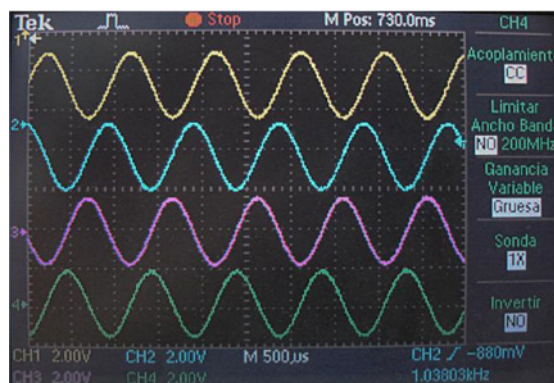


Figura 5. Oscilograma de las salidas del prototipo.

## CONCLUSIONES

Dados los resultados satisfactorios medidos sobre el prototipo evaluado, la operatividad del mismo y que la generación tetrafásica de baja distorsión permite aplicaciones adicionales (respecto de los osciladores convencionales); se concluye que el sistema planteado, podría ser empleado para la fabricación de instrumentos que permitan realizar mediciones compatibles en laboratorios de ensayos.

## REFERENCIAS

COOMBS, C. (1994), Electronic Instrument Handbook. McGraw-Hill Inc., USA.

GWINSTEK (2007). Audio signal generator GAG-809/810. User manual part number no. 82AG-810000MG.

KENWOOD (1980). Oscillator AG-203D/204D/253. Instruction manual. User manual Part number B63-030-18.

MAXIM INTEGRATED PRODUCTS (2006). Application note 3846: Analysis of a Digitally Controlled Wien-Bridge Oscillator. Disponible en: <http://www.maxim-ic.com/an3846> [Última fecha de acceso: 2017]

MILLMAN J; HALKIAS C. (1976). Capítulo 14: Estabilidad y osciladores. En Electrónica Integrada, Hispano Europea S.A., España.

NAPOLITANO L.; LEO M., SCHARF D., BRANCHIFORTTI A. (2019). Alinealidad del compensador automático de amplitud en osciladores puente de Wien. Rumbos Tecnológicos. Volumen 11 – Octubre 2019. ISSN 1852 – 7701. Pág. 53 – 60.

PHILIPS (1972). Oscilador de Audio PM – 5160. Manual de servicio.

## ARTÍCULOS DE REVISIÓN



# LAS LEYES DE PROMOCIÓN INDUSTRIAL Y LA INDUSTRIA METALMECÁNICA DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA

Fecha de Recepción: 30 de junio de 2020 • Fecha de Aceptación: 10 de agosto de 2020

**Marcelo Tavella\*, Ariel Miropolsky y Roxana Manera**

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

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

## RESUMEN

La primera Ley de Promoción Industrial en la provincia de Córdoba (Ley provincial N° 3992) se sancionó en el año 1942. Su objetivo principal fue constituirse como un pilar legal esencial promotor del desarrollo de la industria local a favor de una evolución productiva territorial sustanciosa. A partir de entonces, se sucedieron diversas sanciones de Leyes de Promoción industrial que fueron derogando a las anteriores (por incluir nuevos aspectos antes no contemplados).

El presente trabajo intenta realizar un primer análisis del impacto que han tenido las leyes provinciales de promoción industrial en el sector metalmeccánico de la provincia de Córdoba,

considerando los últimos 5 años y realizado en base a las dos leyes troncales vigentes en nuestros días: La Ley de promoción industrial N° 5319 y la Ley de promoción industrial para PyMES N° 9727, sancionadas en 1971 y en el 2009 respectivamente. Se abordarán aspectos claves, su evolución a través de los años y sus tendencias en cuanto a ramas de la actividad y distribución geográfica entre otros, pretendiendo sentar las bases iniciales para futuras investigaciones.

**Palabras Claves:** Promoción Industrial, metalmeccánica, desarrollo

## ABSTRACT

The first Industrial Promotion Law in the province of Córdoba (Provincial Law No. 3992) was passed in 1942. Its main objective was to establish itself as an essential legal pillar promoting the development of local industry in favor of a substantial territorial productive evolution. From then on, several sanctions of Industrial Promotion Laws were passed that were repealing the previous ones (for including new aspects not previously contemplated).

The present work tries to carry out a first analysis of the impact that the provincial laws of industrial promotion have had on the mechanical

metal sector of the province of Córdoba, considering the last 5 years and carried out based on the two main laws in force today: Industrial Promotion Law No. 5319 and the Industrial Promotion Law for SMEs No. 9727, enacted in 1971 and 2009 respectively. Key aspects will be addressed, its evolution over the years and its trends in terms of branches of activity and geographic distribution, among others, aiming to lay the initial foundations for future research.

**Key-words:** Industrial Promotion, metalworking, development

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo industrial ha sido siempre un objetivo a alcanzar por la mayoría de los países que anhelan fortalecer su presencia en los mercados nacionales e internacionales. En Argentina la industria ha sido desde hace varias décadas un instrumento para mejorar la economía interna del país, dando lugar, de esta forma, a la creación de empresas y abriendo puertas y horizontes a emprendimientos innovadores de distintos sectores productivos.

En este contexto, las políticas de promoción industrial han representado históricamente instrumentos utilizados por los estados para propiciar el desarrollo industrial. El estudio de la trama de relaciones que devinieron en la formulación de estrategias, los criterios adoptados, sus rasgos distintivos, así como los avatares de su implementación, constituyen núcleos de preocupaciones para la explicación de los procesos de industrialización (Simonassi, 2016).

Se debe tener en cuenta que una adecuada política pública corresponde a aquellos cursos de acción y flujos de información relacionados con un objetivo político definido que son desarrollados por el sector público, con la participación de la comunidad y el sector privado (Vacarezza, 2010). En nuestra provincia, las Leyes de Promoción Industrial se gestionaron, sin lugar a dudas, como políticas públicas.

Las políticas públicas orientadas a la creación de las condiciones estructurales para facilitar un efectivo proceso evolutivo empresarial pueden activar las fuerzas endógenas del mercado y permitir la formación de entornos productivos dinámicos que otorguen escenarios favorables al desarrollo productivo regional (Ley provincial N°3992, 1942).

Al parecer, los regímenes de promoción industrial de la provincia de Córdoba han tenido tal efecto sobre el desarrollo de la estructura productiva provincial, transformándola de principalmente agrícola ganadera a una economía mixta, con fuerte influencia de la actividad manufacturera y de servicios.

En esta línea, la difundida convicción de que el crecimiento de la producción manufacturera



constituye un eslabón primordial para el crecimiento de un país ha provocado una tendencia a favorecer las políticas dirigidas a dicho sector (Schvarzer, 1987) y que predominen distintas modalidades de intervención del Estado sobre la industria. Para Zappino (2014) la política pública industrial es, sin dudas, una herramienta insoslayable para el desarrollo económico e inclusivo de una nación.

Al ser la promoción industrial de la provincia de Córdoba una política gubernamental que trascendió al gobierno y a la administración que la diseñó y gestionó, ha constituido conjuntamente, una política de estado (Daziano, 2012).

Dicha política de estado se encuadra a su vez dentro de lo que definimos como política industrial, entendiendo a esta como “aquellas medidas que apuntan a modificar de manera coordinada la estructura industrial por sectores incidiendo coordinadamente en la estructura a nivel regional y fomentando la competitividad y productividad” (Romero, 2004). Dicho en otras palabras, la política pública industrial puede ser vista desde dos enfoques: como una respuesta a las fallas de mercado y como una visión donde no se busca compensar distorsiones sino generar y estimular determinados sectores para alterar y moldear una nueva estructura productiva. En el primer caso, la intervención busca resolver, por ejemplo, las dificultades de acceso al crédito para las PyMEs, la falta de mano de obra calificada, etc. En el segundo caso, la intervención pasa por la inexistencia de determinados mercados y la acción directa del Estado para generarlos o promoverlos (Zappino, 2014).

Las leyes de promoción industrial en la provincia de Córdoba se sancionaron en medio de contextos que denotan cierto nivel de convulsión política y económica. Emergen como una herramienta que intenta contribuir a la estabilidad institucional y empresarial en miras de progresos sustantivos en un mediano y largo plazo. Pero las mismas, según el régimen jurídico argentino, y tal como menciona Schvarzer (1987), no tienen vigencia sin sus respectivos decretos reglamentarios estipulados por el Poder Ejecutivo. Los decretos fueron formas específicas que ampliaron, limitaron o condicionaron el ámbito de estas políticas. Por tal razón su análisis resulta asimismo sumamente valioso.

Pese a ello es necesario mencionar que no existieron en la provincia de Córdoba marcos legales regulatorios especialmente dedicados a promover su desarrollo hasta entrado el siglo XX.

En la provincia de Córdoba, la primera Ley de Promoción Industrial (Ley provincial N° 3992) se sancionó en el año 1942. Su objetivo principal fue constituirse como un pilar legal esencial promotor del desarrollo de la industria local a favor de una evolución productiva territorial sustanciosa. A partir de entonces, se sucedieron diversas sanciones de leyes de promoción industrial que fueron derogando a las anteriores (por incluir nuevos aspectos antes no contemplados), (Masia et al., 2018).

Asimismo, se crearon marcos legales especiales dirigidos a la promoción de una actividad o bien una empresa en particular y programas específicos para áreas geográficas puntuales, destinados a promover el desarrollo industrial y las economías regionales en los departamentos menos desarrollados de la provincia.

La materia a abordar es de considerable importancia tanto para el sector público y como para el privado en la medida que ambos presentan intereses positivos en la temática. En lo que refiere al primero, la promoción de las leyes, supone un desvío de fondos públicos hacia el sector privado, a los fines de obtener resultados tangibles en materia de desarrollo regional, creación de empleo, impulso de exportaciones, atracción de inversiones extranjeras y transferencia tecnológica

(Tavella et al., 2019). Es preciso analizar si el presupuesto implementado justifica los resultados alcanzados en cada uno de los conceptos anteriormente citados.

Respecto al sector privado, el tema a tratar también resulta de peculiar interés al exponer los resultados obtenidos en materia de crecimiento y desarrollo por parte de aquellas empresas que ya han gozado de los beneficios otorgados por las leyes. Al apreciar los alcances y beneficios reales ya alcanzados por numerosas compañías condicionaría indefectiblemente nuevas y plausibles inversiones desplegadas por el sector.

En este contexto cabe mencionar que, dentro del sector económico de la industria manufacturera de la provincia de Córdoba, la industria metalmeccánica 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) de mayor producción automotriz.

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 nacimientos a muchas pequeñas y medianas empresas que buscaron abastecerlas con productos o servicios.

Para la instalación de estas grandes empresas en la ciudad, a lo largo de los años, no solo se tuvo en cuenta la influencia de políticas gubernamentales de promoción industrial y beneficios impositivos, sino que también, en gran medida, la disponibilidad de mano de obra calificada para poder desarrollar sus negocios. Es decir, que se detectó al momento de sus radicaciones, una gran oportunidad y potencialidad a raíz de la disponibilidad de recursos humanos que se caracterizan por su alto nivel de conocimiento técnico.

La formación de personas especializadas en la industria metalmeccánica tiene una fuerte raíz en la historia del desarrollo industrial de la provincia, en particular a partir de la radicación en el año 1927 de la Fábrica Militar de Aviones (FMA), luego transformada en el año 1952 en las Industrias Aeronáuticas y Mecánicas del Estado (IAME) con la fabricación, además de aviones, de ciclomotores, tractores y automóviles de diseño propio. Estas fábricas estatales oficiaron de escuela de aprendices para numerosos técnicos e ingenieros de su época (Bischoff & Bischoff, 2017).

Otras ramas de la industria metalmeccánica han tenido un importante desarrollo en regiones geográficas provinciales con una participación importante en su entramado productivo, tal como sucede con la industria de la maquinaria agrícola en el este provincial o la manufactura de maquinaria y equipos industriales en varios departamentos de la provincia de Córdoba.

Sin lugar a dudas, políticas gubernamentales que favorezcan este tipo de movimiento de los factores productivos económicos, tiende a mejorar la situación y posición económica de una región.

## **DESARROLLO**

La presente investigación se encuadra en el análisis del impacto que han tenido en los últimos cinco años, en la provincia de Córdoba, los regímenes de promoción industrial vigentes en la actualidad, principalmente para la industria metalmeccánica, realizándose el abordaje de la temática 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.

Este estudio se realizó con base a dos leyes provinciales, a saber:

La Ley de promoción industrial N° 5319, sancionada en el año 1971, que derogaría a todas las leyes provinciales anteriores de promoción industrial y que se establece como una norma troncal en la materia vigente hasta nuestros días. Esta Ley busca promover el desarrollo industrial de la provincia de Córdoba, a través del otorgamiento de beneficios impositivos.

La segunda es la Ley N° 9727, sancionada en el año 2009 que crea el “Programa de Promoción y Desarrollo Industrial de Córdoba” cuyo objeto es promover el desarrollo, la competitividad y la innovación de las pequeñas y medianas empresas (PyMEs) industriales que se encuentren radicadas o se radiquen en la provincia de Córdoba, y otorga mayores beneficios para las que lo hagan en el noroeste provincial. El foco puesto por parte de esta norma en las PyMEs, se debe al alto nivel de incidencia que tienen las mismas en el aparato productivo nacional y provincial.

En nuestro país las PyMEs aportan casi el 70% del empleo, el 50% de las ventas y más del 30% del valor agregado (Roura, 2010).

Según datos suministrados por el Ministerio de Producción de la Nación (2019), en 2017 las empresas que ocupaban menos de 200 personas representaban más del 99 % del total de las empresas en Argentina. De la misma fuente puede observarse que el porcentaje es similar en relación al total si se analiza solamente las empresas manufactureras de la provincia de Córdoba con menos de 200 empleados.

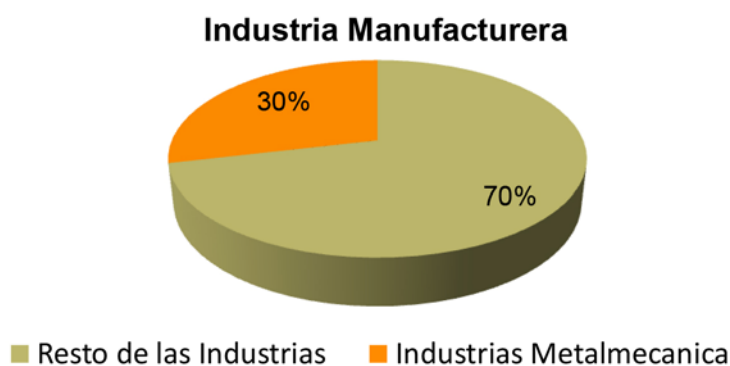
Para el relevamiento de los datos que sustentan este estudio se solicitó a la Secretaria de Industria de la Provincia de Córdoba información sobre las empresas que habían sido beneficiadas por las leyes anteriormente citadas, durante el periodo comprendido entre los años 2014 a 2018.

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 periodo de análisis. De éstas, un total de 69 empresas pertenecen al sector de la actividad metalmeccánica o relacionada a éste, en el cual se centra la presente investigación.

Con los datos aportados por la Secretaria de Industria de la Provincia de Córdoba se efectuó un estudio estadístico descriptivo, no solo por los beneficios alcanzados, sino también, desagregados por año, por departamento y por rama de actividad.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Claramente la actividad metalmeccánica representa un alto porcentaje de las industrias de Córdoba. Así se comprobó al promediar, entre los años considerados, la cantidad de las industrias radicadas en la provincia de Córdoba, considerando los datos suministrados por el Observatorio de Empleo y Dinámica Empresarial (OEDE), dependiente del Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social de la Nación (2019). Según los resultados obtenidos (Figura 1), casi el 30% de las empresas pertenecientes a la industria manufacturera de la provincia de Córdoba corresponde al sector metalmeccánico o relacionado con éste, mientras que el 70% lo conforman el resto de las industrias correspondientes a los sectores de alimentos, plástico, madera, textiles, entre otros.



**Figura 1.** La Industria metalmeccánica en relación al sector manufacturero de Córdoba  
Fuente: Elaboración propia con datos del Observatorio de Empleo y Dinámica Empresarial. Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social de la Nación

Aquí puede observarse que, en el contexto de las empresas alcanzadas por los instrumentos de promoción industrial ese porcentaje se mantiene, pues las 69 empresas del sector sobre el total de las 234 beneficiadas, representan el 29,5%, por lo que se interpreta que el sector ha recibido beneficios promocionales en igual proporción al total de la industria manufacturera provincial.

### Beneficios otorgados por año

Como ya se mencionó, esta investigación se efectúa en base a un universo de 69 empresas que desarrollan su actividad, o parte de ella, en el sector de la industria metalmeccánica o afín y que recibieron el beneficio por alguna de las dos leyes, o por ambas, en el período de estudio considerado. En referencia a esto último, se debe señalar que los beneficios otorgados por una u otra ley de promoción industrial son anuales.

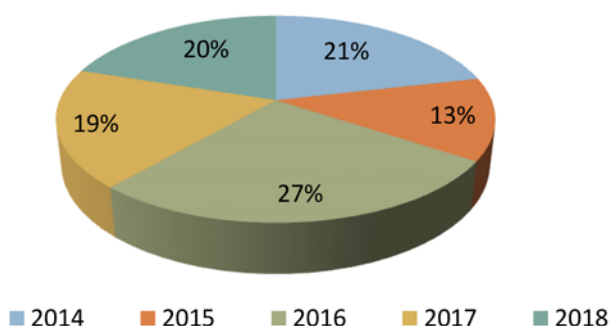
De estas 69 empresas, según la información suministrada por la Secretaría de Industria de la Provincia de Córdoba se detectó que una empresa logró acceder en dos años seguidos (2015 y 2016) a los beneficios de la Ley N° 9727 para la Fabricación de productos metálicos para uso estructural (CLANAE 25110), con lo cual se obtiene entonces un total de 70 registros en el que las empresas (69 en total) accedieron a los beneficios de las mencionadas leyes.

A continuación, se exponen en la Tabla 1, la Figura 2 y la Figura 3, los resultados desagregados por año en que se obtuvo el beneficio.

**Tabla 1.** Cantidad de beneficios otorgados por año.  
Fuente: Elaboración propia con datos provistos por la Secretaría de Industria de Córdoba

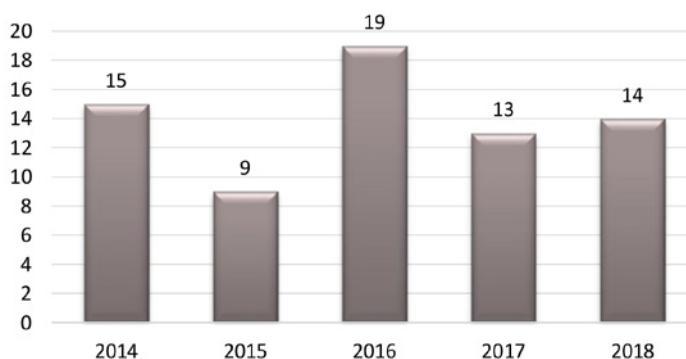
AÑO	Beneficios por año	%
2014	15	21%
2015	9	13%
2016	19	27%
2017	13	19%
2018	14	20%
<b>Total general</b>	<b>70</b>	<b>100%</b>

### Beneficios otorgados por año



**Figura 2.** Distribución porcentual de los beneficios otorgados por año.  
Fuente: Elaboración propia con datos provistos por la Secretaría de Industria de Córdoba

### Beneficios otorgados por año



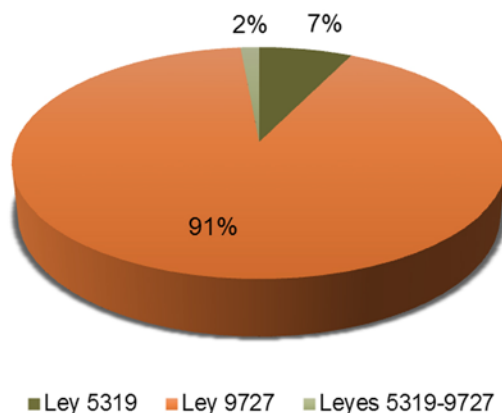
**Figura 3.** Cantidad de beneficios otorgados por año.  
Fuente: Elaboración propia con datos provistos por la Secretaría de Industria de Córdoba

Según se puede observar en las Figuras 2 y 3, en el año 2015 se registró la menor cantidad de empresas alcanzadas por una u otra ley, con un 13% del total de empresas en el periodo comprendido. En contrapartida en el año 2016 se obtiene el mayor porcentaje de incidencia en el total de empresas alcanzadas, con un 27% (19 empresas en total).

### Beneficios otorgados por Ley

A continuación, se analizará la incidencia de cada una de las dos leyes de promoción industrial provincial en el periodo considerado. En esta ocasión y según lo muestra la Figura 4 se observa claramente que las empresas se volcaron hacia los beneficios otorgados por la ley N° 9727 preferentemente por sobre la ley N° 5319.

### Incidencia de cada Ley en el total de empresas



**Figura 4.** Incidencia de cada Ley en el total de establecimientos beneficiadas.  
Fuente: Elaboración propia con datos provistos por la Secretaría de Industria de Córdoba

Como se dijo anteriormente, aquí se puede observar que el 91% de las empresas obtuvieron beneficios de la Ley N° 9727, muy pocas, (el 7%) accedieron a los beneficios de la Ley N° 5319, en tanto que solo una de ellas (representando el 2%), logro acceder a los beneficios otorgados por ambas leyes.

Es de esperar esta distribución, justamente porque la Ley N° 9727 está especialmente dirigida a promover a las PyMEs, que como se indicó precedentemente, representan la mayor parte de las empresas industriales del país y de la provincia.

### Beneficios otorgados por Departamento

Con respecto a un análisis geográfico de los establecimientos fabriles de las empresas que fueron beneficiadas por estas leyes de promoción industrial en el periodo 2014-2018 se analizó la distribución por departamento, a fin de determinar qué región de la provincia resulto mayormente beneficiada. En esta instancia cabe señalar que de las 69 empresas promovidas se han detectado tres que cuentan con más de una planta fabril o sedes localizadas en distintos departamentos.

Según la información provista por la Secretaría de Industria, una de las empresas posee dos plantas fabriles, localizadas en los departamentos Capital y Tercero Arriba respectivamente; sin embargo, solo se contabilizará esta última ya que la del departamento Capital se encuentra dedicada al rubro alimenticio. Otra de las empresas cuenta con tres establecimientos fabriles, localizados en los departamentos de Gral. San Martín, Capital y Unión, sin embargo, este último no se contabilizará ya que se dedica a la rama de la industria maderera.

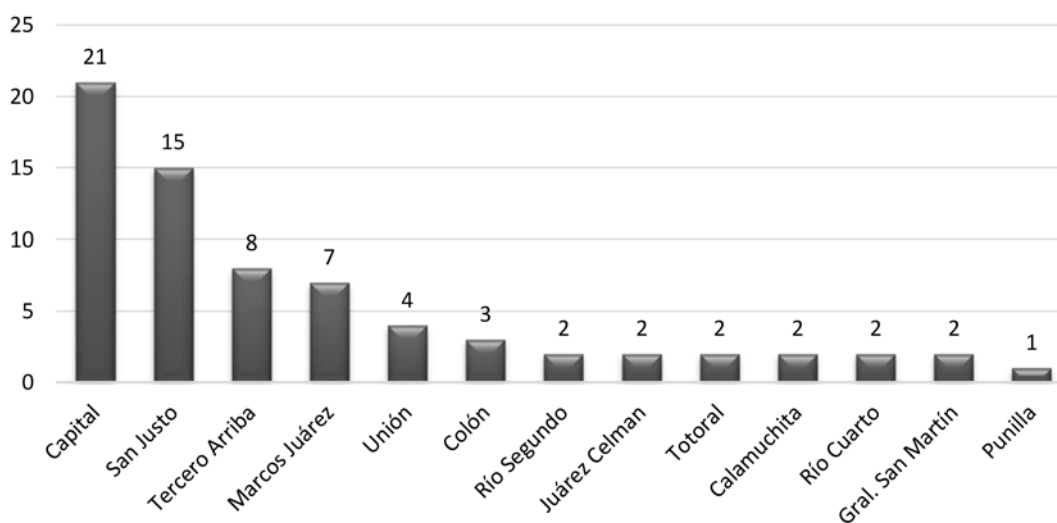
La última de las empresas identificada en estas condiciones posee dos plantas fabriles, localizadas en los departamentos Marcos Juárez y Unión. En este caso, ambos establecimientos desarrollan su actividad en el rubro metalmeccánico objeto de este estudio.

En función de lo anterior es claro que el número base de 69 empresas beneficiadas se verá afectado en su contabilización final para este análisis, al realizarse por el número total de establecimientos industriales promocionados. Los resultados se muestran a continuación.

**Tabla 2.** Distribución geográfica por departamento de los establecimientos fabriles beneficiados.  
Fuente: Elaboración propia con datos provistos por la Secretaría de Industria de Córdoba

Departamento	Total	%
Capital	21	29 %
San Justo	15	21 %
Tercero Arriba	8	11 %
Marcos Juárez	7	10 %
Unión	4	6 %
Colón	3	4 %
Río Segundo	2	3 %
Juárez Celman	2	3 %
Totoral	2	3 %
Calamuchita	2	3 %
Río Cuarto	2	3 %
Gral. San Martín	2	3 %
Punilla	1	1 %
<b>Total general</b>	<b>71</b>	<b>100 %</b>

### Establecimientos fabriles por departamento

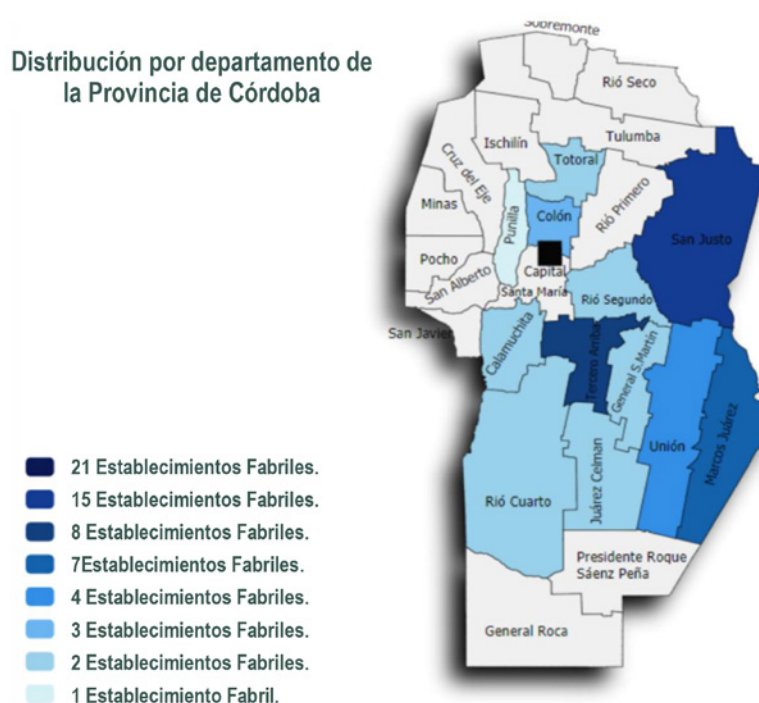


**Figura 5.** Cantidad de establecimientos industriales beneficiados por departamento.  
Fuente: Elaboración propia con datos provistos por la Secretaría de Industria de Córdoba

Como se puede observar en la Tabla 2 y en la Figura 5, los departamentos con mayor cantidad de empresas alcanzadas por las leyes de promoción industrial de la provincia son Capital, San Justo, Tercero Arriba y Marcos Juárez, superando el 70 % del total de los establecimientos industriales de las empresas beneficiadas de toda la provincia.

Observando la distribución en el mapa de la provincia de Córdoba (Figura 6), se puede apreciar también que la mayor cantidad de establecimientos fabriles que obtuvieron beneficios se localizan principalmente en las regiones centro y este.

Esta tendencia en cuanto a la localización de las empresas (beneficiadas o no por las leyes de promoción industrial), no es casual, ya que estos emplazamientos se ven favorecidos por las facilidades de transporte y conexiones que brinda la cercanía al mayor corredor productivo de la República Argentina, representando además, las regiones de la provincia con mayor desarrollo económico.



**Figura 6.** Empresas beneficiadas por departamento – Mapa de la provincia de Córdoba  
Fuente: Elaboración propia con datos provistos por la Secretaría de Industria de Córdoba

### **Beneficios otorgados por rama de actividad industrial**

Otro análisis se realiza por rama de actividad industrial, de acuerdo a la Clasificación Nacional de Actividades Económicas (CLANAE) versión 2010, la cual responde a la estructura, definiciones y principios básicos de la Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las actividades económicas (CIIU Revisión 4).

La CLANAE contempla la distribución de las actividades en veintinueve (21) categorías de tabulación (o secciones), permitiendo que cada una de estas pueda desglosarse en otras tantas aperturas y así sucesivamente, a fin de lograr el nivel de especificidad y detalle que satisfaga una caracteriza-



ción pormenorizada de las actividades que desarrollan las unidades que se someten a la clasificación. Dado que por definición las descripciones deben ser excluyentes, y pretendiendo abarcar la totalidad de actividades que componen el sistema económico, se incluye en determinados niveles de desagregación, el concepto “Actividades o servicios no clasificados en otra parte (n.c.p.)” como apertura complementaria de las restantes enunciadas en la clasificación (INDEC,2010).

Volviendo al objetivo del presente estudio es que se toman aquellas actividades que están comprendidas en el sector metalmeccánico o afines.

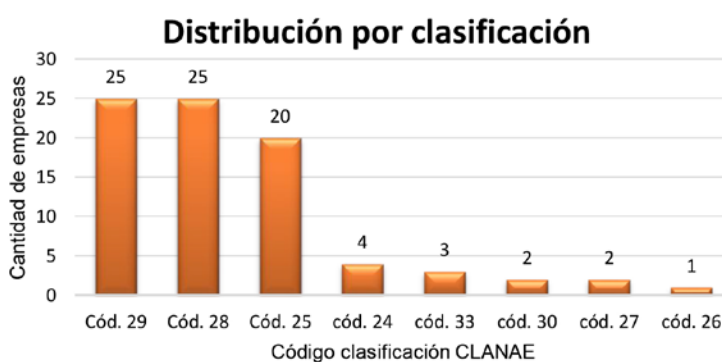
Cabe destacar que dentro de las empresas que son objeto de estudio de este trabajo, hay algunas que desarrollan actividades de manufactura diferentes. Por citar un ejemplo, el caso de una de las empresas produce “instrumentos y aparatos para medir, verificar, ensayar o navegar” (CLANA E 26510) pero que también dedican sus actividades a la “fabricación de maquinaria y equipo de uso general n.c.p.” (CLANA E 28190).

De esta forma, se procede a englobar a las empresas en estudio de acuerdo a la CLANA E por su categoría general a dos dígitos (Tabla 3).

**Tabla 3.** Cantidad de beneficios otorgados por rama de actividad

Fuente: Elaboración propia con datos provistos por la Secretaría de Industria de Córdoba

Clasificación CLANA E	Descripción	Cantidad de Empresas
Cód. 29	Fabricación de vehículos automotores, remolques y semirremolques	25
Cód. 28	Fabricación de maquinaria y equipo n.c.p.	25
Cód. 25	Fabricación de productos elaborados de metal, excepto maquinaria y equipo	20
cód. 24	Fabricación de metales comunes	4
cód. 33	Reparación, mantenimiento e instalación de máquinas y equipos	3
cód. 30	Fabricación de equipo de transporte n.c.p.	2
cód. 27	Fabricación de maquinaria y equipos eléctricos n.c.p.	2
cód. 26	Fabricación de productos informáticos, electrónicos y ópticos	1
<b>Total general</b>		<b>82</b>



**Figura 7.** Distribución beneficios otorgados por clasificación general de CLANA E

Fuente: Elaboración propia con datos provistos por la Secretaría de Industria de Córdoba

De esta manera se obtienen 82 registros que son la resultante de contar aquellas ramas de actividad con las cuales las empresas han podido acceder a los beneficios de las leyes.

Según lo que se puede observar en esta primera clasificación (Figura 7), 70 de los 82 registros obtenidos, (más del 80 %) corresponden a actividades englobadas en las tres primeras clasificaciones presentadas.

A fin de evaluar si alguna rama de la industria metalmecánica se ha visto más favorecida en mayor medida por los beneficios de la promoción industrial provincial, se recabaron los datos del sector del Sistema de Información Industrial de Córdoba (SIIC, 2019) con los datos del último operativo del Registro Industrial Provincial (RIP) correspondientes al año 2019.

Si bien un registro no constituye un censo desde el punto de vista estadístico, pues no todas las empresas se inscriben (más allá de ser obligatorio), es una adecuada fuente de datos para conocer la relación entre el número de empresas de las distintas ramas industriales. En el siguiente cuadro se puede observar la información relevada y procesada a tal efecto (Tabla 4):

**Tabla 4.** Cantidad de empresas registradas en el RIP por rama de actividad.

Fuente: Elaboración propia con datos provistos del sistema de información industrial de Córdoba

Clasificación CLANAE	Descripción	Cantidad de Empresas
Cód. 25	<b>Fabricación de productos elaborados de metal, excepto maquinaria y equipo</b>	249
cód. 24	<b>Fabricación de metales comunes</b>	120
Cód. 28	<b>Fabricación de maquinaria y equipo n.c.p.</b>	113
Cód. 29	<b>Fabricación de vehículos automotores, remolques y semirremolques</b>	65
cód. 27	<b>Fabricación de maquinaria y equipos eléctricos n.c.p.</b>	43
cód. 26	<b>Fabricación de productos informáticos, electrónicos y ópticos</b>	34
cód. 30	<b>Fabricación de equipo de transporte n.c.p.</b>	14
cód. 33	<b>Reparación, mantenimiento e instalación de máquinas y equipos</b>	13
<b>Total general</b>		<b>651</b>

Aquí también debe hacerse la salvedad de que algunas empresas realizan más de una actividad industrial de las clasificadas para el sector metalmecánico, por lo que el número de registros será un poco mayor al de empresas inscriptas en el RIP, no obstante lo cual, como los últimos dos cuadros han mantenido el mismo criterio de conteo pueden ser comparados entre sí.

Del análisis de dicha comparación surge claramente que la rama autopartista (código 29) ha recibido mayores beneficios promocionales, pues representa más del 30 % de los registros de empresas promovidas, cuando constituyen menos del 10 % del padrón del RIP en su operativo 2019.

Como los requisitos de ambas leyes de promoción industrial se fundamentan principalmente en otorgarles beneficios impositivos a empresas que presenten proyectos para incrementar su personal ocupado o realizar inversiones en bienes de uso afectados a su actividad productiva, podría considerarse que esta desproporción en relación a las demás ramas del sector demuestra que la

rama autopartista presentó en los años de análisis una dinámica superior al resto, con un mayor número de proyectos de inversión y desarrollo.

En el extremo opuesto resalta la rama detallada con el código 24 del CLANAE, "Fabricación de metales comunes" que corresponde principalmente a la industria metalúrgica de base, que representando el 18,4 % del padrón del sector metalmeccánico provincial en el RIP y obtuvo menos del 5 % de las resoluciones de beneficios promocionales, lo que podría indicar una dinámica menor durante los años de estudio.

## **CONCLUSION**

Como conclusión general de la presente investigación, y de acuerdo a los resultados se puede afirmar que las leyes de promoción industrial de la provincia de Córdoba continúan una tendencia dentro de las políticas industriales nacionales, donde el foco de atención está más dirigido a las pequeñas y medianas empresas. Dentro del sector metalmeccánico de la provincia de Córdoba, esto se evidencia en el gran predominio de empresas que se beneficiaron mediante la Ley N° 9727 (91%) por sobre la Ley N° 5319 (un 7%).

Por otro lado, según el análisis realizado, el sector metalmeccánico representa casi un 30 % de las empresas de las industrias manufactureras. Este porcentaje, es directamente proporcional a la cantidad de empresas beneficiadas por alguna de las dos leyes de promoción industrial (234 en total) respecto a la cantidad de ellas cuya actividad se desarrolla en el sector metalmeccánico (69). Asimismo, la estrecha relación entre los regímenes de promoción industrial y el proceso de industrialización llevado a cabo en la provincia, dan cuenta que el sector manufacturero ha tenido desde hace años el apoyo del estado provincial, ya sea mediante subsidios, exenciones, otorgamiento de créditos, o desgravaciones fiscales, entre otros.

En cuanto al análisis efectuado de la Ley N° 9.727 se puede destacar que el programa establecido por la provincia de Córdoba crea importantes estímulos a la radicación de pequeñas y medianas empresas en el territorio provincial, con beneficios adicionales para aquellas zonas consideradas con menor desarrollo, como es el noroeste, que hacen interesante su propuesta. No obstante, dentro del sector metalmeccánico y según se pudo observar en el mapa de la provincia de Córdoba (Figura 6), salvo el caso del departamento Totoral (en el cual se radican dos de las empresas beneficiadas), el resto corresponden a las zonas centro, este, sur y sudeste de la provincia.

Otro aspecto que surge a la luz, es el análisis de la rama de actividad del sector metalmeccánico mayormente favorecida por las leyes estudiadas, de estos resultados se aprecia claramente que la rama autopartista es la que ha recibido mayores beneficios promocionales, lo que indica que dentro del sector industrial esta rama cumple un rol dinamizador en la economía provincial. De igual modo se aprecia que la rama de la industria metalúrgica de base, en contraposición, ha mostrado una dinámica inferior dentro del sector en los últimos años.

Resulta importante pues llevar a cabo las medidas necesarias para optimizar las herramientas promocionales de las que hoy dispone la provincia, de tal manera de potenciar este instrumento de gestión pública para el desarrollo y la competitividad del tejido industrial cordobés, fomentando la inclusión de mayor cantidad de emprendimientos. Ejemplo de ello es el pobre cumplimiento de uno de los objetivos de la Ley N° 9.727, en cuanto a favorecer la radicación de empresas industriales en los departamentos del norte provincial.

En otro sentido, es de primordial importancia que el gobierno provincial, como política de estado, considere al sector metalmeccánico como estratégico, tanto por su historia como por su desarrollo, estableciendo políticas de atracción de mayores inversiones. En la misma línea, las universidades deben continuar trabajando en conjunto con los distintos sectores para desarrollar el sistema científico técnico; generando la necesidad de integrar las cadenas de valor y dando lugar a la difusión del conocimiento para de esta forma motorizar el fenómeno del triángulo de Sábato, donde el sector público, privado y científico-educativo, trabajen sinérgicamente.

## REFERENCIAS

BISCHOFF, E. U; BISCHOFF, E. E. (2017) - La historia de la industria de Córdoba – Unión Industrial de Córdoba.

DAZIANO, M. (2012). —Los comienzos en la Argentina de la industrialización por sustitución de importaciones (1930-1955): causas, objetivos y análisis de sus consecuencias [en línea]. Apuntes agroeconómicos. Universidad de Buenos Aires. 2012. Disponible en: [http://www.agro.uba.ar/apuntes/no\\_8/industrializacion.htm](http://www.agro.uba.ar/apuntes/no_8/industrializacion.htm).

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS (INDEC) (2010). República Argentina. Clasificador Nacional de Actividades Económicas – CLANAE 2010 Notas Metodológicas. Fecha de consulta: 03 de noviembre de 2019. Disponible en: ([https://www.indec.gob.ar/micro\\_sitios/clanae/documentos/NOTAS\\_METODOLOGICAS\\_CLANAE-2010.pdf](https://www.indec.gob.ar/micro_sitios/clanae/documentos/NOTAS_METODOLOGICAS_CLANAE-2010.pdf))

LEY PROVINCIAL N° 3.992. Régimen de Promoción Industrial. Córdoba, Argentina, 11 de julio de 1942.

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.

MASIA, S; TAVELLA, M; MANERA, R. (2018). “Los regímenes provinciales de promoción industrial y el desarrollo productivo de la provincia de Córdoba”. IV Congreso Argentino de Ingeniería – X Congreso Argentino de Enseñanza de la Ingeniería. CADI 2018. 4 y 6 de octubre de 2018. Córdoba, Argentina.

MINISTERIO DE PRODUCCIÓN DE LA NACIÓN (2019).- Estadísticas de Productividad. <http://estadisticas.produccion.gob.ar/app/>. Fecha de consulta: 3 de mayo de 2020.

MINISTERIO DE TRABAJO, EMPLEO Y SEGURIDAD SOCIAL DE LA NACIÓN (2019). Observatorio de Empleo y Dinámica Empresarial (OEDE) - Estadísticas e indicadores regionales <http://www.trabajo.gob.ar/estadisticas/oede/estadisticasregionales.asp>. Fecha de consulta: 29 de abril de 2020.

ROMERO, L. A. (2004). Sociedad democrática y política democrática en la Argentina del siglo XX. Buenos Aires, Argentina: Universidad Nacional de Quilmes.

ROURA, H. (2010). "Las PyMEs en el desarrollo de la economía argentina". Revista Informe Industrial, Editorial MELIPAL, Edición N° 222. Disponible en: [http://www.informeindustrial.com.ar/verNota.aspx?nota=Las%20PyMES%20en%20el%20desarrollo%20de%20la%20econom%C3%ADa%20argentina\\_\\_\\_169](http://www.informeindustrial.com.ar/verNota.aspx?nota=Las%20PyMES%20en%20el%20desarrollo%20de%20la%20econom%C3%ADa%20argentina___169). Fecha de consulta: 24 de abril de 2020.

SCHVARZER, J. (1987). Promoción Industrial en Argentina. Características, evolución y resultados [en línea]. Centro de Investigaciones Sociales sobre el Estado y la Administración- Universidad de Buenos Aires. 1987. Fecha de consulta: 30 marzo 2020. Disponible en: <http://www.econ.uba.ar/www/institutos/cisea/catalogo/archivos/90.pdf>

SIIC - Sistema de Información Industrial de Córdoba (2019). Listado de establecimientos registrados. Gobierno de la Provincia de Córdoba, Ministerio de Industria, Comercio y Minería. Disponible en: <https://siic.cba.gov.ar/ConsultaEstablecimientos.aspx>. Fecha de Consulta: 15 de marzo de 2020.

SIMONASSI, S. (2016). "Las políticas provinciales de promoción industrial y los empresarios rosarinos (1942-1955)". Revista Escuela de Historia. Versión Online ISSN 1669-9041. vol.15 no.2 Salta dic. 2016.

VACAREZZA, F. (2010). —Políticas de desarrollo industrial en la Argentina 1940-2001. Desde la Sustitución a la Apertura [en línea]. Universidad Nacional Tres de Febrero. Sede de Posgrados. Noviembre 2010. Disponible en: <http://www.eumed.net/librosgratis/2011e/1102/indice.htm>.

TAVELLA, M; BARTOLOMEO, M; MIROPOLSKY, A; MANERA, R; MASIA, S y GONZALEZ, G. (2019). — Análisis del impacto de los regímenes provinciales de promoción industrial en el desarrollo productivo de la provincia de Córdoba. Revista Rumbos Tecnológicos. Secretaría de Ciencia, Tecnología y Posgrado. ISSN 18527701. Vol. 11 octubre 2019.

ZAPPINO, J. (2014). "Las políticas públicas como herramienta para el desarrollo industrial argentino 2003-2013" - Trabajo realizado en el marco de la Dirección de Investigaciones del Instituto Nacional de la Administración Pública (INAP), Secretaría de Gabinete, Jefatura de Gabinete de Ministros.



## ARTÍCULOS DE DIFUSIÓN





# CARACTERIZACIÓN DE CURVAS DE DEMANDA DE USUARIOS RESIDENCIALES DE TIPO CONVENCIONAL Y ELECTROINTENSIVO Y SU IMPACTO EN LA CURVA DE CARGA DE UNA RED DE DISTRIBUCIÓN TÍPICA

Fecha de Recepción: 30 de junio de 2020 • Fecha de Aceptación: 31 de agosto de 2020

**Marcos M. Cea\*, Ulises Manassero, Rodrigo Furlani, Javier Acosta, Irene Steinmann**

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe, Centro de Investigación en ingeniería Eléctrica y Sistemas Energéticos (CIESE), Lavaise 610, Santa Fe (CP 3000), Santa Fe, Argentina.

*\*Autor a quien la correspondencia debe ser dirigida*  
Correo Electrónico: [marcos.cea@live.com.ar](mailto:marcos.cea@live.com.ar)

## RESUMEN

En el presente trabajo se analiza la conversión de usuarios residenciales convencionales en usuarios electrointensivos; evaluando su impacto en términos de potencia y consumo de energía tanto en la instalación eléctrica del usuario, como en una red eléctrica de distribución primaria de media tensión típica de la ciudad de Santa Fe.

Para ello, se plantea elaborar perfiles de carga de usuarios residenciales convencionales y electrointensivos, en función a los hábitos cotidianos de una familia tipo y el equipamiento eléctrico existente en la instalación de una vivienda.

Posteriormente, se analiza el impacto de los perfiles de carga de cada tipo de usuario para dos escenarios típicos de invierno y verano, cuantificando su influencia en el consumo de

energía en las franjas horarias de demanda.

Los resultados indican que la conversión a electrointensivos de los usuarios residenciales impacta de forma significativa tanto en el crecimiento de la potencia media operada en todos los distribuidores analizados, así como también la generación de nuevos picos de potencia en el sistema. Por otro lado, el usuario experimenta importantes incrementos de consumo de energía en períodos donde la energía es más costosa, con la consecuente modificación de sus instalaciones internas debido las crecientes intensidades de corrientes.

**Palabras Claves:** Equipos gasodomésticos, Usuarios electrointensivos, Perfiles de carga, Potencia media, Nivel de carga.

## ABSTRACT

In the present work, the conversion of conventional residential users into electrointensive users is analyzed; evaluating its impact in terms of power and energy consumption both in the user's electrical installation and in a typical medium-voltage primary distribution electrical network in the city of Santa Fe.

For this, it is proposed to prepare load profiles of conventional and electrointensive residential users, based on the daily habits of a typical family and the electrical equipment existing in the installation of a home.

Subsequently, the impact of the load profiles of each type of user for two typical winter and summer scenarios is analyzed, quantifying their influence on energy consumption in the

demand time slots.

The results indicate that the conversion to electro-intensive of residential users has a significant impact on both the growth of the average power operated in all the distributors analyzed, as well as the generation of new power peaks in the system. On the other hand, the user experiences significant increases in energy consumption in periods when energy is more expensive, with the consequent modification of its internal facilities due to increasing current intensities

**Key-words:** Gas appliances, Electro-intensive users, Load profiles, Average power, Load level.

## INTRODUCCIÓN

Hace más de una década que la edificación en altura ha ido tomando lugar en todo el territorio argentino, concentrando una gran cantidad de usuarios residenciales con acceso tanto a gas natural como a la energía eléctrica para satisfacer el funcionamiento de los distintos equipos domésticos que hacen a la convivencia y el confort del ser humano. Con el correr de los años, las redes eléctricas y de gas natural se han expandido conforme el usuario o grupo de usuarios se alejaban de las infraestructuras principales de gas natural y de las líneas eléctricas. Sin embargo, hoy día, la expansión de las redes de transporte y distribución de gas natural se encuentran restringidas, en contraste, las redes eléctricas se han expandido y ampliado ante el incremento de usuarios. En el caso del gas natural, su retroceso en la participación del consumo final del usuario residencial se explica por la falta de infraestructura para abastecer nuevas demandas, dado las dificultades presentadas por la empresa de distribución de gas natural ante la disposición de la factibilidad de servicio, las dificultades constructivas en las proyecciones de las obras y sus altos costos de instalación, llevando esto al reemplazo de equipamiento a gas por electrodomésticos en hogares para satisfacer necesidades básicas. Tales concentraciones de usuarios residenciales con mayor equipamiento eléctrico promueven el establecimiento de zonas con altas densidades de demanda eléctrica generando estrés en las redes de distribución eléctrica no diseñadas para tal fin y la consecuente pérdida de calidad de suministro eléctrico.

Desde el punto de vista económico, construir un edificio electrointensivo es asequible, ya que las obras de gas se reducen, así como los materiales empleados, la seguridad que deben otorgar tales instalaciones. Además, los proyectos civiles resultan mucho más sencillos ya que los equipos eléctricos poseen mayor flexibilidad para ser ubicados en diferentes lugares de las unidades habitacionales ante la ausencia de limitaciones de seguridad que exige una instalación de gas natural. Sin embargo, el gasto de energía es más costoso para el propietario, debido a que se

requieren grandes consumos energéticos para suplir las prestaciones de confort presentadas por los equipos gasodomésticos.

El 16 de mayo de 2017, el Ministerio de Energía y Minería de la Nación emitió la resolución conjunta 1-E/2017 la cual establece una bonificación en el Precio Estacional Sancionado y en el Precio Mayorista de la energía para determinados usuarios. El alcance de la resolución involucra a aquellos usuarios con potencia igual o mayor de 300 kW, los cuales se diferencian en Usuario Electrointensivo y Usuarios Ultra-Electrointensivo. Dentro de la nueva resolución, se infiere que, en el corto o mediano plazo, los usuarios residenciales cuyas necesidades energéticas sean abastecidas exclusivamente con energía eléctrica cobrarán mayor importancia ante la red eléctrica, estableciéndose nuevas reglamentaciones e incentivos para descongestionar la red eléctrica y dar sostén a los gastos provenientes del consumo de energía eléctrica.

En este marco se plantea, elaborar perfiles de carga de usuarios residenciales convencionales (URC) y usuarios residenciales electrointensivos (URE), en función a los hábitos cotidianos de una familia tipo y el equipamiento eléctrico existente en la instalación de una vivienda. Además, analizar el impacto de los perfiles de carga de cada tipo de usuario para dos escenarios típicos de invierno y verano, cuantificando su influencia en el consumo de energía en las franjas horarias de demanda en una red de distribución primaria de 13,2 kV de tipo urbana, característica de una zona de alta densidad de consumo.

## **DESARROLLO**

La metodología propuesta para evaluar el impacto de la inserción de URE en un subsistema de media tensión (MT), consiste en estudiar una red urbana de 13,2 kV típica de la ciudad de Santa Fe con topología radial.

Para ello, se sigue la secuencia de actividades que se describe a continuación:

- Se modelan cuatro distribuidores de 13,2 kV, cuyas potencias totales de consumo son repartidas en subestaciones transformadoras (SET).
- A través de un listado de electrodomésticos, se seleccionan los equipos que influyen en la confección de URCy URE.
- Una vez caracterizadas las curvas de potencias unitarias de cada usuario, se construye cada distribuidor con un perfil de carga correspondiente a un día hábil típico de invierno y verano, donde los mismos se determinan a través de algoritmos auxiliares utilizando el software Matlab. Luego se estudian y contrastan los perfiles de carga de los 4 distribuidores existentes con las curvas de potencias unitarias modeladas.
- Finalmente se analiza el impacto sobre la red de MT, para lo cual se evalúan indicadores a nivel usuario y red de los perfiles de carga de URE y se contrastan contra perfiles de carga de URC.

### **Modelado de equipos electrodomésticos para reemplazo de gasodomésticos**

A partir de información de la potencia eléctrica y consumos energéticos de electrodomésticos se realiza una selección de aquellos capaces de sustituir en forma más eficientes al equipamiento gasodoméstico. La información específica de los electrodomésticos se obtiene de manuales de usuario, fichas técnicas o medición en caso de no contar con información de los consumos energéticos medios. Para aquellos electrodomésticos que no posee identificación técnica, las curvas de consumo energético se obtienen de la tabla “Consumos promedio por artefactos” (ENRE, 2019)

## Placas de cocción

El desarrollo de las cocinas eléctricas en sus diferentes variantes se impone poco a poco dentro del mercado gracias a sus ventajas caloríficas y limpieza, brindando mayor seguridad, presentando un aspecto más atractivo para la sociedad moderna.

En la Figura 1 se muestra una comparación de los rendimientos térmicos para diferentes tecnologías de placas de cocción, proporcionada por el equipo Bosch (2019). Se puede observar que la placa de inducción posee un rendimiento térmico mayor a las placas de gas convencionales (aproximadamente un 22%), además posee velocidades de cocción que duplica a una cocina eléctrica con placas de fundición.

En función de ello, se selecciona una placa de inducción Bosch de 80 [cm] de ancho, cuyo código de producto es PXV875DC1E. Las principales características técnicas son: potencia de conexión eléctrica: 7,4 kW; factor de potencia: 0,98; tensión: 220-240Vca; frecuencia: 50-60 Hz. En la Figura 2, se presentan las características de la cocina seleccionada para poder realizar su modelado.

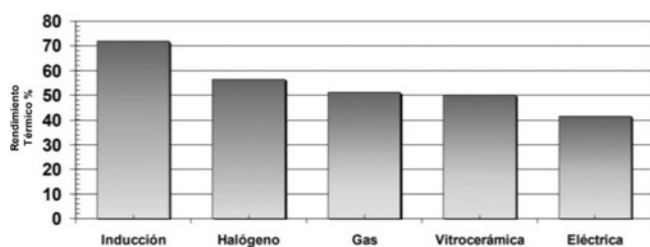


Figura 1. Rendimiento térmico de diferentes tecnologías de placas de cocción.

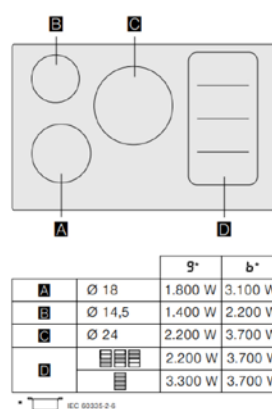


Figura 2. Descripción de zonas de placa de inducción BOSCH.

Cada foco de inducción posee un total de 9 niveles de cocción más 1 nivel intermedio a ellos, haciendo un total de 17 niveles de cocción. Para los fines prácticos, se asume solo la utilización de la zona A de 1,8 kW, en el caso de requerir usar solo una zona, y para casos de cocción simultánea, adicionalmente se utiliza la mitad de la zona de cocción Flex de 2,2 kW (zona D).

Los niveles de potencia de las zonas seleccionadas, se determina a partir de datos de ensayos efectuados por el fabricante, de acuerdo con la información técnica de Vitrocerámicas (2019). En los mismos se establece que 1 litro de agua cuya temperatura inicial es de 19°C es llevada a 85°C en 5' 20" por una hornalla o foco de inducción de 1,8 kW, entonces, considerando una relación directa se determina que para una ración de agua de cuarto de litro (250 ml, equivalente a una taza) la potencia de cocción se reduce a 0,45 W. Luego, si se asume que la leche en su proceso de calentamiento posee las mismas propiedades térmicas que el agua para pequeñas raciones, le corresponde un nivel de 2,5, de acuerdo con la información brindada por el manual del usuario de la cocina de inducción (Bosch Electrodomésticos, 2019). De igual forma, una vez establecido uno de los niveles de potencia, se obtienen los restantes.

Para poder definir el régimen de trabajo de una cocina eléctrica de una vivienda tipo, se determinan los diferentes alimentos consumidos según hábitos alimenticios de mayor frecuencia. Se

considera una ingesta óptima de calorías en función de un estudio realizado en la Universidad Complutense de Madrid (Carbajal, 2017). Además, se consideran determinados tipos de productos nutritivos y comidas en función de las recetas provistas tanto por el manual de placas de inducción Bosch como por el Informe de planes de alimentación de Argentina y guías alimentarias para la población argentina para un rango variable de energía entre 2000 y 3000 kCal (Ministerio de Salud, 2016).

Los cálculos del consumo energético de la cocina de inducción seleccionada, para las diferentes comidas durante el día, se determina a partir de las ecuaciones (1) y (2).

$$PlacaInducción_{COMIDA} [kWh] = HORAS \times POTENCIA \quad (1)$$

$$PlacaInducción_{TOTAL} [kWh] = DESAYUNO + ALMUERZO + MERIENDA + CENA(2)$$

En la Tabla 1, se presentan los resultados obtenidos para las potencias adoptadas para realizar las curvas residenciales y su posterior simulación en el software Neplan.

Tabla 1. Características de cocción de alimentos determinados según la metodología desarrollada

Comida	Zona de cocción	Nivel de potencia <sup>1</sup>		Potencia de foco [kW]		Tiempo de funcionamiento [min]		Potencia total [kW] <sup>2</sup>	
Desayuno	A	2,5		0,5		16		0,5	
Almuerzo	A + Flex	9   6	9   7	1,8   1,2	2,2   1,8	5   15	1,5   15	3,6	1,5
Merienda	A	2,5		0,5		16		0,5	
Cena	A + Flex	9   7	9   7,5	1,8   1,4	2,2   1,9	5   15	1,5   18	3,7	1,6

### Horno Eléctrico

Se seleccionó un horno eléctrico pirolítico BOSCH de 71 [Lts] (Bosch Electrodomésticos, 2019), cuya potencia eléctrica es de 3,6 [kW].

Debido a la falta de información de las potencias eléctricas de cada función de cocción, se adopta como potencia la de conexión provista en su ficha técnica. A los fines prácticos de la simulación horaria, solo se consideró que el uso de este electrodoméstico se produce en el horario de la cena, substituyendo a la cocina eléctrica de inducción, debido a que ambos demandan potencias similares en la cocción genérica de alimentos.

### Termotanque eléctrico

Se seleccionó un termotanque eléctrico Energy Safe FD-80D RA WiFi de 80 Lts de capacidad y potencia de conexión de 1,5-3 kW.

Para determinar los tiempos de funcionamiento del termotanque eléctrico se utilizaron las ecuaciones (3), (4) y (5). Como temperatura genérica de set-point de interrupción (temperatura final) se seleccionó 60 °C y como temperatura de arranque para el escenario de invierno valores entre 9,8°C y 12,9°C y en aquellos escenarios de verano valores dentro del rango de 20,5°C a 24,1°C, estimados según la franja horaria.

<sup>1</sup>La celda izquierda representa tanto el nivel de potencia, potencia de foco y tiempo de funcionamiento para la zona A y la derecha para la zona Flex.

<sup>2</sup>Potencia a ingresar a Neplan para efectuar simulación.

$$Q_i[\text{Joule}] = M_i[l] \times \gamma \left[ \frac{\text{Kg}}{l} \right] \times C_{\text{especifico\_H2O}} \left[ \frac{\text{Joule}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right] \times \Delta_{\text{Temperatura}} [^\circ\text{C}] \quad (3)$$

$$\Delta_{\text{Tiempo}_i} [\text{min}] = \frac{Q_i}{P_{\text{eléctrica}_{\text{termotanque}}}} [\text{s}] \times \frac{1}{60} \left[ \frac{\text{min}}{\text{s}} \right] \quad (4)$$

$$Q_i[\text{Joule}] = M_i[l] \times 0,9982 \left[ \frac{\text{Kg}}{l} \right] \times 4186 \left[ \frac{\text{Joule}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right] \times (T_f - T_i) [^\circ\text{C}] \quad (5)$$

Dónde:

$Q_i$ : Energía necesaria para elevar la temperatura del agua a la deseada.

$M_i$ : Masa del agua a calentar disponible en el termotanque.

$\gamma$ : Densidad del agua de grifo que entra al termotanque con contenido de sal igual a 3 g/lts.

$C_{\text{especifico\_H2O}}$ : Calor específico del agua igual a 4186 J/Kg.°C.

$T_i$ : Temperatura inicial promedio a la que entra el agua al termotanque.

$T_f$ : Temperatura final que adquiere el agua dentro del termotanque.

$P_{\text{eléctrica}_{\text{termotanque}}}$ : Potencia eléctrica disponible para calefaccionar el volumen de agua - 3000 W.

$\Delta_{\text{temperatura}}$ : Diferencia de temperatura de entrada y salida del agua del termotanque en °C.

$\Delta_{\text{tiempo}}$ : Tiempo de calentamiento del agua en el interior del termotanque en s.

### Acondicionador de aire

Dentro de la gama de acondicionadores de aire (AA), en el presente trabajo se estudian aquellos de tipo Split frío/calor de tecnología ON/OFF e Inverter.

En los sistemas de aire acondicionado convencional (ON/OFF), el control de la temperatura se realiza con un termostato que actúa enviando una señal eléctrica a la unidad interior y exterior, apagando o encendiendo los equipos, y consecuentemente el compresor, dando como resultado picos de consumos eléctricos muy elevados ante el arranque del equipo, ver Figura 3 izquierda.

En cambio, en los sistemas inverter, un dispositivo electrónico regula el voltaje, la corriente y frecuencia de alimentación del motor. Estas magnitudes eléctricas ofician como "variables de entrada" del compresor, consiguiendo alterar las revoluciones de funcionamiento de este y en consecuencia el caudal de refrigerante que circula por el circuito entre las unidades exterior e interior del AA, adaptándose a las necesidades de carga a cada momento. Comparándolo con un sistema de AA estándar, la tecnología inverter permite ajustar el funcionamiento del compresor a la demanda de la carga, proporcionando mayor eficiencia y reduciendo las pérdidas, ver Figura 3 derecha. Entre sus ventajas se pueden mencionar, generación de menos ruido, mayor rapidez para alcanzar la temperatura deseada, mayor confort y estabilidad en la temperatura, ahorro energético, mayor vida útil (menos arranques y paradas) y menor mantenimiento. Entre sus desventajas se destaca el alto costo de la tecnología.

En el estudio de URC se considera AA ON/OFF por ser éstos los de mayor presencia en el mercado argentino. Se selecciona un AA Split tipo ON/OFF - Frío/Calor de 2300 Fg/Cal de 1,35 kW de potencia nominal en ambos regímenes. Se consideran tiempo de funcionamiento promedio de 10 hs al día (8 hs por la noche y 2 hs por la tarde) para ambos escenarios y un factor de utilización de 0,75.

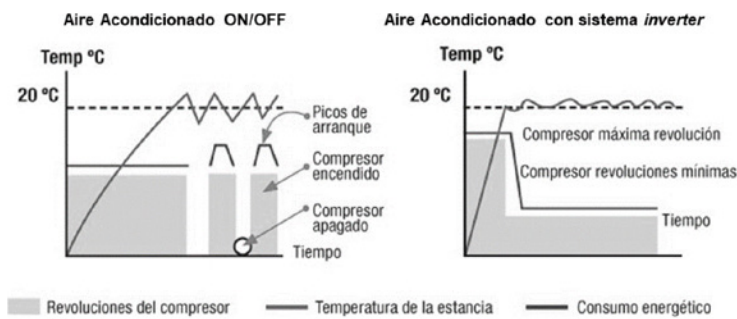


Figura 3. Ahorro energético de un sistema Convencional vs Inverter.

### Perfiles de demanda de electrodomésticos

El modelado del lavarropas automático, lavavajillas y plancha se efectuó través de mediciones realizadas por Gargallo (2018). En este estudio se exponen las mediciones de potencia, energía y agua consumida para diferentes programas de funcionamiento de los equipos tanto con agua caliente como con agua fría, con o sin vapor (plancha). Los resultados de las mediciones realizadas sobre diferentes electrodomésticos se resumen en la Tabla 2.

Tabla 2. Resumen de mediciones de equipos electrodomésticos

Electrodoméstico	Programa	t[ min ]	Pot. media [W]	Energía [kWh]	Consumo de agua lts	Carga	Temp. °C	
							Int	Ext
Lavarropas Automático	Algodón Frio	98	138,12	0,276	53	6 [kg]		
Lavavajillas	Normal	139	483	1,023	17	Compl.		
	ECO	190	266	0,84	15	Compl.		
Plancha	Algodón/ Lino	3	847	0,075	-	-		
Acondicionador de Aire Inverter	Frio 24 °C	63	195,7	0,205	-	-	25	29
	Calor 25 °C	90	437,2	0,655	-	-	21	22
Heladera Convencional	-	327	145,7	0,794	-	-	-	-
Heladera Neo Frost	-	300	35,36	0,176	-	-	-	-

En lo referente a heladeras, actualmente existen diferentes tipos de tecnologías de refrigeración, siendo las más comercializadas y utilizadas a través del tiempo las cíclicas, Frost, tradicionales o convencionales, No Frost y Neo Frost, presentando cada una de ellas diferentes prestaciones las cuales influyen directamente en el consumo energético del equipo (ver Tabla 2) y en el modo de conservación de los alimentos dentro de las mismas.

### Determinación de usuarios residenciales por SETs

En primer lugar, se contabiliza el número de usuarios de baja tensión por SET en cada distribuidor de 13,2 kV seleccionado para el estudio. Debido a que la energía bimestral promedio por SET está distribuida en grandes y pequeños usuarios, y a su vez, este último en usuarios residenciales, comerciales e indefinidos (edificios gubernamentales y/o alumbrado público), se adopta una metodología para contabilizar la cantidad de consumidores de cada tipo, la cual posee una relación directa entre la energía promedio total consumida por usuario y la cantidad de consumidores por SET.

Los factores de simultaneidad de cada SET y la potencia máxima por usuario modelado se utilizan para determinar los perfiles de cargas en potencia de cada SET para la totalidad de los usuarios y los cuales son analizados en el software Neplan para la evaluación técnica de los distribuidores

### Determinación de curvas para usuarios residenciales

Luego de obtener la cantidad de consumidores residenciales por SET y por distribuidor, los mismos se utilizan en conjunto con los perfiles eléctricos de potencias unitarias.

Se confeccionan las curvas de potencias unitarias correspondientes a los URC y URE para escenarios de invierno y verano. Dado que estas curvas son particulares para un usuario genérico, el estudio de su impacto en la red requiere considerar la simultaneidad de consumos similares correspondientes al resto de los usuarios. Para ello se implementa un algoritmo en el software Matlab que genera un conjunto de curvas residenciales basadas en las curvas previamente definidas, pero con leves variaciones en las potencias instantáneas y en los horarios de consumo. Ello permite contemplar las diferencias existentes entre las curvas de carga de cientos de usuarios del mismo tipo. Para las variaciones de potencia se consideran distribuciones normales de probabilidad, cuyo valor medio es el de la curvabase determinada y un desvío estándar proporcional a la demanda instantánea. Los desplazamientos en el tiempo de las curvas responden a variaciones aleatorias uniformes, con valores variables entre  $\pm 0,5$  y  $\pm 2,5$  hs. Dicho algoritmo se aplicó a cada una de las 28 SET de la red, en donde la cantidad de usuarios considerados para cada SET es variable entre 140 y 190 usuarios.

Junto con estos resultados, se obtienen los respectivos factores de simultaneidad para cada SET. Finalmente, la curva de demanda total resultante para cada SET (valor a usar en las simulaciones) resulta de la suma hora a hora de todas las curvas de carga definidas para cada SET.

### Modelado de la de distribución de 13,2 kV tipo urbana residencial

Para modelar la red de distribución de 13,2 kV tipo urbana residencial se utiliza el software Neplan en su versión 5.3.51. En la Figura 4 se presenta el equivalente de la red bajo estudio. Se realizan distintas simulaciones de flujos de carga, para los escenarios de invierno y verano, con un paso de cálculo de 15 minutos, es decir, 96 simulaciones para un perfil de carga diario de cada SET.

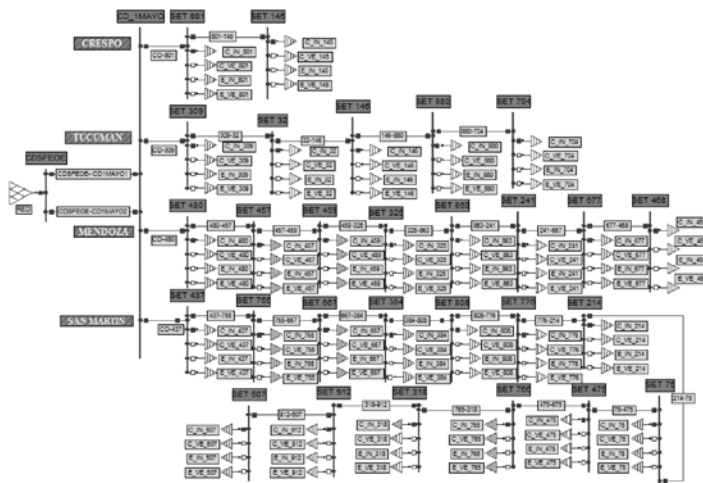


Figura 4. Modelo de la red de distribución de 13,2 kV del CD 1ero de Mayo de la ciudad de Santa Fe.



En el análisis de impacto de los URE en la red de MT se adoptan los siguientes supuestos:

- La red está compuesta por un centro de distribución (CD), que alimenta 4 distribuidores. Cada uno abastece un conjunto de SET de 13,2/0,4 kV que varían de 2 a 13 por distribuidor. El CD se alimenta a su vez desde una Estación Transformadora 132/33/13,2 kV a partir de dos alimentadores conformados por ternas de cables subterráneos de 3x1x400 Al/XLPE.
- En todas las líneas aéreas de 13,2 kV se consideran las secciones de conductor y material de acuerdo con los tipos normalizados en la empresa distribuidora de energía local.
- Se adopta como límite de capacidad de transmisión de potencia de los distribuidores de MT al límite térmico-mecánico impuesto por sus conductores.
- El límite admisible de condiciones normales de operación de transformadores corresponde a la capacidad nominal de la máquina, impuesta por el fabricante según su diseño.
- Factor de potencia de las demandas igual a 0,85 inductivo

### Evaluación de los perfiles de carga de los distribuidores del CD bajo estudio

Con la finalidad de evaluar el comportamiento de la demanda con la temperatura y poder contrastar los modelos de usuarios residenciales, se analizan los niveles de carga en cada distribuidor bajo estudio, los cuales se confeccionan a partir del registro de valores promedios horarios a lo largo del día.

Los meses seleccionados para el estudio y designados como invierno y verano, son mayo-junio-julio-agosto y diciembre-enero-febrero-marzo, respectivamente. A su vez, se analizan los promedios horarios de temperaturas medidas en las inmediaciones de los distribuidores, debido a su estrecha relación con los picos de demanda de usuarios residenciales.

En la Figura 5 se representan las curvas eléctricas en por unidad de intensidad de corriente para un día hábil y no hábil, correspondientes a escenarios de verano e invierno, para el distribuidor con mayor cargabilidad, denominado "Mendoza". En ellas se puede observar el comportamiento de la demanda eléctrica con el aumento o disminución de la temperatura ambiente.

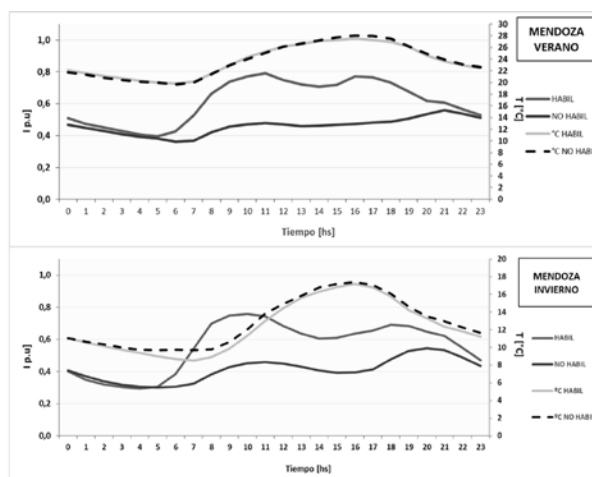


Figura 5. Perfil de carga diario del distribuidor Mendoza para escenario de verano e invierno.

En la Figura 5, para el escenario de verano, se observa un crecimiento pronunciado de la demanda en el intervalo en que aumenta la temperatura ambiente, debido a que, los usuarios para satisfacer sus necesidades de confort térmico encienden ventiladores y AA de forma simultánea

durante este período de tiempo. Luego, cuando la temperatura disminuye, la demanda eléctrica se reduce proporcionalmente. Algo similar ocurre en invierno, con la diferencia de que el aumento de la demanda energética se produce con la disminución de la temperatura, durante este período, un porcentaje de personas que no posee gas natural enciende sus acondicionadores de aire o estufas eléctricas con el fin de reestablecer el confort que poseía antes de la disminución de la temperatura.

Por otro lado, se puede apreciar que en ambas estaciones los días hábiles poseen un porcentaje mayor de consumo que los días no hábiles. Esto se debe a la concentración de equipos en funcionamiento en horarios de comercio y atención al público. Además, los hábitos de las personas los fines de semana no son los mismos que los días hábiles, dando como resultado una curva con picos de demanda menos pronunciados que los anteriores.

### **Periodos de demanda energética definidos para el estudio**

Para el análisis se adoptan los tres períodos tarifarios de demanda energética cuya clasificación para el Mercado Eléctrico Mayorista (2002) es:

- Período de pico de demanda: de 18:00 a 23:00 hs
- Período de valle de demanda: de 23:00 a 05:00 hs
- Período de resto de demanda: de 05:00 a 18:00 hs

Las horas pico de demanda corresponde al período más probable donde las personas vuelven a sus hogares, consecuentemente, hay mayor actividad energética debido a la conexión de múltiples equipos como TV, AA, ventiladores en verano o estufas en invierno, entre otros.

A las horas de menor consumo se las denomina horas valle y se corresponden con las horas nocturnas, coincidiendo con la menor actividad de todos los sectores de consumo. Finalmente, las horas de resto de demanda es el período restante de consumo de energía que no está incluido en ninguno de los dos anteriores.

### **Indicadores definidos para evaluar los perfiles de carga**

Los indicadores definidos para evaluar el impacto de URE sobre la red de MT son los que se listan a continuación:

- Factor de carga (FC): definido como la relación entre la demanda promedio en un intervalo de tiempo dado y la demanda máxima observada en el mismo intervalo. Permite evaluar, en términos de energía, el grado de aprovechamiento de un distribuidor.

- Factor de pico (FP) se define como la relación entre la demanda máxima para un determinado escenario de carga e intervalo de tiempo dado y la demanda máxima para un escenario de carga diferente del previo, observada en el mismo intervalo de tiempo.

- Cargabilidad: se define como la cantidad máxima de potencia eléctrica que se puede transmitir a través de una o varias líneas eléctricas, sin que se vean afectadas las condiciones operativas del sistema eléctrico de potencia.

- Rango de tensiones admisibles de operación: se adoptan límites admisibles establecidos en los procedimientos de CAMMESA (2012), el rango de tensión para una red de distribución primaria de 13,2 kV corresponde a  $\pm 7\%$ .

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Construcción perfil de carga de usuario residencial electrointensivo

Para definir al URE es necesario conceptualizar al usuario URC. Este se caracteriza por una matriz de consumo final de energía diversificada, ya que utiliza la energía eléctrica y la proveniente del gas natural, donde las actividades principales que absorben la energía proveniente de la combustión del gas son la calefacción de ambientes y agua (termotanques y calefones) y la cocción de alimentos (cocina a gas), equipamiento denominado “gasodomésticos”. Por tanto, un URE es aquel cuyos equipos “gasodomésticos” empleados en las principales actividades energéticas son reemplazados por equipos eléctricos que cumplen las mismas funciones, en efecto, estufas a gas son reemplazadas por AA, termotanques a gas se reemplazan por termotanques eléctrico (TMT) y cocinas a gas por cocinas eléctricassumado a hornos eléctricos. Adicionalmente, el URE, ante el confort y las prestaciones, adquiere el uso de lavavajillas para el lavado en caliente de las vajillas y la estufa eléctrica a resistencias calefactoras, esta última es empleada debido a que pueden ser desplazadas fácilmente de una habitación a otra, además, actualmente adquirir un AA para cada habitación de la casa no es rentable, siendo el costo de adquisición de una estufa casi 17 veces menor (comparación contra un AA Split ON/OFF).

En la Tabla 3 se muestran los equipos a ser empleados en el modelado de los URE. De acuerdo con la metodología desarrollada y selección de artefactos que reemplazan aquellos que utilizan gas como fuente primaria de energía, se determinan los perfiles de carga para los usuarios electrointensivos. Posteriormente, se determina el perfil de consumo de cada carga especial para un nivel de penetración energética media, en la Figura 6 se pueden observar los resultados obtenidos para cada uno de los electrodomésticos seleccionados.

Tabla 3. Electrodomésticos seleccionados para el estudio.

Artefacto	Características	Potencia nominal	Factor de Potencia
Cocina Inducción	4 zonas de cocción	2,00 kW	0,98
Termotanque eléctrico	Capacidad 80 lts	3,00 kW	1,00
Aire Acondicionado	Split – 2400 cal	1,35 kW	0,85
Horno eléctrico	Pirolítico - Capacidad 71 lts	3,60 kW	1,00
Lavavajillas	Capacidad 12 servicios	1,80 kW	0,90

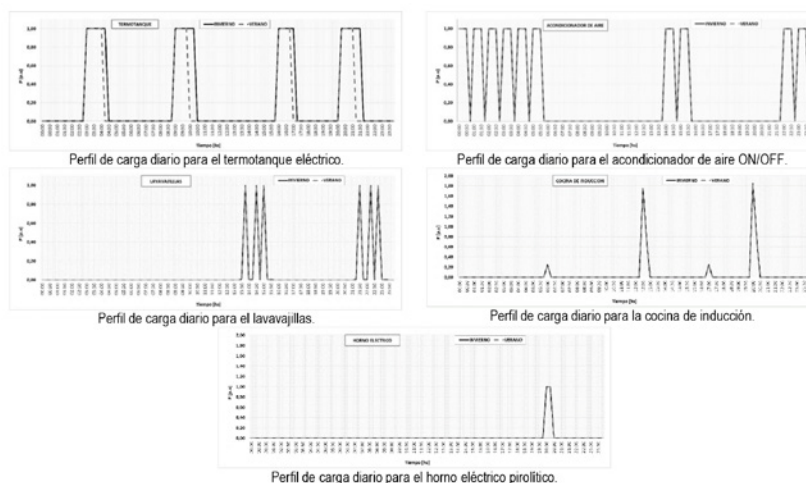


Figura 6. Perfiles de carga diarios para electrodomésticos típicos de usuarios residenciales

### Usuarios residenciales convencionales

En función de los electrodomésticos identificados para URC, se construyen los perfiles de carga de estos para los meses designados de invierno y verano. En la Figura 7 y Figura 8 se pueden observar las curvas de carga diaria para un usuario convencional en los escenarios de invierno y verano respectivamente, estas, se obtienen con un paso de cálculo de 15 minutos.

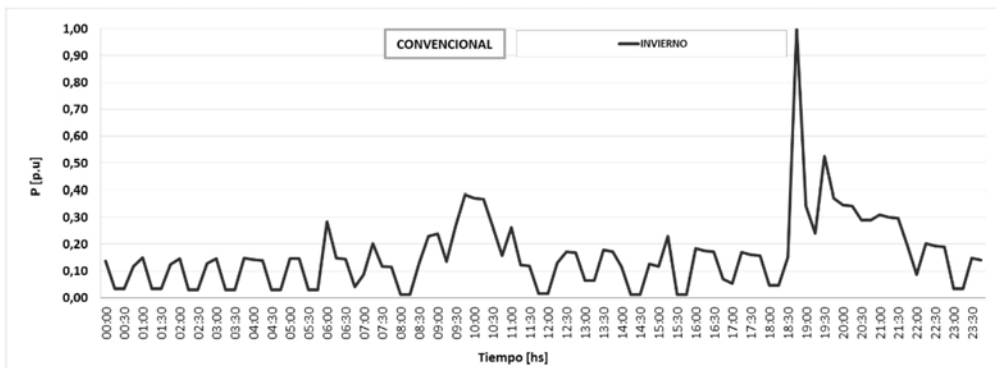


Figura 7. Modelo de curva eléctrica residencial para un usuario convencional en invierno.

En Figura 7, se observa que la calefacción y la cocción de alimentos se realizan a través de la utilización del gas natural como fuente de energía. La curva de consumo eléctrico para un URC presenta una forma definida principalmente por el arranque y parada de la heladera. Se perciben picos de potencia alrededor de las 10:00 hs, donde funcionan un pequeño número de electrodomésticos como el lavarropas y el TV, equipo de música, una PC o equipos similares. El pico restante acontece a las 18:45 hs con el encendido de la plancha eléctrica y la TV o algunos de los electrodomésticos ya mencionados o pequeños artefactos como la planchita de pelo y/o secador de cabellos, entre otros.

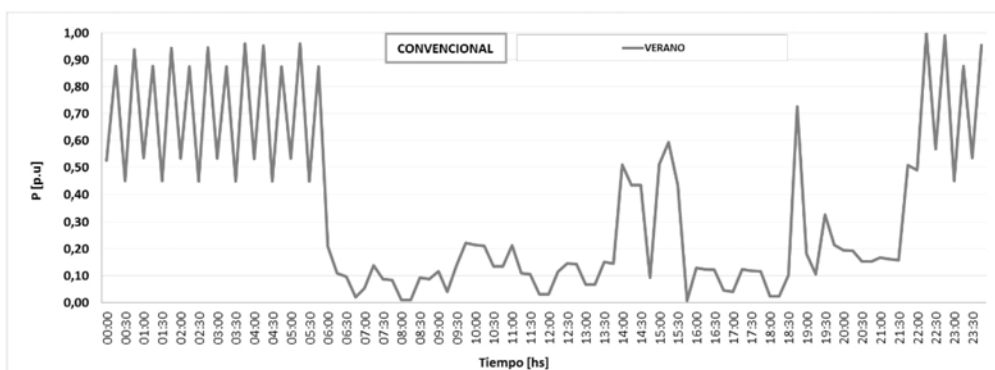


Figura 8. Modelo de curva eléctrica residencial para un usuario convencional en verano.

Del perfil de carga de verano de un URC que se presenta en la Figura 8, se observa que la potencia absorbida es mayor por la noche y en las primeras horas de la tarde con respecto a los escenarios de invierno, debido al funcionamiento del AA en modo frío y la implementación de ventiladores de techo/pie en diferentes horarios no coincidentes con el AA.

Cabe resaltar que, en todos los casos analizados se utilizan luminarias de tipo LED cuyo funcionamiento no solo estará regido por los hábitos de las personas, sino también por el amanecer y puesta de sol en los escenarios de invierno y verano, con sus horarios correspondientes. Por tanto, es de esperar que las luminarias sean eficientes y estén semiautomatizadas en su funcionamiento.

### Usuarios residenciales electrointensivos

En función de los modelos de las cargas eléctricas especiales definidos, se construyen los perfil de carga correspondiente al escenario de invierno y de verano, ver Figura 9 y Figura 10 respectivamente. En esta parte del estudio se asume la conversión total de URC a URE.

En ambos escenarios, se aprecia un pico de carga en horas de la madrugada, aproximadamente entre las 3:00 hs y las 4:15 hs, debido al funcionamiento del termostato eléctrico para calentar agua. Además, se destaca su aporte a los picos que se producen entre las 9:00 y 10:00 hs, 16:00 y 17:00 hs y el pico nocturno que se da en el horario de 20:15 a 21:30 hs.

Por otro lado, las crestas que se producen en horarios del almuerzo y cena se deben al consumo de energía eléctrica en función del reemplazo de cocinas a gas por cocinas de inducción y hornos eléctricos, sumados a pequeños electrodomésticos de cocina, TV más decodificador, entre otros.

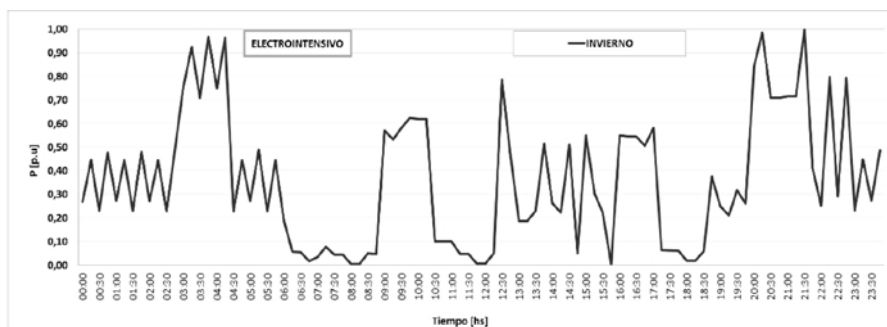


Figura 9. Modelo del perfil de carga para usuarios electrointensivos en invierno.

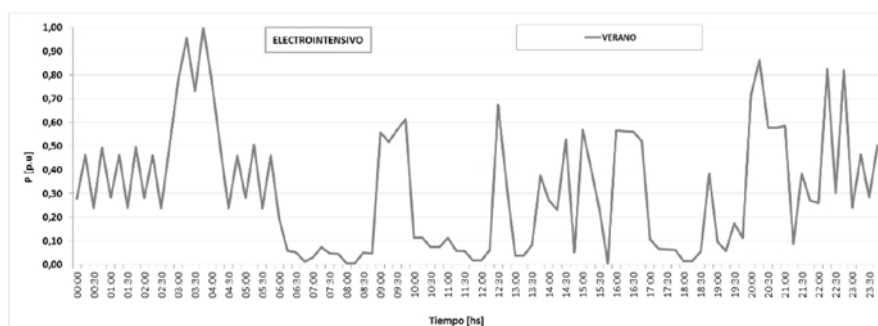


Figura 10. Modelo del perfil de carga para usuarios electrointensivo en verano.

## Resultados conversión electrointensiva - Análisis a nivel usuario residencial

En función del conocimiento de los diferentes escenarios de demanda de energía eléctrica descritos por la Figura 7, Figura 8, Figura 9 y Figura 10, se confecciona la Tabla 4 que muestra el desgajado de la energía total consumida por los URC y URE. Esta discriminación de energías para cada escenario en su totalidad, siendo el escenario matutino solo un fragmento del escenario de resto de energía, se realiza con el fin de observar en detalle el impacto de cada usuario en proporción a la energía absorbida durante un día.

Se destacan incrementos de 615% de demanda de energía en el escenario de invierno y aproximadamente 170% en el de verano. La diferencia entre escenarios se debe principalmente a que en los meses más fríos del año se utilizan estufas y AA en modo calor, durante mayor tiempo por parte de los usuarios para poder lograr el confort deseado, equipamiento que posee un consumo de energético mayor comparado con otros electrodomésticos.

Tabla 4. Características de consumo energético de la conversión de URC a URE

Usuario	P <sub>MAX</sub> [kW]	Horario de P <sub>max</sub> [hs]	Energía diaria [kWh]	Distribución de energía en los periodos de demanda [kWh]			
				Valle	Pico	Resto	Pico Matutino
<b>INVIERNO</b>							
Convencional	2,33	18:45	8,80	1,19	3,36	4,25	1,80
Electrointensivo	6,24	21:30	54,09	17,88	15,19	21,02	6,33
Crecimiento [%]	268	---	615	1502	452	495	352
<b>VERANO</b>							
Convencional	3,17	22:15	26,51	13,34	5,11	8,07	1,48
Electrointensivo	6,04	03:45	45,14	17,13	10,82	17,18	4,50
Crecimiento [%]	191	---	170	128	212	213	304

Los siguientes gráficos en anillo muestran la repartición de energía en los diferentes periodos de demanda, tanto en invierno como verano; la Figura 11 indica el porcentaje de energía resultante para URC y la Figura 12 para usuarios electrointensivos.

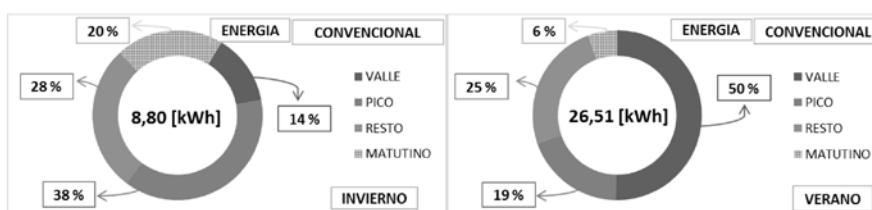


Figura 11. Reparto de energía en los diferentes escenarios de demanda para URC.

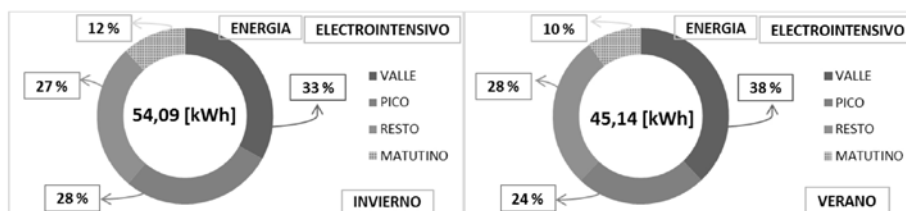


Figura 12. Reparto de energía en los diferentes escenarios de demanda para URE.

Comparando la Figura 11 y Figura 12 se puede observar que los URE, ante la ausencia de gas natural, y/o equipos que la utilicen, sufren un aumento de energía considerablemente mayor en el escenario de invierno, de forma tal que en los períodos de pico y resto la energía alcanza una multiplicidad de 5 veces con respecto a un URC y en el periodo de valle una multiplicidad de 15 distribuidos según los hábitos de las personas. Esto sucede debido a que las mismas apelan al recurso energético eléctrico con el uso de AA y estufas eléctricas para satisfacer las necesidades térmicas del día y al termotanque eléctrico para brindar el servicio de agua caliente sanitaria (ACS).

Por otro lado, en el escenario de verano, estos valores son menores en multiplicidad, no así en unidades de energía, dado que el URC posee en funcionamiento un AA y la energía absorbida por los ventiladores de techo/pie, utilizados donde no hay AA, es despreciable frente al consumo de estufas eléctricas.

En la Figura 13 se presenta la participación en el pico de consumo de los distintos electrodomésticos presentes en un hogar para URC, estimados en proporción a la energía absorbida en un día hábil de la semana.

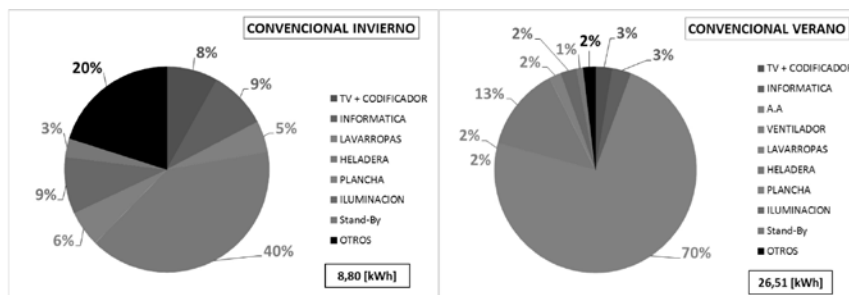


Figura 13. Reparto del consumo energético de las diferentes cargas existentes para URC

Como la energía absorbida por los electrodomésticos no varía de un URC a un URE, un porcentaje de participación de la heladera que alcanza el 40 % para un URC, absorberá la misma energía que un URE con una participación de aproximadamente el 7%.

Los gráficos de la Figura 13, demuestran que para un URC, en época de invierno, el mayor porcentaje de participación corresponde a la heladera con un 40 %, seguidamente se encuentra la participación de "otros", compuesto por el microondas, minicomponente y pequeños electrodomésticos tales como el secador de cabello, planchita de pelo, cafetera y licuadora, y en tercer lugar se encuentran la iluminación y equipos informáticos. De los dos primeros, la heladera es la que posee el primer lugar dado su consumo eléctrico intermitente de baja potencia durante toda su conexión a la red, mientras que "otros" representa potencias de consumo elevadas durante breves períodos de tiempo. En aspectos de potencia máxima, el pico en este escenario pertenece a la plancha eléctrica, cuyo porcentaje de participación responde al 6% para un uso durante la tarde de 15 minutos.

En lo que respecta al escenario de verano, para URC, la heladera pasa a tener el segundo puesto con un porcentaje de participación del 13%, mientras que el AA presenta el mayor consumo de energía (aproximadamente 70% de 26,51 kWh), siendo también el equipo que contribuye significativamente al pico de demanda en los períodos que esta encendido, con una magnitud total de 3,17 [kW]. Además, se le suma un 2% de participación del ventilador, cuyo equivalente térmico, la estufa eléctrica no está en invierno, ya que en esta ocasión se evaluó al usuario cuya calefacción la obtiene exclusivamente mediante gas natural.

En la Figura 14 se presenta la participación en el pico de consumo de los electrodomésticos presentes en un hogar para URE, estimados en proporción a la energía absorbida en un día hábil de la semana. De las gráficas se puede observar que, en el escenario de invierno, además de presentar un gran consumo eléctrico, se advierte que tanto el AA como el termotanque eléctrico representan el 34% y 32% de participación respectivamente, convirtiéndose en las demandas principales, que contribuyen a los picos del sistema en los diferentes horarios en que funcionan.

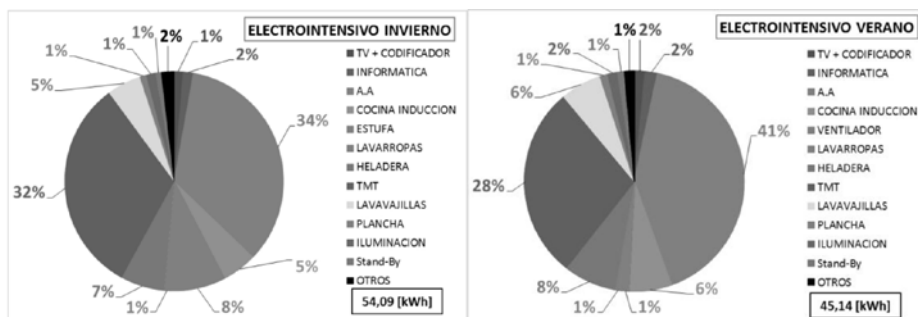


Figura 14. Reparto del consumo energético de las diferentes cargas existentes para URE

En cuanto a la placa de inducción y el lavavajillas, participan con un porcentaje del orden del 5 % con una energía promedio de 2,8 kWh, y si bien los equipos funcionan uno seguido al otro durante las principales comidas del día, aportan dos nuevos picos de potencia que el URC no poseía y ahora la red tendrá que suplir. Por otro lado, el lavavajillas posee características energéticas tales que resulta inevitable su funcionamiento a potencia máxima, independientemente del tipo de programa de operación utilizado (normal, ECO, intensivo, rápido) (Gargallo, 2018), dando como resultado solo el control indirecto por medio de la programación que ajuste el usuario con respecto al horario de funcionamiento del equipo, según las premisas de lograr el desplazamiento del escenario de pico al de valle de demanda.

En el escenario de verano, el URE presenta nuevos picos de potencia, con una fuerte disminución de consumo energético en la refrigeración, ya que sustituye la estufa eléctrica en invierno por el ventilador, y también un acortamiento del tiempo de funcionamiento del termotanque durante el día ya que las temperaturas de entrada del agua son superiores que, en invierno, constituyendo un ahorro de 8,50 kWh entre ambos escenarios.

En la Figura 15 y Figura 16 se observa el contraste de ambos tipos de usuarios residenciales, donde el termotanque es el agente intensificador de los picos en el perfil de carga, alcanzando valores próximos a 2 veces el pico base del sistema (3,04 kW, ver Figura 16) durante la madrugada y un 60% superior a las 20:30 hs en verano, y valores del orden de 2,6 veces (aproximadamente 2,30 kW) el valor base del URC en invierno en varias ocasiones durante el día.

### Impactos sobre la red de distribución primaria - Análisis de la conversión de URC a URE

De las distintas simulaciones realizadas en el software Neplan, se determina que los alimentadores del CD provenientes del CD Santa Fe Oeste presentan niveles de cargabilidad similares debido a que poseen características técnicas idénticas, no llegando a sobrecargarse (50,6% de carga para el pico de demanda). Por otro lado, el distribuidor Mendoza es el que aporta casi la totalidad de carga de los alimentadores, en efecto, es el que mayor participación tiene en la totalidad de potencia a transmitir por estos, ya que es el que mayor número de usuarios posee conectado a través de las distintas SET que lo componen.



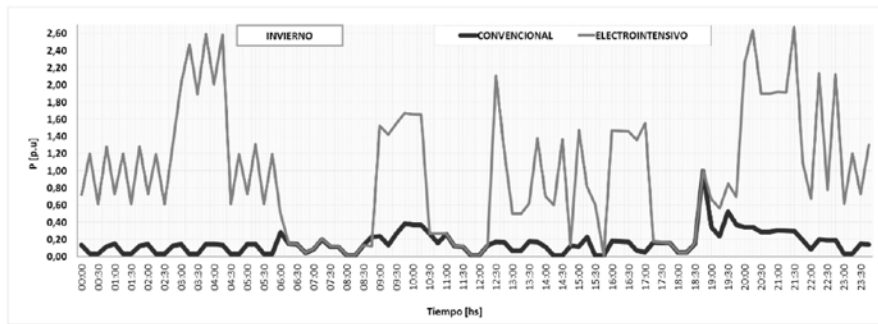


Figura 15. Comparación de demanda energética para URC y URE para un día hábil de la semana con inserción simultanea de equipos especiales en escenario invierno.

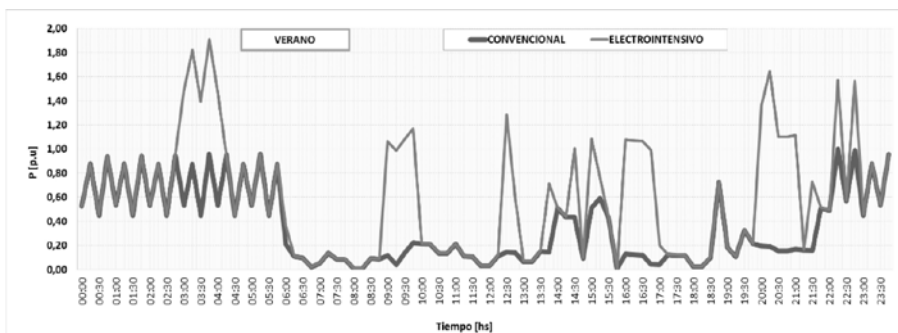


Figura 16. Comparación de demanda energética para URC y URE para un día hábil de la semana con inserción simultanea de equipos especiales en escenario verano.

En la Figura 17 representan las contribuciones de los usuarios convencionales y electrointensivos para el distribuidor más sobrecargado de todos los analizados. Se advierte que de aquí en adelante se analiza específicamente las contribuciones de las distintas cargas especiales en este distribuidor, ya que en los otros su impacto es el mismo, pero con menor amplitud.

En ambos escenarios se visualiza que el perfil de carga se encuentra siempre por encima del perfil base del distribuidor, exceptuándose en el escenario de verano a las 6:15 hs (duración 15 minutos) y en invierno de 07:15 a 07:45 hs, donde los perfiles son sensiblemente semejantes, esto es debido a la casi nula utilización de cargas electrointensivas.

Para el escenario de verano, en la Figura 17, se visualizan dos picos pronunciados de consumo que coinciden con los funcionamientos del termotanque con el AA o la cocina de inducción, como el pico de corriente originado a las 20:30 hs de 184 A (65,7% de capacidad de línea) en el horario de la cena y el pico de corriente a las 03:15 hs, el cual produce un incremento de la cargabilidad de la línea al 84%, siendo esta la máxima registrada durante el día, dejando entrever la amplia diferencia de pico de corriente del distribuidor y su corriente media de operación. De esta manera se obtienen dos picos nocturnos debido especialmente al termotanque, el primero de 02:30 a 04:30 hs y el segundo en el horario de 19:00 a 21:30 hs. Se destacan incrementos en la cargabilidad del distribuidor del orden del 17% en el horario del almuerzo y cena debido a la inserción de la cocina de inducción. En lo referente al lavavajillas presenta grandes aportes al pico de corriente en horario nocturno, con máximos incrementos de 24% respecto del URC en ambos escenarios, siendo el escenario de invierno el que se lleva la mayor porción con una cargabilidad total del orden del 71%.

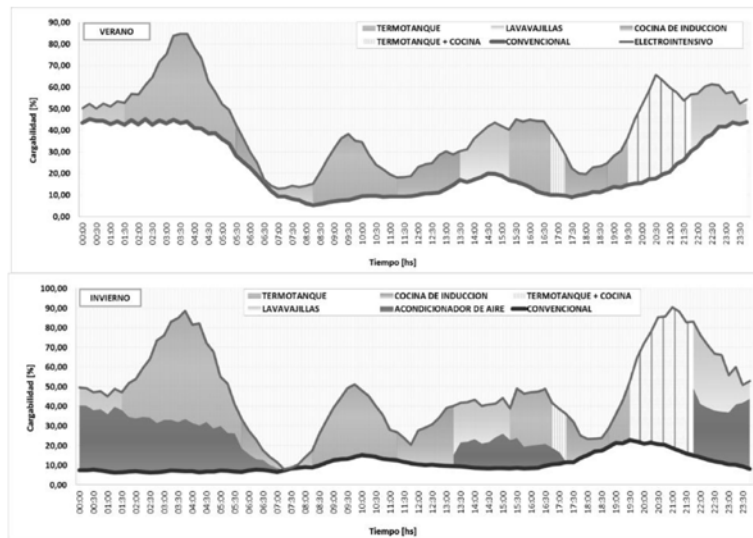


Figura 17. Aporte de cargas eléctricas especiales en distribuidor Mendoza.

La inserción del AA ON/OFF en el escenario de invierno (uso en modo calor) presenta importantes incrementos en la cargabilidad del distribuidor por largos períodos de tiempo. En contraste con el escenario de verano, la influencia del termotanque en la red es superior en amplitud y extensión de funcionamiento, debido a que la temperatura del agua de entrada en el escenario de invierno es notablemente inferior con respecto al verano, incrementándose los tiempos de funcionamiento en los horarios de picos de potencia matutino y nocturno. Estos cambios en la operación generan que los equipos de los distintos usuarios se superpongan durante un tiempo mayor, dando como resultados picos con crestas superiores.

En la Figura 18 se representan las características técnicas en ambos escenarios, donde se destaca que en ellos hay dos distribuidores que poseen una cargabilidad superior al 50% admitido por los mismos, como regla general para tomar acción correctiva y evitar la disminución de la calidad del servicio y producto técnico de la red.

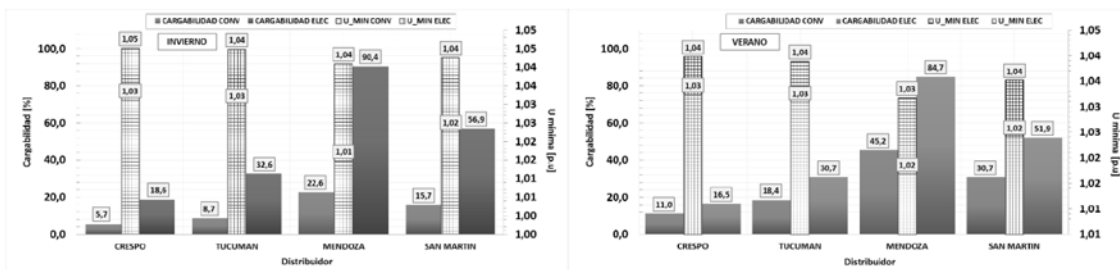


Figura 18. Cargabilidad y tensión mínima admisible para URC y URE para ambos escenarios.

En la Figura 19 se presentan los factores de carga (FC) para ambos escenarios y en la Figura 20 los factores de pico para URE. Se presentan aumentos en un rango que oscila entre 0% a 26%, tanto en el escenario de invierno como en el de verano con respecto a los FC para URC, siendo el

que presenta los mejores indicadores de FC y FP el distribuidor Crespo con un mayor aprovechamiento y una menor contribución a la corriente de pico del distribuidor en el escenario de verano, ver Figura 20. Asimismo, se observa un importante incremento de la potencia media del orden del 77% en cada distribuidor respecto a su potencia media base, en el escenario de invierno, y del orden del 46% en verano. Se advierte que el distribuidor Mendoza presenta los niveles más elevados de FP, lo que representa incrementos de la demanda de pico en un 400%, seguido por el distribuidor Tucumán con un aumento del 370% y los dos restantes con valores superiores al 300% en el escenario de invierno, mientras que en el escenario de verano los efectos son significativamente menores, siendo el de mayor aporte al pico del sistema el producido en el distribuidor Mendoza, 86% respecto a la máxima potencia para escenarios con URC.

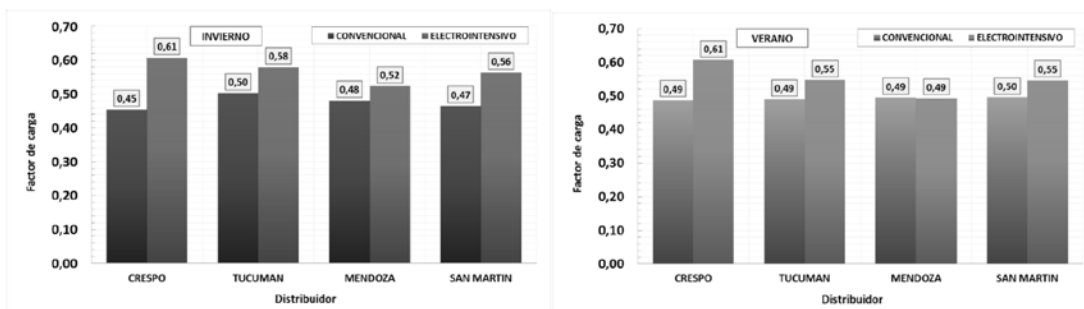


Figura 19. Factores de carga para URC vs URE para ambos escenarios de demanda

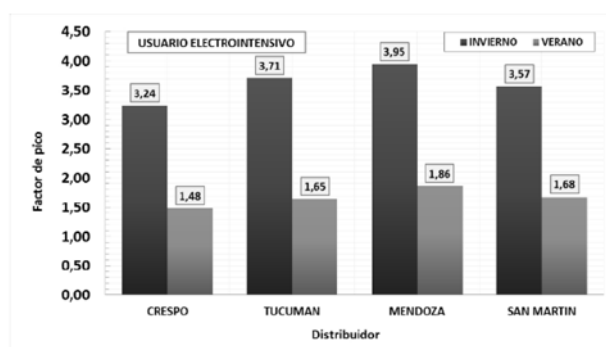


Figura 20. Factores de pico resultantes de la conversión de URC a URE.

## CONCLUSIONES

De los resultados de los estudios de sensibilidad ante la conversión de los URC a URE, se puede inferir en que, la inserción conjunta de las cargas especiales presenta un aumento considerable en la potencia media operada por la red, siendo el escenario de invierno el más crítico. En ambos escenarios se alcanzan niveles de sobrecargas en dos de los distribuidores, requiriéndose nuevas configuraciones de red, a fin de transferir demanda a los distribuidores adyacentes, y en caso de no ser posible, considerar nuevas obras de distribución que permitan incrementar la capacidad remanente del sistema a los fines de lograr el abastecimiento de la demanda adicional correspondiente a cargas eléctricas especiales que sustituyen equipos gasodomésticos.

En lo referente a indicadores de desempeño de operación de la red, tales como el FC y FP, es

dable destacar que la inserción de cargas eléctricas especiales implica, en parte, una desmejora del sistema de distribución; presentando por un lado, en términos energéticos, un aumento del porcentaje de aprovechamiento de las instalaciones en ambos escenarios, dado que los FC son ligeramente superiores al que poseían los URC, debido al impacto de forma significativa en horarios donde antes no había tanta influencia de los electrodomésticos. Sin embargo, el FP se incrementó en valores superiores al 350%, llegando a valores máximos de 400% en invierno y del orden del 86% en verano, lo cual deja entrever que la mejora del FC implica que la potencia media creciera de forma proporcional al crecimiento de las demandas máximas del sistema, con lo cual, el notable incremento de las potencias máximas de operación de los distribuidores superan al beneficio del aprovechamiento de los mismos, ya que agotan prematuramente la capacidad remanente de la red y a su vez incrementan al límite térmico admisible los electroductos, dando como resultado incrementos notorios en las pérdidas de energía en la red.

Si bien es posible la conversión de URC a URE, dependiendo de la situación socio económica de cada usuario, es de destacar que sin la implementación correcta de estrategias de gestión de la demanda tanto del lado usuario como de la red de distribución, no es asequible este cambio debido a las restricciones impuestas por las condiciones actuales de operación de los distribuidores.

## REFERENCIAS

CARBAJAL AZCONDAA, (2017). Ingestas recomendadas de energía y nutrientes. Departamento de Nutrición, Facultad de Farmacia, Universidad Complutense de Madrid. España. Páginas 1-15.

Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico S.A. [CAMMESA]. (2011). Anexo 27: Reglamentación aplicable a la prestación adicional de la función técnica de transporte de energía eléctrica firme en el mercado eléctrico mayorista. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Páginas 1-12.

Ente Nacional Regulador de la Electricidad [ENRE], (2019). "Consumo indicativo de algunos artefactos eléctricos". Argentina. Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/energia/ahorro-y-eficiencia-energetica/archivo/informacion-tecnica-de-interes/consumos-promedio-por-artefacto-orden-alfabetico>. (Última fecha de acceso: 01/08/2019).

Información técnica de Vitrocerámicas, Bosch Electrodomésticos (2019) España. Disponible en: <https://www.bosch-home.es/catalogo-electrodomesticos/cocina/placas/vitroceramicas>. (Última fecha de acceso: 01/09/2019).

GARGALLO TATAY A, (2018). Medición y análisis del consumo energético de energía eléctrica en los receptores domésticos en condiciones reales de funcionamiento: Aplicación a una vivienda unifamiliar. Universidad Politécnica de Valencia. España. Páginas 1-100.

Manual del usuario Placa de Inducción 7400 W Bosch, Bosch Electrodomésticos (2019) España. Disponible en: <https://www.bosch-home.es/catalogo-electrodomesticos/cocina/placas/inducion>(Última fecha de acceso: 01/09/2019).

Mercado Eléctrico Mayorista (2002). Secretaría de Energía. Argentina  
Ministerio de Energía y Minería y Ministerio de Producción. Presidencia de la Nación. (2017). Resolución Conjunta 1-E/2017. Argentina.

Ministerio de Salud, Presidencia de la Nación, (2016). "Guías alimentarias para la población argentina". Buenos Aires, Argentina.

# 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

Fecha de Recepción: 30 de junio de 2020 • Fecha de Aceptación: 31 de agosto de 2020

**Ulises Manassero\*, Rodrigo Gras, Pablo Marelli, Diego López, Juan P. Fernández**

Centro de Investigación en Ingeniería Eléctrica y Sistemas Energéticos (CIESE), Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe, Lavaisse 610, CP 3000, Santa Fe, Provincia de Santa Fe, Argentina.

*\*Autor a quien la correspondencia debe ser dirigida  
Correo Electrónico: [ulisesmanassero@hotmail.com](mailto:ulisesmanassero@hotmail.com)*

## RESUMEN

El propósito que persigue este estudio, es evaluar la posibilidad de cambiar gasodomésticos por electrodomésticos en los hogares que tengan acceso a la red de gas natural, generando un stock excedente del recurso para utilizarlo en la generación de energía eléctrica, de manera de desplazar, dentro de lo técnicamente posible, la utilización de combustibles líquidos y sólidos.

El trabajo utiliza el software Visual Margo para elaborar los modelos de despacho hidrotérmico y obtener como resultados de las simulaciones los stocks de combustibles requeridos por el parque termoeléctrico, el precio monómico estacional y los niveles de potencia de reserva primaria.

Se define el usuario residencial electrointen-

sivo, a partir de la elaboración de los perfiles de carga de cada equipo eléctrico de uso final según los hábitos de consumo de los usuarios, diferenciando escenarios de invierno y de verano.

El estudio del comportamiento de la red ante la inclusión de demanda extra a partir de la conversión de usuarios residenciales comunes a electrointensivos, evidenció que es posible un escenario a nivel nacional con un 7% de hogares que cuenten únicamente con electricidad para su consumo energético.

**Palabras Claves:** Usuario, Electrointensivo, Gas Natural, Programación Estacional, Precio Monómico

## ABSTRACT

The purpose of this study is to evaluate the possibility of exchanging household appliances for household appliances that have access to the natural gas network, generating a surplus stock of the resource to be used in the generation of electrical energy, in order to displace, within as far as technically possible, the use of liquid and solid fuels.

The work uses the Visual Margo software to elaborate the hydrothermal dispatch models and obtain as a result of the simulations the fuel stocks required by the thermoelectric park, the seasonal monomic price and the primary reserve power levels.

The electro-intensive residential user is defi-

ned, based on the elaboration of the load profiles of each end-use electrical equipment according to the consumption habits of the users, differentiating winter and summer scenarios.

The study of the behavior of the network in the face of the inclusion of extra demand from the conversion of common residential users to electrointensive ones, showed that a national scenario is possible with 7% of households that only have electricity for their energy consumption.

**Key-words:** User, Electrointensive, Natural Gas, Seasonal Programming, Monomic Price

## INTRODUCCIÓN

Argentina posee una matriz energética primaria altamente dependiente de los hidrocarburos. Particularmente, en lo que respecta al mercado eléctrico, la generación térmica que emplea recursos fósiles es la predominante en el sector, abarcando en promedio el 64% de la producción. En este aspecto, las energías renovables no tuvieron un impacto significativo sino hasta mediados de 2018 y las fuentes nucleares e hidroeléctricas, quedaron de cierto modo “relegadas” en su desarrollo.

Ante la preponderancia de la generación térmica a partir de combustibles fósiles, es dable destacar que, dentro de este consumo de hidrocarburos, en Argentina, el Gas Natural (GN) fue el combustible que tomó la impronta, inclusive alcanzando un porcentaje de consumo mayor al 90%, desplazando fuertemente el uso de combustibles líquidos y sólidos (CNEA, 2018).

En Argentina, existen tres grandes grupos de consumo de GN: las centrales térmicas (CT) -las de mayor demanda-, seguidas por las industrias y el sector residencial. La demanda de GN por sector tiene una gran variación según la época del año (ver Figura 1), siendo una política a nivel nacional garantizar el suministro del usuario residencial, el cual aumenta su consumo notablemente para calefacción en los meses dónde las temperaturas son bajas y esto implica una restricción en el abastecimiento del recurso a las industrias y sobre todo a las CT.

Como consecuencia de estas políticas energéticas, el consumo de GN para uso de generación de energía eléctrica resulta muy variable a lo largo del año.

En síntesis, y a pesar de la gran inserción que tiene el GN en la matriz energética nacional, el volumen total disponible del recurso, es aún insuficiente para cubrir la demanda total del país. Como consecuencia, son afectados los sectores industriales y de generación termoeléctrica, principalmente en los meses del año donde las temperaturas son bajas, ya que las políticas energéticas nacionales están orientadas a brindar continuidad y “cantidad infinita” de suministro de GN a los usuarios residenciales que utilizan el recurso para calefacción, incrementando su consumo hasta seis veces respecto los meses de valle y forzando entonces a la utilización de otros hidrocarburos

para la generación de energía eléctrica, con características de menor eficiencia, mayor contaminación y costos superiores.

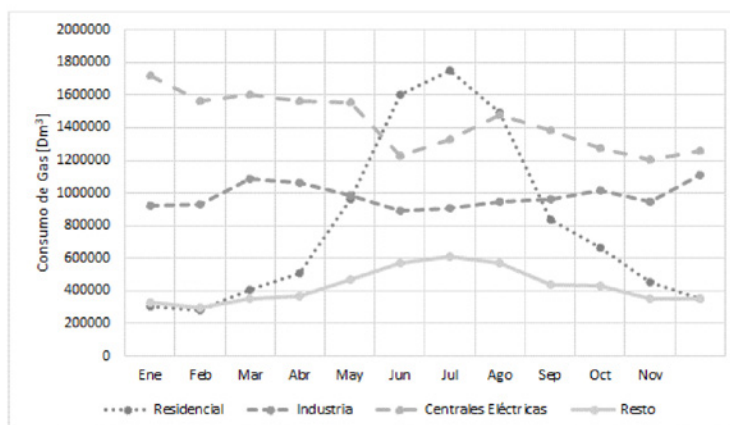


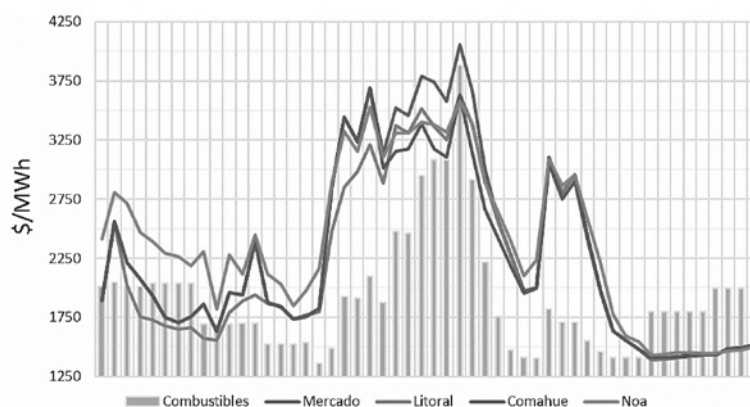
Figura 1. Consumo de GN por sector de demanda, año 2018.

El resto de hidrocarburos utilizados en las CT, tales como Diesel Oil (DO) y el Fuel Oil (FO), se encuentran con una participación bastante más reducida y puntual en el tiempo que depende de muchos factores, pero principalmente de la época del año, pues ofician como “combustibles de respaldo” para las CT en los períodos donde se les restringe el abastecimiento de GN.

Los datos sobre la evolución del consumo de hidrocarburos para la generación de energía eléctrica, demuestran que Argentina presenta un nivel de uso creciente del GN en detrimento del resto de los combustibles usados para este fin, comportamiento coincidente con las tendencias a nivel mundial respecto a la utilización de estos recursos (British Petroleum, 2019). Estas estrategias de reemplazo de combustibles sólidos y líquidos por gaseosos implementadas en el sector termoeléctrico, lograron un menor impacto ambiental fundamentado en la menor emisión de CO<sub>2</sub> (MINEM, 2018).

Por otro lado, los datos sobre el consumo de hidrocarburos en los últimos años están totalmente en línea con las proyecciones a futuro sobre el uso de estos recursos, donde el GN desempeñará un papel predominante frente al resto de los combustibles, principalmente por el aparente exceso de stock que estipulan los escenarios a futuros debido a la explotación del yacimiento “Vaca Muerta”, que permitiría multiplicar por diez las reservas de GN del país (Codeseira, 2013). Las estimaciones presentan un gran crecimiento en la producción de shale gas, que inclusive a largo plazo podría desplazar al convencional, que no solo permitiría terminar con las importaciones de GN, sino que también podría implicar la conversión de Argentina en un país exportador de GN a países limítrofes con grandes déficits de este recurso (Spaltro, 2019).

No obstante, el déficit actual del recurso gasífero y la necesidad de recurrir a combustibles alternativos, conlleva un aumento de las emisiones contaminantes, ya que los combustibles líquidos (FO y DO), generan mayor cantidad de residuos por unidad de combustible que el GN, por cuestiones propias de su composición y del estado en que son quemados. La otra consecuencia negativa es el elevado costo que tiene la unidad energética obtenida del FO y DO. En este aspecto, en la Figura 2, se muestran los costos monómicos de la energía en algunas de las regiones que integran la red eléctrica del país para el año 2019, donde se observa que la evolución del precio del MWh, guarda una íntima relación con los momentos en donde la generación utiliza “refuerzos” de combustible para suplir la demanda.



**Figura 2.** Costos monómicos de la energía según región y consumo de combustibles en la generación, año 2019.

Por otra parte, en lo que refiere a la distribución del consumo de energía eléctrica en Argentina, se observa un reparto bastante equilibrado entre los tres grandes sectores que componen la demanda: residencial, comercial e industrial; con un leve predominio del primero y que inclusive crece algunos puntos en los meses de más altas y más bajas temperaturas. Este incremento de la demanda residencial en los meses señalados, se debe a que son momentos particulares del año en donde los usuarios utilizan fuertemente y a gran escala, equipos de acondicionamiento térmico (aires acondicionado -A.A.- y/o calefactores) los cuáles en su mayoría, son de elevado consumo energético y con un nivel bajo de eficiencia energética. Recién en los últimos años comenzaron a utilizarse A.A. con clasificación de eficiencia energética clase “A” o mayor, o con tecnología inverter, en paralelo con las políticas de concientización sobre el ahorro de energía y educación sobre el uso eficiente del recurso, aunque las proyecciones estiman que estos “picos” de consumo posiblemente se acentúen cada vez más debido a la mayor inserción de estos tipos de electrodomésticos en los hogares.

En función a la situación actual de la matriz energética nacional, los enfoques modernos de readaptación de uso de los recursos energéticos presentan como proposición el desplazamiento del uso del GN en hogares, para mutar hacia una matriz de usuarios residenciales electrointensivos (URE).

El término “electrointensivo” se utiliza para denominar a cualquier usuario, residencia, comercio o industria, en el que la electricidad es una fuente energética de uso casi exclusivo frente al resto dentro del total de energía consumida. Para el caso al que se refiere este trabajo, se denomina usuario electrointensivo al usuario residencial que cuenta solamente con electrodomésticos que reemplazan las funciones de los gasodomésticos.

El empleo de electricidad como único recurso energético de consumo final en viviendas es una premisa que ya está vigente, en países más evolucionados. En este aspecto, se destacan casos de estudio como el de los países nórdicos (Nordic Energy, 2017), donde se evidencia la gran evolución de la generación renovable e inserción de la energía eléctrica en todos los niveles de consumo para desplazar el uso de hidrocarburos.

En el caso de Argentina, principalmente en Ciudad de Buenos Aires y Rosario, existen muchas construcciones electrointensivas, que fueron planificadas y construidas de esa manera, sin conexiones de GN y con la totalidad de dispositivos para calefaccionar, refrigerar, calentar agua y



cocinar, abastecidos por el suministro eléctrico, a las que se suman los inmuebles que adaptaron sus instalaciones, de manera voluntaria o forzada, al consumo electrointensivo (Fernández, 2015 y Maggi, 2018).

El empleo de electricidad en hogares por sobre la utilización de GN, en cuestiones relacionadas al acondicionamiento térmico, calefacción del agua y cocción de alimentos, presenta una serie de ventajas:

- Eliminación de los potenciales riesgos relacionados con el mal funcionamiento de cocinas, estufas y calefones. Estos artefactos a menudo pueden presentar pérdidas y/o mala combustión, lo que implica un gran peligro para la salud, ya sea tanto la fuga de GN como la presencia de monóxido de carbono (CO), compuesto generado por una combustión incompleta del GN, que pueden resultar mortales si se acumulan por encima de ciertos niveles dentro de un ambiente cerrado (Infobae, 2018).

- Eliminación de los riesgos de explosión por fugas en las instalaciones y equipos de GN.
- Reducción de las emisiones contaminantes a nivel de usuario residencial.

En función a la definición y caracterización de un URE, en este trabajo se propone evaluar 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 con URE. Al realizar dicho cambio, se pretende obtener un stock excedente de GN que permita abastecer a las CT y al sector industrial, presentando un panorama en donde ambos sectores dejen de estar sujetos a recortes de suministro.

## **DESARROLLO**

En una primera instancia, se analiza la programación estacional de la matriz de generación eléctrica actual de Argentina, a partir de la elaboración de un modelo de despacho hidrotérmico con una proyección a 4 años -denominado caso Base-, utilizando el software Visual Margo, desarrollado por la Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrica S. A. (CAMMESA).

Luego, se define y caracteriza el usuario residencial electrointensivo, para lo cual se seleccionan las potencias nominales de los electrodomésticos sustitutos de los gasomésticos (cocina de inducción, termotanque, horno y aire acondicionado con tecnología inverter) y se elaboran los perfiles de carga de cada equipo eléctrico de uso final según los hábitos de consumo de los usuarios, diferenciando escenarios de invierno y de verano.

Los perfiles de demanda de los usuarios electrointensivos se ingresan en el software Visual Margo, efectuando un análisis de sensibilidad para diferentes porcentajes de desplazamiento de usuarios convencionales hasta obtener un régimen de operación viable del SADI, que sea técnicamente operativo, donde la generación y los hidrocarburos sean suficientes para abastecer la demanda durante el período de estudio, las fallas del sistema sean bajas y el precio resulte beneficioso para el usuario final.

Finalmente, se realiza un análisis comparativo de los precios monómicos de generación de energía para escenario base y con desplazamiento del GN residencial.

### **Modelado del escenario Base y descripción de sus variables más relevantes**

Se denomina Escenario Base a la proyección de la matriz eléctrica nacional 2019-2023 obtenida con el software Visual Margo y simulada en función de parámetros provenientes de la base de

datos de la programación estacional correspondiente al mes de febrero de 2019, brindados por CAMMESA y disponibles en su sitio web (CAMMESA, 2020).

El software Visual Margo realiza las simulaciones en función de los datos sobre crónicas hidrológicas y climáticas correspondientes al período 1943-2018, por lo que el programa ofrece la posibilidad de visualizar 75 escenarios energéticos para el mismo caso. A su vez, los resultados que muestra el software se pueden visualizar de dos maneras:

- Curvas “Monótonas”: se muestran las 75 crónicas obtenidas para cada uno de los parámetros de la red que el software permite simular.

- Tableros de probabilidad de excedencia: se muestran diferentes escenarios de estudio, asignándole a cada uno de ellos una probabilidad de excedencia (PE). En este trabajo, se utiliza una PE=85%, ya que constituye un escenario conservador, con una probabilidad de ocurrencia significativa y para el cual el SADI tiene que estar preparado para operar.

Dentro de los resultados de las simulaciones obtenidos con el software para el Escenario Base, en la Figura 3 se muestran dos curvas de proyección con paso semanal de la demanda total del SADI durante el período 2019-2023. La curva inferior representa la “banda horaria 0”, que resulta del promedio de las 4 bandas horarias que componen el día (pico, semipico, resto y valle). Por otra parte, la curva superior corresponde al pico del sistema, denominada “banda horaria 1”, donde se observa un incremento en los picos anuales de demanda, desde el año de inicio al año final.

Este aumento del consumo de energía para los próximos años, también está contemplado en las proyecciones oficiales sobre los escenarios energéticos futuros (MINEM, 2017), que estiman un aumento del 3,4% anual acumulado. Dentro de estas estimaciones, el mayor crecimiento del consumo estaría ubicado en el sector residencial, con un aumento del 4,5% interanual, dejando atrás a los usuarios comerciales e industriales con un crecimiento del 3,1%.

Con respecto a la generación, en la Figura 4 se muestran las proyecciones de producción de energía eléctrica para el período 2019-2023, con el detalle de la participación de cada una de las fuentes. Se evidencia un importante crecimiento de las fuentes renovables, en contraposición con un marcado descenso de las CT.

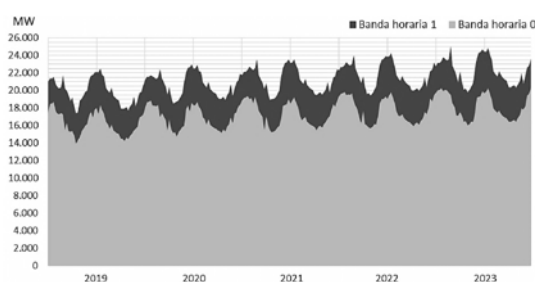


Figura 3. Proyección de la demanda del SADI, período 2019-2023.

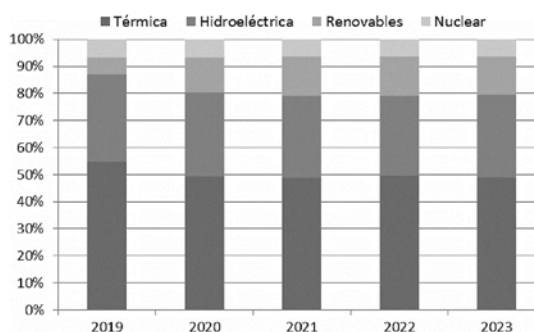
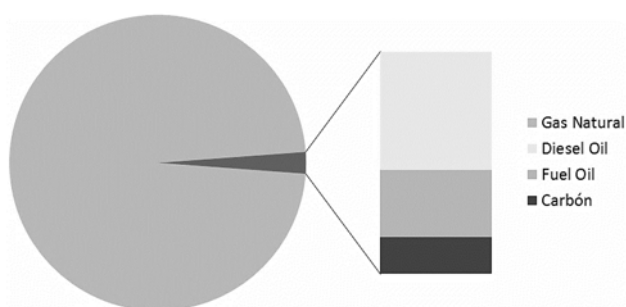


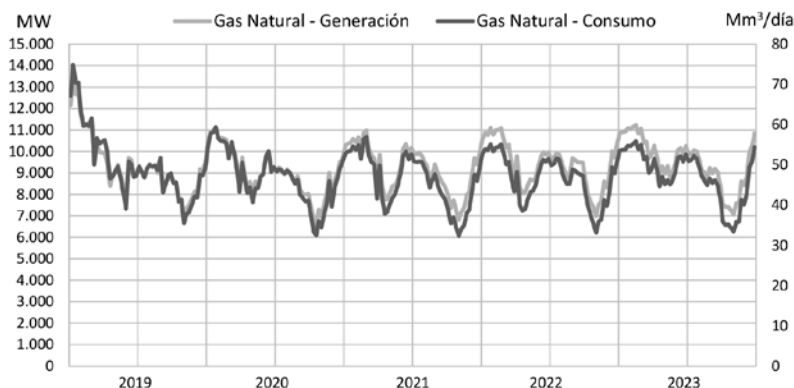
Figura 4. Proyección de la participación de generación de energía eléctrica según el tipo de fuente para el período 2019-2023.

La Figura 5 muestra la participación casi exclusiva del GN en las proyecciones sobre la generación termoeléctrica con combustibles fósiles para el período 2019-2023, donde el acumulado de la energía obtenida a partir de otros combustibles fósiles solo representa el 2,4% de la oferta total del período.

Al ser el hidrocarburo con mayor presencia en la matriz de generación, el GN se consolida como la fuente energética por excelencia en el país y su participación posee la particularidad de que el volumen de consumo anual, va a ser medianamente constante durante el período de estudio, pero con la particularidad de que la energía obtenida por unidad de combustible, tendrá un leve crecimiento año a año (ver Figura 6). Esto es consecuencia de las obras de ampliación de generación térmica en casi 2000 [MW] que prevén el cierre de ciclos combinados en distintas centrales del país (actualmente operativas con turbinas de gas a ciclo abierto), lo que contribuiría a mejorar su eficiencia (MINEM, 2017).



**Figura 5.** Participación total de los hidrocarburos en la generación térmica, período 2019-2023.



**Figura 6.** Proyección de la generación y consumo de GN, período 2019-2023.

En lo que refiere a la generación renovable, las proyecciones de Argentina a 2030 muestran que el objetivo para ese año, es que el 25% de la generación eléctrica a nivel nacional provenga de fuentes renovables. Esto se enmarca en el contexto del programa de energías renovables 2016-2025, “Plan RenovAr”, que lleva adjudicados 147 proyectos con un total de 4467 [MW] a instalar a nivel nacional (MINEM, 2020).

En este aspecto, la energía eólica y solar fotovoltaica representan las fuentes de mayor crecimiento e impacto en la matriz nacional. La Figura 7 muestra los resultados obtenidos de las simulaciones de proyección 2019-2023 para la generación eólica y solar, en donde se evidencia el gran crecimiento de estas dos fuentes a corto plazo. Para el año 2023, el 14% de la generación de energía eléctrica a nivel nacional, se estima obtenerla a partir de generación eólica y solar.

A grandes rasgos, el despacho óptimo de carga se realiza no sólo considerando los costos de operación de las máquinas, sino también las pérdidas marginales del transporte, ponderadas a partir de afectar al precio de mercado por un Factor de Nodo (FN). Este parámetro representa la variación (positiva o negativa) de las pérdidas atribuibles a un incremento de demanda en un nodo determinado. Como punto de comparación, y para la simplificación del estudio, se evalúa el CMO pertinente al “Nodo Mercado”, correspondiente con el centro de carga del sistema y cuyo FN es unitario.

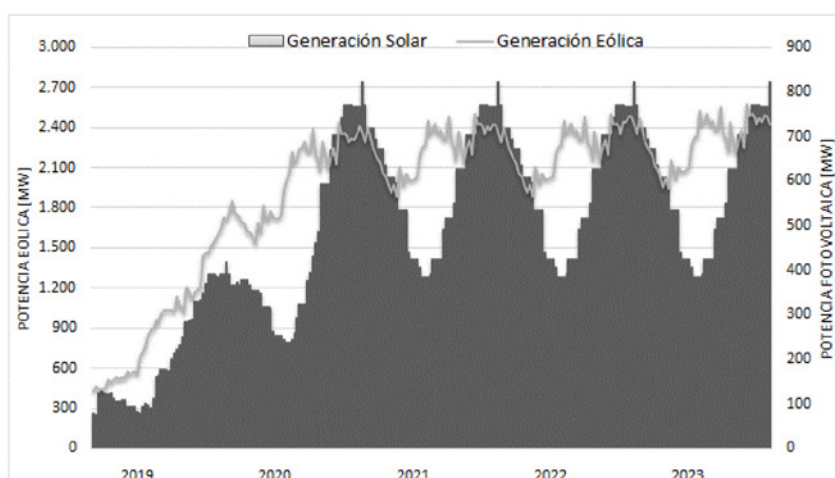


Figura 7. Proyección de la generación eólica y solar, período 2019-2023.

Las estimaciones del valor del CMO del período 2019-2023 (ver Figura 8) señalan una baja en el valor global del CMO, relacionada en gran parte con el ingreso en servicio de nueva generación térmica, con tecnología de mayor eficiencia que permitiría dejar de operar las CT más ineficientes, principalmente las obsoletas turbinas de vapor. Los picos del CMO coinciden con los momentos de mayor uso de DO y FO.

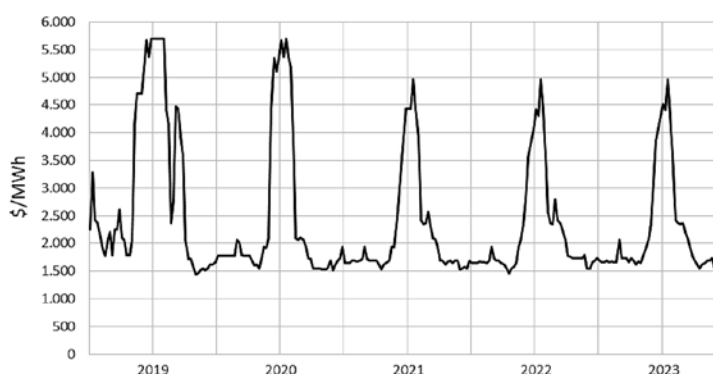


Figura 8. Proyección del costo monómico de operación, período 2019-2023.

## Definición y cálculo de los indicadores de programación del despacho

Existen dos parámetros que son indicadores fundamentales en una evaluación sobre la viabilidad de la operación del sistema eléctrico nacional ante un cierto escenario propuesto: Fallas y Reserva de Potencia.

Respecto a las Fallas, es la denominación que CAMMESA otorga a la demanda no abastecida del SADI, por causas diversas tales como falta de máquinas disponibles en el parque o por limitaciones de generación y/o suministro en la región dónde se ubica la falla o entre regiones eléctricamente vinculadas. Las simulaciones del período 2019-2023, demuestran que aún en un escenario pico con excedencia 85% no se estiman fallas para el período de estudio.

El otro parámetro fundamental para evaluar la operatividad del sistema, son las reservas del sistema. CAMMESA estipula en sus procedimientos (CAMMESA, 2011) un régimen de reservas térmicas del 7,2% de la potencia despachada del sistema para que, en caso de una contingencia en cualquier punto del sistema, estén listas para entrar en servicio de forma rápida.

El análisis de los resultados de las simulaciones del escenario base muestran que el parque generador cuenta con un valor holgado de potencia térmica disponible (ver Tabla 1). Los elevados valores de reservas, se deben principalmente a que en los próximos años se estima que el sector térmico tenga una menor participación en la generación eléctrica, a partir del aumento de potencia instalada de generación renovable, dejando muchas máquinas del sector aptas para actuar como reservas operativas.

Tabla 1. Reservas operativas del SADI para banda horaria 1, período 2019-2022.

Año	Reserva de Potencia [%]												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media
2019	27,61	36,18	33,50	39,83	42,37	39,93	38,13	42,68	33,22	46,77	57,66	51,15	<b>39,09</b>
2020	40,34	40,51	37,65	42,65	45,46	36,58	37,29	44,77	40,64	49,6	49,64	42,83	<b>40,81</b>
2021	48,06	42,87	43,28	51,2	51,13	41,44	40,74	46,99	42,05	53,85	58,80	48,99	<b>45,28</b>
2022	47,08	43,37	45,47	53,24	51,13	41,33	38,10	46,54	40,15	52,90	53,75	47,79	<b>45,19</b>

## Concepto del Usuario Electrointensivo y confección de su perfil de carga

El URE propuesto implica el reemplazo de cuatro equipos de uso residencial que funcionan con GN por otros equivalentes que tengan la misma finalidad, pero que sean alimentados por electricidad.

Los electrodomésticos que se utilizan en este estudio, se muestran en la Tabla 2 y sus valores de consumo fueron extraídos de los datos oficiales del Ministerio de Desarrollo Productivo de la Nación (MDP, 2020).

Tabla 2. Electrodomésticos seleccionados para cada usuario electrointensivo.

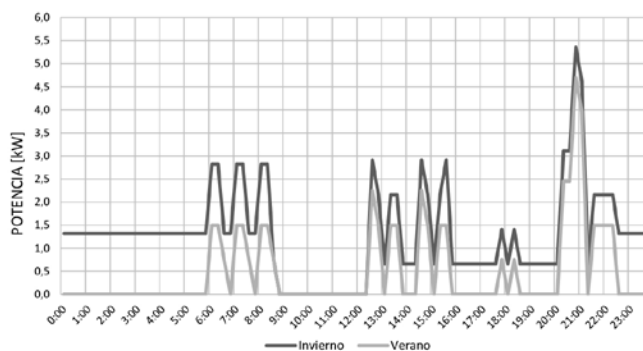
Electrodoméstico	Gasodoméstico que reemplaza	Potencia unitaria [W]	Unidades por usuario
A.A. frío/calor inverter	Estufa	878	2
Placa de inducción (hornalla de 120 mm)	Cocina	750	1
Placa de inducción (hornalla de 175 mm)	Cocina	1500	1
Horno eléctrico	Horno	2450	1
Termotanque	Calefón	1500	1

Para determinar la demanda de URE que se sumaría a la demanda base del SADI durante el período de estudio, es necesario determinar el comportamiento y cantidad de usuarios que se verían afectados por esta medida. En primera instancia, se definieron tres tipos de usuarios con un patrón de comportamiento particular, para los cuales se establecieron franjas horarias de trabajo (ver Tabla 3).

En la confección de los perfiles de cargas, el uso de los A.A., solo fue contemplado para momentos del año en donde las temperaturas son bajas, debido a que el A.A. reemplaza las estufas a gas. Por el contrario, en escenarios de altas temperaturas el empleo de A.A. para refrigeración ya se encuentra incluido en la demanda del escenario energético Base. Con ello, se definieron los dos tipos de perfiles de carga utilizados en el estudio: “Perfil Invierno” y “Perfil Verano”, conformados por la sumatoria de los perfiles individuales de cada uno de los electrodomésticos (ver Figura 9).

**Tabla 3.** Período de tiempo fuera del hogar de UE según sus horarios laborales.

Usuario	Horarios de trabajo
Comercial	8 a 12 hs y 16 a 20 hs
Público	7 a 14 hs
Corrido	9 a 17 hs



**Figura 9.** Perfiles de carga de URE.

Para el período de estudio 2019-2023, la proyección de cantidad de hogares e inserción del GN en los mismos, se realizó en función a los datos relevados por organismos oficiales (INDEC, 2010 y MINEN, 2017). Los resultados se presentan en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Proyección de hogares con GN, período 2019-2030.

Año	Millones de hogares	% de Penetración del GN	Millones de hogares con GN
2019	14,39	0,669	9,63
2020	14,66	0,676	9,90
2021	14,92	0,682	10,18
2022	15,19	0,689	10,46
2023	15,45	0,695	10,74

Luego, la potencia simultánea que cada URE aportaría individualmente a la demanda residencial que ingresaría al sistema se obtuvo a partir de la afectación de la potencia nominal de cada electrodoméstico por un factor de simultaneidad (Fs) determinado según experiencias de mediciones de campo efectuadas por la Empresa Distribuidora EDENOR S.A.(EDENOR, 2015). La Tabla 5

muestra las potencias unitarias de cada electrodoméstico del URE, totalizando una potencia adicional del mismo de 2,59 [kW] para escenario de invierno y de 1,8 [kW] para escenario de verano.

Tabla 5. Potencia adicional por hogar según perfil.

Equipo	Potencia Total por Tipo de Equipo [kW]	F <sub>s</sub>	Potencia Total Simultánea Adicional por Equipo [kW]
A. A.	14,66	0,676	9,90
Cocina	1,32	0,60	0,79
Termotanque	2,25	0,23	0,52
Horno	1,50	0,48	0,72

### Estimación de los volúmenes de GN disponibles para el uso en el SADI con la inserción de URE

La determinación del stock inicial de GN, necesario para garantizar un cierto abastecimiento del parque térmico de generación, se realiza a partir de los datos del año 2018, que constituye un período de pico máximo histórico de consumo de las CT, en contraste con el consumo residencial que fue el menor registrado en los últimos siete años. Se adopta entonces un escenario “desfavorable” para el estudio propuesto, retirando un volumen determinado de GN del sector de consumo residencial, y utilizando el mismo en el sector de generación termoeléctrica.

En primera instancia, se determina el stock Base del estudio, que es el volumen máximo de GN disponible para el sector termoeléctrico durante el año 2019. Este parámetro resulta de la suma de los consumos de los sectores residenciales y de generación durante el año 2018. Como la intención es desplazar el uso de hidrocarburos líquidos y sólidos de la matriz de generación, se estudia la posibilidad de garantizarle a las CT la provisión de un volumen mensual mínimo de GN, (cuyo valor se establece en función del consumo máximo registrado durante el año 2018) para asegurar que, el stock disponible sea suficiente como para minimizar el consumo de DO y FO en el sector termoeléctrico.

En la Tabla 6 se detalla el análisis sobre la obtención del stock BASE, destacándose que para el año 2019, aún si se garantiza un abastecimiento mensual y sostenido durante todo el año de un volumen de GN equivalente al 116,4% del mayor consumo de 2018, existiría aún un stock remanente del recurso disponible para el uso que se crea conveniente. Esta primera aproximación muestra que el total de GN disponible en Argentina, contemplando producción nacional e importaciones, es suficiente como para satisfacer grandes exigencias provenientes del sector termoeléctrico y potencialmente afrontar un escenario electrointensivo, en el cuál la generación térmica será la principal aportante de energía eléctrica a estos nuevos usuarios.

A partir de la verificación de la capacidad de suministro sostenido de GN a las CT para un año calendario, se realiza la distribución en cuotas semanales con volúmenes acordes a los consumos históricos de las CT (ver Figura 10). Cabe destacar que estos valores refieren a volúmenes garantizados para el consumo en CT durante el primer año del período de estudio, es decir, que la cantidad de GN especificada va a estar disponible para la generación térmica, lo que no significa que necesariamente vaya a ser el consumo real, el cuál puede variar según la demanda electrointensiva a incorporar.

Para determinar la disponibilidad del recurso para el resto del período de estudio, se consideró que la producción de GN aumentaría un 3,5% anual acumulado durante estos 4 años, entre la ex-

plotación de pozos convencionales y no convencionales, según lo establecido en las proyecciones del Ministerio de Energía y Minería (MINEM, 2017).

Tabla 6. Consumos del período 2018 y volumen de GN garantizado para el 2019.

Consumo de GN – Año 2018				Stock BASE – Año 2019		Stock BASE – Garantizado - Año 2019	
Residencial		Centrales Eléctricas		Centrales Eléctricas		Centrales Eléctricas	
MMm <sup>3</sup> /día	Total [MMm <sup>3</sup> ]	MMm <sup>3</sup> /día	Total [MMm <sup>3</sup> ]	MMm <sup>3</sup> /día	Total [MMm <sup>3</sup> ]	MMm <sup>3</sup> /día	Total [MMm <sup>3</sup> ]
26,21	9.568	47,09	17.189	73,61	26.757	64,52	24.000

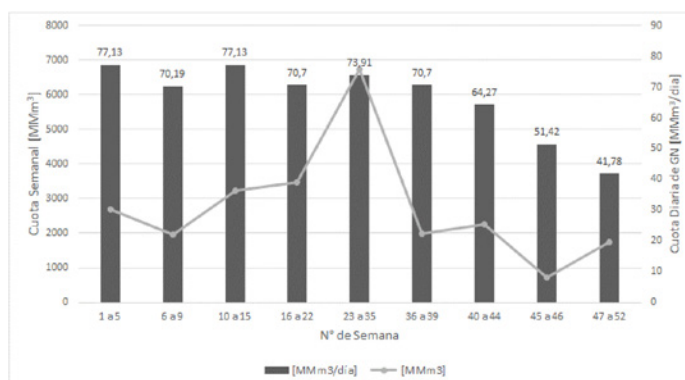


Figura 10. Volumen garantizado de GN a las CT para el escenario electrointensivo, año 2019.

## RESULTADOS

### Análisis de sensibilidad del impacto de URE en la programación estacional del SADI

En función de los perfiles definidos de verano e invierno de URE, se realizaron distintas simulaciones con el software Visual Margo en las cuales se incorporaron ciertos porcentajes de las potencias correspondientes a cada perfil, evaluando la variación del CMO, las reservas operativas y las fallas del SADI en comparación con el escenario Base.

En el estudio del impacto de la demanda de potencia a incorporar al sistema, se relaciona la misma con el perfil de carga utilizado, ya que la conducta de los usuarios residenciales y la redistribución de los recursos energéticos entre los sectores, varían en función de la época del año, siendo la temperatura el factor fundamental que rige esta dinámica. Por esta razón, el perfil de carga de “Invierno” se aplica en el período que va desde la semana 18 hasta la 37, mientras que el perfil “Verano”, aplica para el resto del año (semanas 1 a 17 y 38 a 52).

A los fines de realizar un análisis de sensibilidad de inserción de URE y evaluar su impacto en la programación estacional del SADI, se definieron cuatro casos de diferentes niveles de consumo de cargas electrointensivas. Cada Caso se corresponde con un porcentaje determinado de inserción de URE asignada a cada perfil de carga:

- Caso 1: 100% de URE
- Caso 2: 20% de URE
- Caso 3: 10% de URE
- Caso 4: 7% de URE



La Figura 11 muestra la comparación de la demanda proyectada para el período 2019-2023 de los cuatro casos electrointensivos propuestos y el escenario Base y la Figura 12 muestra las proyecciones de las fallas correspondientes a cada uno de los escenarios simulados, donde se observa que solo los Casos 3 y 4 resultan viables.

Por otra parte, las proyecciones de los CMO para los casos propuestos (ver Figura 13) permiten inferir que los Casos 1 y 2, presentan valores muy por encima del Caso Base, quedando descartados.

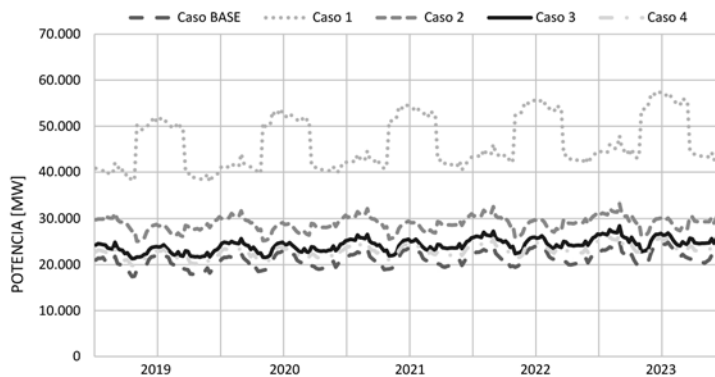


Figura 11. Proyecciones de la demanda para los escenarios electrointensivos propuestos.

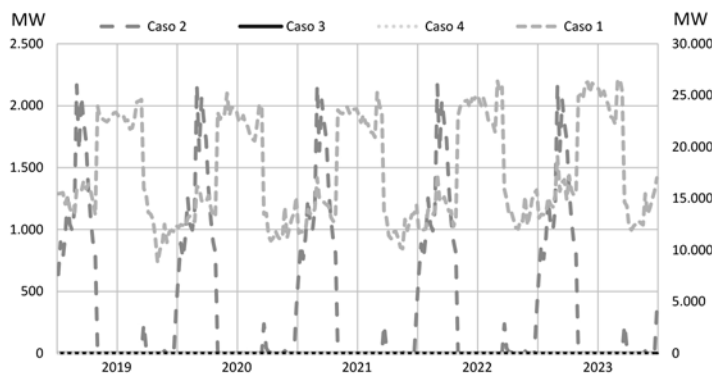


Figura 12. Proyecciones de las fallas para los escenarios electrointensivos propuestos.

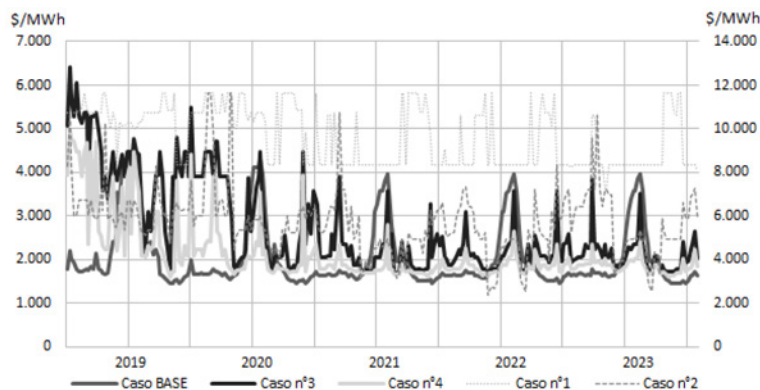


Figura13. Proyecciones del CMO para diferentes escenarios electrointensivos.

Por último, en la Tabla 7 se resumen los CMO medios de cada caso, destacándose que, de los dos escenarios técnicamente viables, el Caso 3 presenta un CMO medio de operación antieconómico respecto del caso Base, por lo cual se descarta el mismo.

En síntesis, del análisis de sensibilidad se infiere que solo el Caso 4 cumple con los requisitos de programación estacional del SADI, ya que al igual que el caso Base, no presenta fallas durante su funcionamiento e inclusive, su operación resulta casi tan económica como este último, derivando entonces en un precio final que potencialmente y según se opere el sistema, podría resultar más beneficioso para los usuarios de la red eléctrica.

Tabla 7. Comparación de CMO para los escenarios electrointensivos propuestos.

Año	CMO [\$/MWh] – Valor medio anual				
	CasoBASE	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4
2019	2169,6	9972,2	5996,1	3571,1	2682,0
2020	1914,7	9792,9	5661,5	2761,1	2095,1
2021	1868,6	8854,0	4869,2	2090,4	1809,2
2022	1879,4	8775,1	4920,5	2119,7	1860,4
2023	1884,0	8643,9	5164,1	2089,9	1846,7
<b>Total</b>	<b>9716,3</b>	<b>46038,1</b>	<b>26611,4</b>	<b>12632,2</b>	<b>10293,4</b>
<b>Caso URE/ Base [pu]</b>	<b>1,00</b>	<b>4,74</b>	<b>2,74</b>	<b>1,30</b>	<b>1,06</b>

### Escenario de demanda con URE admisible y reajuste de cupos de GN

En función de la curva correspondiente de CMO para el Caso 4 (ver Figura 13), se observa que durante los primeros meses del año 2019 y hasta mediados del año 2021, existen picos en ciertos momentos del año que no se advierten para el Caso Base. Estos aumentos del CMO se deben a la necesidad del sector de generación de recurrir al uso de hidrocarburos líquidos por agotamiento del cupo de GN programado para esas semanas del año. Por estos motivos, como ajustes finales del modelo URE en la programación estacional del SADI, se realiza una redistribución de los cupos de GN programados semanalmente con el objeto de evitar y/o reducir esas fluctuaciones indeseadas (ver Figura 14).

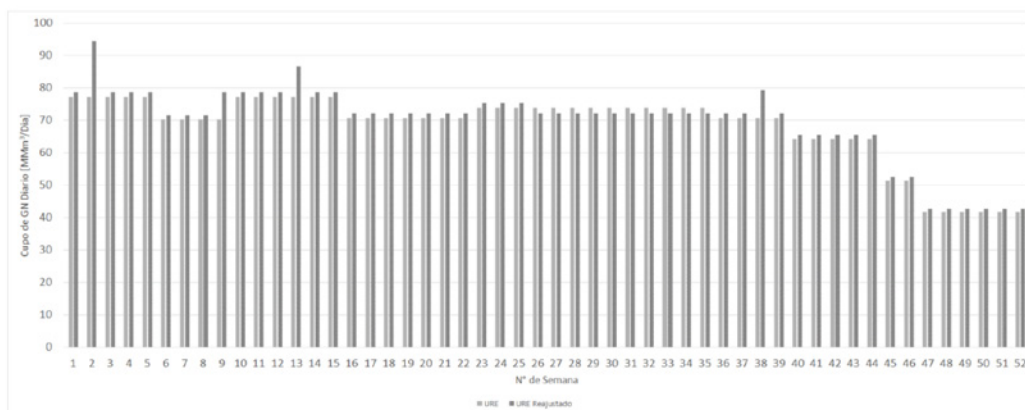


Figura 14. Comparación de cupos de GN diarios programados para caso URE y caso URE ajustado, año 2019.

## Impacto del nivel de URE admisible en las principales variables de la programación estacional del SADI

En comparación con el Caso Base, las curvas de carga estimada del SADI para el escenario electrointensivo presentan un crecimiento de la demanda generado por el reemplazo parcial de los gasodomésticos por electrodomésticos en el sector residencial (ver Figura 15).

Respecto a la generación de energía eléctrica por tipo de fuente, los resultados de simulación de la programación estacional del SADI obtenida destacan el predominio de la generación térmica por encima del resto de las fuentes, aumentando su participación promedio, en al menos un 5% respecto al Caso Base (ver Figura 16).

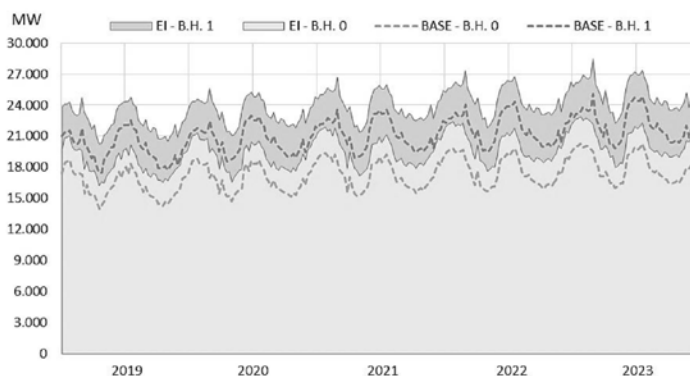


Figura 15. Proyección de la demanda del SADI para Caso 4 y Caso Base.

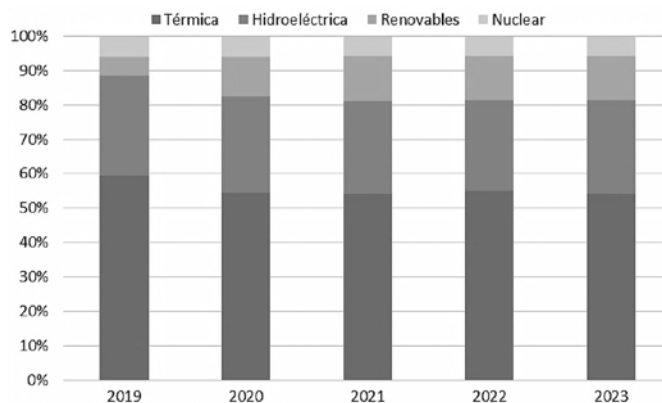


Figura 16. Proyección de la generación de energía eléctrica según fuente para Caso 4.

Para el período de estudio, las fuentes renovables serán las únicas tecnologías cuya participación aumentaría significativamente en el aporte energético al sistema eléctrico a partir del año 2020, cuando entren en vigencia la gran mayoría de los proyectos adjudicados. No obstante, su aporte -en términos porcentuales-, en el caso del escenario electrointensivo, será menor en comparación al caso Base (ver Figura 17). Los datos reflejan que la generación térmica con combustibles fósiles se consolida nuevamente como la fuente primordial de obtención de energía eléctrica en el escenario electrointensivo, inclusive aumentando su participación respecto del Caso Base, cuestión que a priori puede parecer negativa, pero que en realidad se debe al fuerte desplazamiento

to en el uso de DOy FO debido al nuevo stock de GN disponible.

La Figura 18 muestra la participación casi exclusiva del GN en las proyecciones sobre la generación termoeléctrica con combustibles fósiles para el período 2019-2023, en donde el acumulado de la energía obtenida a partir del DO, FO y carbón, solo representa el 0,75% de la oferta energética total del sector.

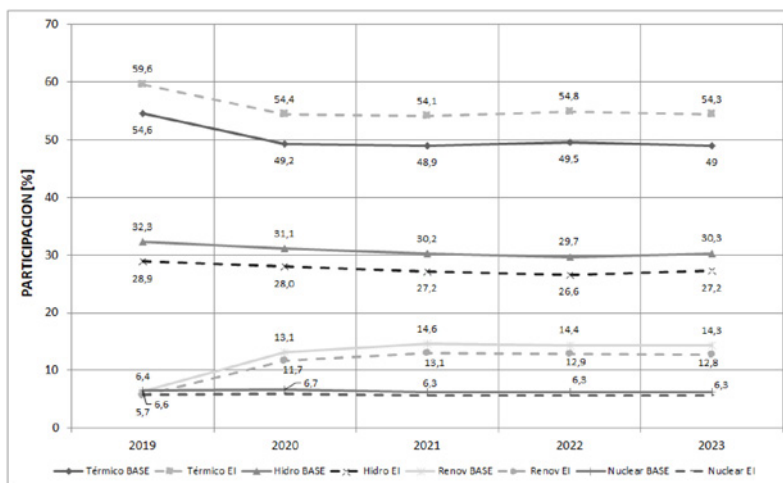


Figura 17. Proyecciones de participación de generación de energía eléctrica por tipo de fuente para Casos Base y 4 (URE).

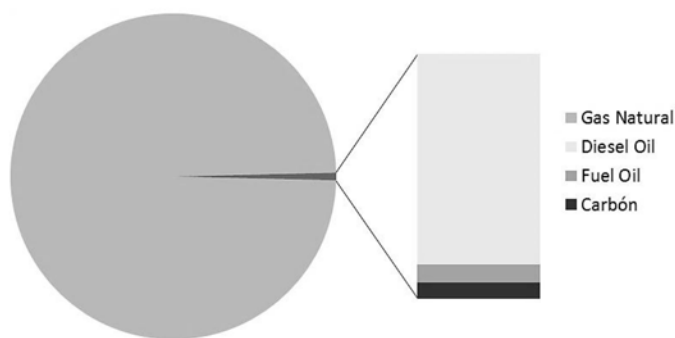


Figura 18. Participación total de los hidrocarburos en la generación térmica, para Caso 4 URE. Período 2019-2023.

Respecto del caso Base, en el escenario electrointensivo la participación del GN en la generación de energía a nivel país aumentaría casi un 6% durante el período 2019-2023, consumiéndose en promedio un 26,7% más GN (ver Figura 19).

Las proyecciones muestran que el total de GN utilizado en el sector termoeléctrico resulta menor que el stock garantizado en la Tabla 6, lo que denota el hecho de que las centrales generadoras van a poder contar con un volumen del recurso mayor al requerido por el sector para suministrar gran parte de la demanda energética extra introducida en el escenario electrointensivo.

Se evidencia entonces la adecuada capacidad técnica que posee la generación térmica para afrontar el cambio energético propuesto, siempre y cuando se cumplan las estimaciones sobre el correcto desarrollo de la matriz energética nacional y la disponibilidad del volumen necesario del recurso.

Para el caso electrointensivo, el uso del DO disminuye en un 30,3% respecto de la proyección para el Caso Base. En lo que respecta al FO, en el caso electrointensivo, el uso de este combustible se reduce un 90,8% respecto de las estimaciones del Caso Base.

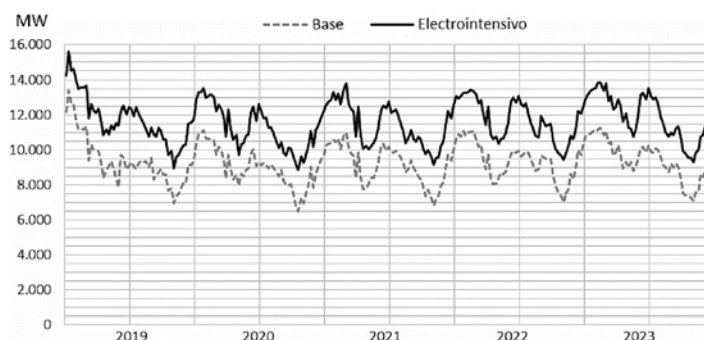


Figura 19. Proyecciones de generación a partir de GN para los Casos Base y 4 (URE)

Con respecto a las emisiones de CO<sub>2</sub>, el escenario de URE implica un descenso de las emisiones provenientes de IDO y FO, mientras que ocurre lo contrario para el GN, cuyo consumo aumenta, y con ello los niveles de emisión de CO<sub>2</sub> que derivan de su utilización. El problema recae en el hecho de que los volúmenes de combustibles líquidos y sólidos consumidos en el escenario Base son muy pequeños en comparación con los del GN. Como resultado final, las emisiones de CO<sub>2</sub> para el escenario electrointensivo, serán mayores que las estimadas para el escenario Base (ver Figura 20). Si bien con el cambio propuesto el resultado es una matriz de generación más contaminante, según las estimaciones oficiales, se debe considerar que una determinada cantidad de hogares a nivel nacional dejaría de consumir GN, con lo cual las emisiones procedentes del sector residencial disminuirían. Esto implica que sería necesario realizar un estudio más minucioso sobre el consumo de GN a nivel residencial para el escenario electrointensivo, cuestión no incluida en el alcance de este estudio.

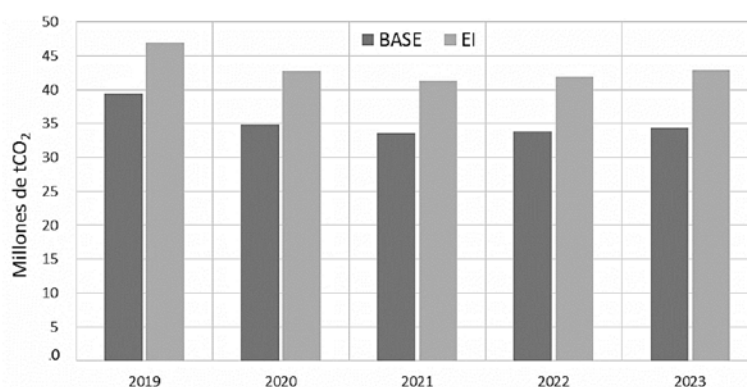


Figura 20. Proyecciones de los volúmenes de emisión de CO<sub>2</sub> para casos Base y 4 URE

Las proyecciones del CMO durante el período 2019-2023, para escenarios de pico de ambos casos de estudio (ver figura 21), permiten inferir que al disminuir fuertemente la utilización de combustibles líquidos y redistribuir los cupos de GN en el sector de generación, se eliminan los picos que el CMO adquiriría durante los meses de invierno, y aunque para el escenario electrointensivo

este valor sea más alto durante gran parte del año en comparación con el caso Base; el análisis global del CMO resulta un 3,8% más económico que el caso Base, mostrando finalmente la viabilidad económica del estudio.

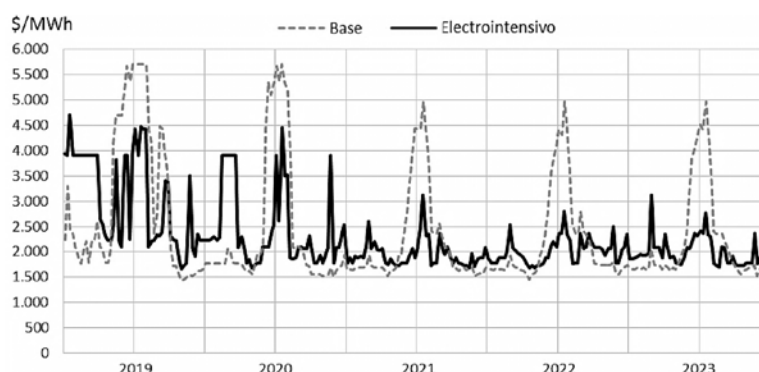


Figura 21. Comparación del CMO para Caso Base y 4 URE ajustado.

Finalmente, al igual que en el caso Base, los resultados de las simulaciones del Caso 4 de URE ajustado presenta una reserva de potencia térmica disponible mucho mayor al 7,2% exigido por CAMMESA (ver Figura 22) y no se presentan fallas durante la operación del sistema. Por lo tanto, puede afirmarse que los sectores de generación y transporte de energía a nivel nacional, están correctamente preparados para abastecer la demanda proyectada para el escenario electrointensivo propuesto.

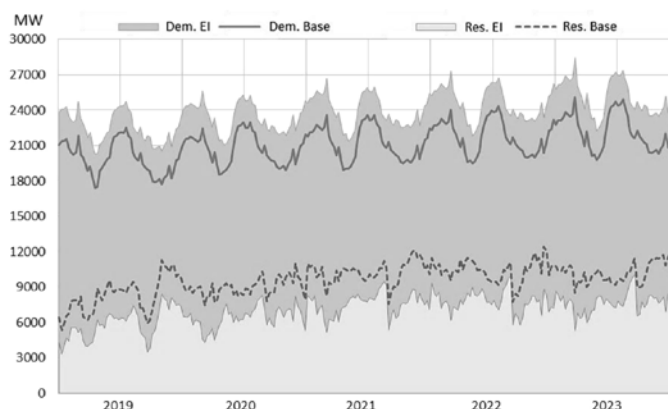


Figura 22. Proyecciones de demanda y reservas de potencia térmica para los escenarios Base y Electrointensivo.

## DISCUSIÓN

El análisis de stock de GN presentado, evidencia el hecho de que es posible plantear un hipotético cambio en el paradigma del consumo de energía a nivel nacional, en donde el GN sea el recurso principal por excelencia para el abastecimiento de energía eléctrica para los URE, demostrado que el stock de GN disponible podría utilizarse para generar electricidad y suministrar la energía eléctrica adicional correspondiente a una demanda mucho mayor de la que hoy abastece.

El análisis de sensibilidad de inserción de demanda adicional electrointensiva a partir de la con-

versión de usuarios residenciales comunes a electrointensivos, evidencia que es posible establecer una programación estacional del SADI en el cual existan hogares que cuenten únicamente con electricidad para su consumo energético. Por esta razón, se realiza 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 sean suficientes para abastecer la demanda durante el período de estudio, las fallas del sistema sean bajas y el precio resulte beneficioso para el usuario final.

El escenario electrointensivo que cumple con las condiciones presenta la conversión de un 7% de los usuarios residenciales convencionales a URE.

Con el ingreso del porcentaje de URE admisible, la generación térmica sería la base para la obtención de energía eléctrica en la matriz nacional. Si bien esta premisa también aplica para el escenario Base, la particularidad recae en que la generación con hidrocarburos aumentaría su participación respecto del escenario inicial, con el GN siendo el principal combustible utilizado, mientras que el resto de los sectores de generación (hidroeléctrico, renovable y nuclear), perderían participación frente al térmico, no a causa de un menor volumen de energía aportado a la red, sino que al tener la demanda mayores tasas de crecimiento que la potencia instalada en el país, esta se cubriría justamente con tecnología de generación térmica.

Respecto a los CMO proyectados para el período 2019-2023, los resultados de las simulaciones demuestran que el Caso 4 de URE alcanza un CMO de tan solo un 6% más caro que el CMO Base. Por lo tanto, a partir de una nueva redistribución del stock de GN realizada para el este caso de inserción de URE es posible alcanzar valores de CMO menores a los del Caso Base para todos los años del período de estudio. Esto implica que el escenario estudiado permite la inserción de demanda electrointensiva hasta los límites ya definidos para el caso, 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.

## **CONCLUSIONES**

El análisis global de la matriz de generación de energía eléctrica actual y futura de Argentina y el estudio del desagregado de la demanda y consumo de GN a nivel nacional, permite corroborar que en el país, el recurso gasífero disponible es suficiente como para plantear un desplazamiento total del consumo de hidrocarburos líquidos y sólidos en el sector termoeléctrico, y en conjunto con el fuerte desarrollo de las energía renovables, cambiar los paradigmas de consumo energético a nivel país, dando cuenta de que a corto plazo, el GN y los recursos renovables potencialmente se van a convertir en las dos fuentes principales de abastecimiento energético.

Se concluye entonces que resulta viable un escenario electrointensivo durante el período 2019-2023, donde el reemplazo de usuarios conectados a la red de GN sería parcial.

El caso electrointensivo viable corresponde a un escenario de ingreso de 670.000 usuarios electrointensivos (equivalente al 7% de la demanda de usuarios residenciales) con una potencia unitaria extra de 2,59 [kW] a la matriz en 2019, convirtiéndose esa cifra en 750.000 en el año 2023.

En estas condiciones, la demanda de energía comenzaría con un aumento inicial del 10,8% hasta llegar a un 11% para el final del período de estudio.

La nueva matriz de generación planteada para el escenario electrointensivo, con el desplazamiento casi total del DO, FO y carbón, y con un correcto manejo del stock disponible del GN, implica una operación más económica del sistema, con un CMO menor con respecto al escenario Base.

## REFERENCIAS

- BRITISH PETROLEUM, (2019). BP Energy Outlook Edición 2019, pp 1-72.
- CAMMESA. (2011). Los Procedimientos, Anexo 36: Servicio de reservas de corto y mediano plazo. Pp: 1-36
- CAMMESA. (2020). Base de Datos Modelo Visual Margo. Disponible en web: <https://portalweb.cammesa.com/>. (28/06/2020).
- CODESEIRA, L.(2013). Análisis Espacial del Desarrollo del Shale Gas de Vaca Muerta. Tesis de Maestría Interdisciplinaria en Energía, Universidad de Buenos Aires, pp: 1-98
- COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA (CNEA), (2018). Síntesis del Mercado Eléctrico Mayorista de la República Argentina, vol. 215, pp 1-28.
- EDENOR. (2015). Cálculo de consumos de edificios residenciales. Pp: 1-10
- Fernández, B. (21/08/2015). En Ciudad, 70% de nuevos edificios son eléctricos. *Ámbito*. Disponible en web: <https://www.ambito.com/edicion-impresa/en-ciudad-70-nuevos-edificios-son-electricos->. (28/06/2020).
- Infobae (18/06/2018). Intoxicación por inhalación de gas: cuáles son los riesgos para la salud frente a un escape. *Infobae*. Disponible en web: <https://www.infobae.com/salud/2018/06/18/intoxicacion-por-inhalacion-de-gas-cuales-son-los-riesgos-para-la-salud-frente-a-un-escape/>. (28/06/2020).
- Maggi, N. (15/07/2018). En Rosario ya hay 130 edificios que únicamente utilizan electricidad, La Capital. Disponible en web: <https://www.lacapital.com.ar/la-ciudad/en-rosario-ya-hay-130-edificios-que-unicamente-utilizan-electricidad->. (28/06/2020).
- INDEC. (2010). Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas, Edición 2010. Vol. 2, Pp: 1-390.
- Ministerio de Energía y Minería de la Nación (MINEM), (2018). Cálculo del Factor de Emisión de CO<sub>2</sub> de la Red Argentina de Energía Eléctrica, pp1-58.
- Ministerio de Energía y Minería (2017). Resolución 287-E/2017: Convocatoria Abierta a Interesados - Cierre Ciclos Combinados y Cogeneración. Boletín Oficial.
- Ministerio de Energía y Minería (2017). Resolución 287-E/2017: Convocatoria Abierta a Interesados - Cierre Ciclos Combinados y Cogeneración. Boletín Oficial.
- Ministerio de Energía y Minería de la Nación (MINEM), (2017). Escenarios Energéticos 2030, pp1-67.
- Nordic Energy. (2017). Flexible demand for electricity and power. Barriers and opportunities. Vol 2017:567, pp: 1-83.
- Ministerio de Energía y Minería (MINEM). (2020). Proyectos adjudicados del Programa RenovAr. Rondas 1, 1.5 y 2. Disponible en web: <https://www.minem.gob.ar/www/833/25897/proyectos-adjudicados-del-programa-renovar>. (28/06/2020).
- Ministerio de Desarrollo Productivo (MDP). (2020). Consumo básico de electrodomésticos. Disponible en la web: <https://www.argentina.gob.ar/enre/uso-eficiente-y-seguro/consumo-basico-electrodomesticos>. (28/06/2020).
- Spaltro, S. (21/05/2019). Por Vaca Muerta, Argentina exportará por primera vez gas licuado. *El Cronista*. Disponible en web: <https://www.cronista.com/economiapolitica/Por-Vaca-Muerta-Argentina-exportara-por-primera-vez-gas-licuado->. (28/06/2020).







# 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