

# Memorias del Encuentro Argentino y Latinoamericano de Ingeniería - 2021

## Tomo I. Compilación.

- | Agrimensura, geodesia y ciencias de la tierra y el mar
- | Desarrollo tecnológico social. Vinculación universidad, empresa y estado
- | Ejercicio profesional de la ingeniería
- | Innovación y emprendedorismo en ingeniería
- | Empresas y servicios de ingeniería
- | Ingeniería forense
- | Forestal, agronomía y alimentos
- | La ingeniería y el COVID-19
- | Obras y proyectos de ingeniería
- | Tecnología de la información y comunicación
- | Ferroviaria, automotriz, naval y transporte



**Editores:** Luis Fernández Luco | Cristina Vázquez | Alejandra Acuña Villalobos | Guillermo Lombera | Roberto Giordano Lerena

## **Memorias del Encuentro Argentino y Latinoamericano de Ingeniería**

Memorias del Encuentro Argentino y Latinoamericano de Ingeniería: 2021 : tomo I /  
compilación de Luis Fernandez Luco ... [et al.]. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires :  
Luis Fernandez Luco, 2022.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga.

ISBN 978-987-88-7243-8

Obra Completa 978-987-88-7180-6

1. Ingeniería. I. Fernandez Luco, Luis, comp. II. Título.  
CDD 620.00982





# Prólogo

Sin lugar a duda, el broche de oro del año 2021 fue la realización del mega Congreso: CADI-CAEDI y el CLADI en formato virtual. Se dispuso que bajo el lema: “la Ingeniería Latinoamericana celebra los 150 años de la Ingeniería argentina”, tuvieron lugar simultáneamente, en la Facultad de Ingeniería de la UBA entre el 5 al 7 de octubre de 2021, el 5° Congreso Argentino de Ingeniería (CADI), el 3° Congreso Latinoamericano de Ingeniería (CLADI) y el 11° Congreso Argentino de Enseñanza de la Ingeniería (CAEDI). Su objetivo fue demostrar el impacto de la Ingeniería en el desarrollo tecnológico, económico y social, con una visión hacia un futuro sostenible. Conferencias, paneles y casi 900 resúmenes e investigaciones de universidades argentinas, unidades académicas de Sudamérica, Europa y Asia dieron cuenta del rol académico, docente, científico, extensionista y profesional del ecosistema de la Ingeniería. La simultaneidad de tres de los eventos más importantes de la región es una excelente oportunidad para crear lazos y efectivizar acuerdos interinstitucionales.

El Congreso Argentino de Ingeniería CADI es el evento más importante de ingeniería en nuestro país. La calidad de las participaciones, el compromiso y el encuentro de investigadores, docentes, profesionales y referentes de las universidades, ha proyectado el congreso de modo tal que lo convirtieron en una referencia a nivel nacional e internacional”. Desde CONFEDI pensamos que el impacto y crecimiento del CADI dio origen al CLADI, el Congreso Latinoamericano de Ingeniería.

Es importante remarcar la tarea de “más de un centenar de decanas y decanos que se esfuerzan por llevar la enseñanza de la Ingeniería a nuevas fronteras frente a los desafíos actuales”. Contamos con la fortaleza de la diversidad de aportes de todas las unidades académicas de gestión pública y privadas de todo el país, la incorporación de la perspectiva de género y la enseñanza por competencias centrada en el estudiante como la “mejor estrategia para la formación de ingenieras e ingenieros para el siglo 21”. Esta edición estará marcada por la actuación de las ingenierías en la pandemia, el abordaje de los estándares de segunda generación, el lanzamiento de la tercera edición de Matilda y las Mujeres en Ingeniería en América Latina.

El Congreso Argentino de Ingeniería es el evento nacional más importante que organiza el Consejo Federal de Decanos de Ingeniería. Desde 2012 convoca a referentes de nuestro país y la región para intercambiar experiencias, potenciar el rol de la ingeniería desde lo profesional y académico (enseñanza, investigación y extensión), e impulsar lazos de cooperación que permitan generar proyectos compartidos.

En este mismo marco, se realiza el Congreso Argentino de Enseñanza de la Ingeniería (CAEDI), un ámbito propicio para el intercambio de experiencias de todos los sectores vinculados al proceso educativo y el debate de sus ideas. Este encuentro, se realiza desde 1996 y es la piedra basal que dio origen años después a la realización del CADI.

Siempre en pos de la formación de nuevos y mejores profesionales, en busca de unificación, pluralidad e intercambio de conocimientos, en el año 2017, impulsamos la realización del 1er Congreso Latinoamericano de Ingeniería (CLADI 2017) que tuvo su 2da edición en Cartagena de Indias en el 2019. Latinoamérica se suma al encuentro en Buenos Aires y recibe como Invitada Especial a la Corporación de Facultades de Ingeniería (CONDEFI) de Chile.

## La mega edición 2021

Debido a la emergencia sanitaria, el CADI 2020 debió reprogramarse para 2021. Sin embargo, se decidió mantener su nombre y lugar. La Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires, fue elegida especialmente para conmemorar la graduación de los primeros ingenieros argentinos en 1870.

El recorrido que llevan nuestros Congresos converge en este mega encuentro. Por primera vez los tres eventos anteriores se plasman en una única reunión: CADI – CLADI – CAEDI-2021, bajo el lema: “la ingeniería latinoamericana celebra los 150 años de la ingeniería argentina”. En esta oportunidad, se suman nuevos capítulos, y contará con paneles especiales sobre los 150 años de Ingeniería en Argentina y las acciones que las facultades llevaron adelante en la lucha contra el Covid-19.

El congreso está organizado en función de temáticas específicas. En esta oportunidad serán 16. Se suman temáticas nuevas como “Ferroviaria, automotriz, naval y transporte”; “Ingeniería y Patrimonio Cultura” e “Ingeniería forense”. Dos capítulos serán los especiales: “La Ingeniería y el COVID-19” e “Historia de la Ingeniería #150IngArg”.

Las áreas temáticas de los trabajos presentados van en alguna de las que se describen a continuación:

1. Enseñanza de la ingeniería – CAEDI
2. Gestión de la educación en ingeniería
3. Desarrollo tecnológico social. Vinculación universidad, empresa y estado
4. Ingeniería sostenible. Energía, eficiencia energética, gestión ambiental y cambio climático
5. Biotecnología, nanotecnología, bioingeniería y materiales
6. Tecnología de la información y comunicación
7. Forestal, agronomía y alimentos
8. Innovación y emprendedorismo en ingeniería
9. Obras y proyectos de ingeniería
10. Empresas y servicios de ingeniería
11. Ejercicio profesional de la ingeniería
12. Mujeres en ingeniería y cambio social
13. Agrimensura, geodesia y ciencias de la tierra y el mar
14. Ferroviaria, automotriz, naval y transporte (nueva)
15. Ingeniería y patrimonio cultural
16. Ingeniería forense (nueva)
17. Historia de la Ingeniería (150ING)
18. La Ingeniería y el COVID-19

**Ing. Oscar Pascal**  
Presidente del CONFEDI





# Prefacio

Los días 4, 5 y 6 de octubre de 2021 se llevó a cabo en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires (FIUBA), el **V Congreso Argentino de Ingeniería (CADI)**, el **XI Congreso Argentino de Enseñanza de la Ingeniería (CAEDI)** y el **III Congreso Latinoamericano de Ingeniería (CLADI)** bajo una denominación común de **Encuentro Argentino y Latinoamericano de Ingeniería CADI / CLADI / CAEDI**. Los dos primeros Congresos son organizados por el CONFEDI (Consejo Federal de Decanos/as de Ingeniería) normalmente en años pares y en impares se planifica el Latinoamericano. A propuesta de esta Facultad el CONFEDI aprobó oportunamente que la FIUBA fuese sede de sus congresos con el motivo fundamental de celebrar los 150ING, celebración de los 150 años de formación de ingenieras e ingenieros en Argentina. La pandemia y las situaciones que vivimos obligaron a mover estas actividades al 2021, decidiendo en conjunto con el CONDEFI, la entidad hermana del CONFEDI de la República de Chile (quien estaba previsto sea la organizadora y sede del Congreso Latinoamericano de Ingeniería) realizar las tres actividades simultáneamente en la FIUBA participando en su organización las hermanas y hermanos colegas de la República de Chile. El lema conductor de este evento fue: *“la ingeniería latinoamericana celebra los 150 años de la ingeniería argentina”*.

Ha sido un gran esfuerzo la organización de estas actividades por parte de muchas personas de FIUBA, del CONFEDI y del CONDEFI la organización de estas actividades. Se llegó a más de 3000 autores y casi 900 resúmenes, con 618 trabajos presentados y aceptados en esta publicación, distribuidos en 18 áreas temáticas. Otros trabajos fueron seleccionados para su presentación en la RADI, en la revista Elektron y en la tercera edición de SeVyT (Seminarios de Vinculación y Transferencia), hasta alcanzar 697 trabajos completos. Estos números, totalmente fuera de lo esperado, fueron fruto de la conjunción de los tres eventos de manera simultánea, como consecuencia de la pandemia. Es de destacar una altísima participación de la Argentina, de países Latinoamericanos (México, Chile, Ecuador, Colombia, Perú, Venezuela, Paraguay, Uruguay), y del resto del mundo (Francia, España, Suiza, Suecia, Portugal, Japón y Singapur).

Quiero destacar que, si bien el evento se desarrolló de manera netamente virtual, el acto inaugural fue presencial y tuvimos el honor de contar con la presencia, en el salón del Consejo Directivo de la FIUBA, el Rector de la Universidad de Buenos Aires, Dr. Alberto Barbieri, el Secretario de Políticas Universitarias, CPN Oscar Alpa, el presidente del CONFEDI, Ing. Oscar Pascal y de manera virtual la presidenta del CONDEFI, Mag. Alejandra Acuña Villalobos.

El año 2020 nos encontró inmersos en la pandemia del virus SARS-CoV-2 y con los festejos del 150 aniversario de la graduación de Luis Augusto Huergo, el primer ingeniero formado en Argentina. Con el Proyecto 150ING celebramos este hito nacional, conjuntamente con otras instituciones de la ingeniería argentina, del ámbito de la educación, de la producción e industria y de la Ciencia y la Tecnología y con aquellas relacionadas como consejos profesionales, asociaciones gremiales y empresariales. Lo hicimos con la nunca esperada paradoja que nuestras ingenieras e ingenieros actuales se pusieran a trabajar en encontrar soluciones para mitigar este mal que nos sigue

afectando, así como hace 150 años lo hicieron los primeros ingenieros recibidos en nuestro país, en la UBA, trabajando en la infraestructura sanitaria de nuestra Ciudad de Buenos Aires, quienes lograron bajar la mortalidad con las mejoras producidas, mostrando así la función social de la ingeniería.

Quiero aprovechar esta oportunidad para recordar que en 1918 se graduó Elisa Bachofen dando comienzo a la formación de mujeres en ingeniería en Argentina. En el 2018 celebramos los 100 años de esa primera graduación de las mujeres en nuestras carreras en nuestro país. Este hecho sirvió, como han servido otros, como motivo para visibilizar, revalorizar y posicionar el rol de la mujer en la ingeniería como he mencionado anteriormente.

Esta pandemia también nos planteó el desafío de no detener la educación pública en ingeniería, con un tremendo esfuerzo de los docentes y nodocentes, quienes hicieron posible continuar las actividades en una modalidad no presencial. Esta problemática se vio reflejada en los Congresos realizados y por ende en los trabajos presentados. A las áreas temáticas habituales que plantea el CONFEDI, se sumaron dos áreas nuevas, Historia de la Ingeniería, y, la Ingeniería y el COVID, que reflejaron una estrategia que se llevó adelante dadas las nuevas circunstancias de contexto.

Como Decano de la FIUBA tuve el inmenso orgullo que la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires (FIUBA) haya sido elegida por el CONFEDI para organizar este evento y el de escribir este prefacio de un compendio de trabajos que seguramente contribuirán, cada uno en su área temática, al desarrollo de la ciencia y la tecnología en nuestros países.

Finalmente, quiero enfatizar el valor de la realización de estos encuentros que conllevan a actividades en donde las y los docentes y las y los docentes investigadores exponen sus trabajos y discuten en ámbitos prácticamente únicos, desde el punto de vista de la enseñanza y de la transversalidad que atraviesa a un número importante de carreras que conforman la familia de carreras en las que se ha constituido la ingeniería. Agradezco el trabajo de las y los docentes en pos de la educación en Ingeniería de calidad y los invito a seguir participando activamente en estos Congresos, a formar a los futuros docentes y a transmitir esta tradición, trabajando, como siempre, para que ante la pregunta de cualquier ciudadano o ciudadana sobre qué es lo que estamos haciendo, la respuesta sea: “formando ingenieras e ingenieros“.

**Alejandro Manuel Martínez**

Decano

Facultad de Ingeniería – Universidad de Buenos Aires





# Carta de los editores

La edición de las Memorias del 5° Congreso Argentino de Ingeniería (CADI), el 11° Congreso Argentino de Enseñanza de la Ingeniería (CAEDI) y el 3er Congreso Latinoamericano de Ingeniería (CLADI), edición 2021, ha constituido un trabajo arduo, que se plasma en los tres volúmenes de casi 1500 páginas cada uno, cubriendo todas las áreas temáticas del evento.

Al esfuerzo de autores de Argentina, Latinoamérica, Europa y Asia, se debe sumar la acción de los responsables académicos de cada una de las áreas temáticas, quienes convocaron a un grupo selecto de evaluadores de Argentina, Chile y otros países latinoamericanos para colaborar en la revisión de los trabajos. A todos ellos, nuestro agradecimiento por su labor.

Queremos agradecer especialmente a la Dirección de Comunicación de la FIUBA, quien no sólo colaboró en el diseño y edición de todos los productos vinculados con este mega evento, ayudó en la compilación de los trabajos en tres voluminosos tomos y supo mantener la identidad visual y estructura de cada tomo. Por eso, nuestro agradecimiento a Daniel Krupa y Nadia Ricciardelli.

Estas Memorias recogen 618 de los trabajos completos que se presentaron, agrupados según las 18 áreas temáticas previstas para el evento, a los que deben sumarse aquellos seleccionados por los editores de la Revista RADI y Elektron para ser incluidos en sus respectivas revistas. Algunos de los trabajos, presentados por los doctorandos y doctorandas de la FIUBA, integran la tercera edición del Seminario de Vinculación y Transferencia (SeVyT).

Lamentamos no poder incluir en estas memorias las excelentes conferencias plenarias ni tampoco las presentaciones notables que se llevaron a cabo en cada una de las áreas temáticas. Esos registros permanecen en el archivo audiovisual de la FIUBA.

Nuestro único mérito radica en la compilación de los trabajos presentados, cuidando algunos aspectos formales y poniendo a disposición de la comunidad educativa estos tres tomos que cubren la totalidad de temáticas. Los dos primeros están dedicados a CADI – CLADI, mientras que el Tomo III se dedica enteramente al CAEDI. Estamos convencidos que sabrán aceptar nuestras disculpas por algún error y omisión involuntarios, dada la magnitud del trabajo de compilación de casi 4700 páginas.

La edición se hace en formato PDF, de libre disponibilidad, y los trabajos pueden extraerse de manera individual, a los efectos de la acreditación curricular de los autores. Los números que se

indican en el índice corresponden a la paginación que, para cada tomo, asigna el programa de generación del PDF y su búsqueda se lleva a cabo con los recursos que proporciona el lector de Acrobat o equivalente.

Esperamos que la espera, también mayor a lo habitual, se compense con el material que se entrega. A todos los autores, verdaderos artífices de esta obra, muchas gracias.

**Cristina Vázquez - Luis Fernández Luco**





# Conformación de los comités

## Autoridades 2021 CADI CLADI CAEDI

### I Comité Organizador

**Presidenta:** Cristina Vázquez (FIUBA)

**Secretario:** José Basterra (UNNE-CONFEDI)

**Secretario:** Jorge Monsalve Manríquez (CONDEFI)

Alejandro Martínez (FIUBA-CONFEDI)

Ema Aveleyra (FIUBA)

Lucas Macías (FIUBA)

Mercedes Montes de Oca (CONFEDI)

Oscar Pascal (UNLZ-CONFEDI)

María Natalia Piol (FIUBA)

Pablo Recabarren (UNC-CONFEDI)

Daniel Krupa (FIUBA)

Verónica Marchat (FIUBA)

Juan Carlos Espinoza Ramírez (CONDEFI)

Susana Boeykens (FIUBA)

Gerardo Demarco (FIUBA)

Victoria Willson (FIUBA)

Matías Catán (FIUBA)

Marcela Bordenave (FIUBA)

Marcela Carrizo (FIUBA)

Ximena Petit (CONDEFI)

Katherine Delgado Vargas (CONDEFI)

Alaia Guruciaga (CONFEDI)

Roberto Giordano Lerena (UFASTA-CONFEDI)

### I Comité Académico

**Presidente:** Luis Fernández Luco (FIUBA)

**Secretario:** Guillermo Lombera (UNMDP-CONFEDI)

**Secretario:** Alejandra Acuña Villalobos (UM-CONDEFI)

## **I Referentes por Área Temática**

### **Enseñanza de la Ingeniería – CAEDI**

Ema Aveleyra (FIUBA)

Graciela Orero (UMAZA-CONFEDI)

Graciela Forero (USB-COLOMBIA)

### **Gestión de la Educación en Ingeniería**

Anahí Mastache (FIUBA)

Magalí Carro Pérez (UNC-CONFEDI)

Ma. Angélica Urrutia (UCM – CONDEFI)

### **Agrimensura, Geodesia y Ciencias de la tierra y el mar**

Patricia Larocca (FIUBA)

Francisco Carabelli (UNPSJB-CONFEDI)

Alejandro Velázquez (UTEM-CONDEFI)

### **Biotecnología, Nanotecnología, Bioingeniería y Materiales**

Celina Bernal (FIUBA)

Javier Adur (UNER-CONFEDI)

Guillermo Schaffeld (U. Autónoma-CONDEFI)

María Natalia Piol (FIUBA)

### **Desarrollo Tecnológico Social, Vinculación Universidad, Empresa y Estado**

Luis Fernández Luco (FIUBA)

Roberto Giordano Lerena (UFASTA-CONFEDI)

Diana Sánchez (UNS-CONFEDI)

Mario De Bórtoli (UNNE-CONFEDI)

### **Ejercicio Profesional de la Ingeniería**

Fernando Horman (FIUBA)

Juan Carlos Espinoza (USACH-CONDEFI)

Paula Rodríguez (Centro de Ing. PBA)

### **Empresas y Servicios de Ingeniería**

Marcos Crutchik (UA-CONDEFI)

Leda Tidone (Colegio de Ing. PBA)

### **Ferroviaria, Automotriz, Naval y Transporte**

Juan Campana (FIUBA)

Juan Jaurena (UNER-CONFEDI)

Alicia Zanfrillo (UTN-CONFEDI)

### **Forestal, Agronomía y Alimentos**

María Victoria Agüero (FIUBA)

Martina Perduca (UCP-CONFEDI)

Ximena Petit (U. Viña del Mar-CONDEFI)

Miriam Villareal (UNSE-CONFEDI)

### **Ingeniería Forense**

Ana Di Iorio (UFASTA-CONFEDI)

Cristian Barria Huidobro (U. Mayor- CONDEFI)

Beatriz Gallo (UCASAL-CONFEDI)

## **Ingeniería Sostenible, Energía, Eficiencia Energética, Gestión Ambiental y Cambio Climático**

Susana Boeykens (FIUBA)

Maximiliano Martínez (UNSJ-CONFEDI)

Juan Figueroa (UCM – CONDEFI)

Marcela Filippi (UNRN-CONFEDI)

## **Ingeniería y Patrimonio Cultural**

Cristina Vázquez (FIUBA)

María Teresa Garibay (UNR-CONFEDI)

María Peralta (UNICEN-CONFEDI)

Cristian López M. (UCM- CONDEFI)

## **Innovación y Emprendedorismo en Ingeniería**

Néstor Braidot (UNGS-CONFEDI)

Alejandro Gutierrez (USACH-CONDEFI)

Alejandra Piermarini (CIII-URUGUAY)

## **Mujeres en Ingeniería y Cambio Social**

Eva Koutsovitis (FIUBA)

Liliana Rathmann (UAA-CONFEDI)

Karen Kanzua (UBO-CONDEFI)

Graciela Utjes (UNR-CONFEDI)

## **Obras y Proyectos de Ingeniería**

Paula Folino (FIUBA)

Sergio Pagani (UNT-CONFEDI)

Yasna Segura Sierpe (UMAG- CONDEFI)

## **Tecnología de la Información y Comunicación**

Andrés Bursztyn (UTNFRBA-CONFEDI)

Alejandra Acuña V. (UM-CONDEFI)

Nina Valdivia (UM-CONFEDI)

Rosa Wachenhauzer (FIUBA)

## **Historia de la Ingeniería (150ING)**

Yann Cristal (FIUBA)

Daniel Morano (UNSL-CONFEDI)

Liliana Cuenca Plestch (UTN-CONFEDI)

## **La Ingeniería y el COVID-19**

Guillermo Artana (FIUBA)

Diego Campana (UNER-CONFEDI)

Ximena Petit (U. Viña del Mar-CONDEFI)



## **II Revisores consultados**

Eduardo Acosta	Lydia Fabiana Ferreira Aicardi	Gabriela Orero
Eliana Agaliotis	Ángel Daniel Ferreras	Saúl Ortega Alvarado
Alicia Alvarez	Gabriela Figallo	Andrés Ozols
Yarina Amoroso	María Laura Foresti	Guadalupe Pascal
Sergio Antonelli	Maria Elena Forzinetti	Jaime Pavesi Farriol
Ana Paola Arriagada Dorguet	Rosa María Fuentes Valdebenito	Jorge Pavéz Retamal
Humberto Balzamo	Rubén Fusario	Carolina Perez Taboada
Doris Barbiric	Lorena Galeazzi	Jorge Perri
Roy Barrera Richards	María Angélica García	Valeria Pettarin
Silvana Basack	Fabiana Gennari	Teresa Piqué
David Blanco	Gabriel Gentiletti	María Florencia Pollo Cattaneo
Oscar Bruno	Julián Gil Prado	Ezequiel Pérez
Silvina Cafferata Ferri	Fabián González Berger	Veronica M. Relling
Patricia Calvo	Néstor González Valenzuela	Exequiel Rodríguez
Norma-Graciela Cantero Araujo	Silvia Goyanes	Karina Rosas Paredes
José-Ignacio Cardona Caicedo	Miguel Ángel Gómez Martínez	Patricia Roux
Nancy Alejandra Carrizo	Silvia Jacobo	Silvia Rozenberg
Mario Chauca Saavedra	Elizabeth Jiménez Rey	Claudio Ruibal
Cesar Collazos	Ernesto Klimovsky	Analía Russo
Jorge Cornejo	Loreto Lopez Pino	Fabiana Saporiti
Jorge Cornejo Elgueta	Cristóbal Lozeco	Mónica Scardigli
Cecilia Culzoni	Liliana Manfredi	Arturo Servetto
Viviana Cyras	Graciela Martín	Silvana Sommadossi
Yuri Cáceres Hernández	Ricardo Martínez	Miguel Ángel Sosa
Jessenia Cárdenas Cobo	Anahi Mastache	Lorena Soto Silva
Amelin Davila Zarracan	Mariana Melaj	Marcelo Spina
Jorge de Celis	Alejandro Miranda	Marco Suárez Sepúlveda
Horacio de Rosa	Mariana Mollo	Hernán Svoboda
Ana-María Delmas	Daniel Morán	Marcela Ulloa Zamora
Luis Diaz Roble	Javier Moya	María Victoria Vallejos Amado
Marcelo Estayno	Diego Muñoz Espinoza	Sebastián Vallejos González
Lucía Famá	Roberto Muñoz	José Luis Verga
Claudia Fehring Dorner	Yenny Méndez Alegría	Thamara Villegas
Brígida Fernandez Yantani	Adolfo Onaine	Analía Vázquez
Karina Ferrando	Patricia Orellana	Fernando Zagnoni



---

# Auspician

## I Categoría Platino



## I Categoría Oro



---

# Acompañan

## I Nacionales



## I Internacionales



<b>I Agrimensura, geodesia y ciencias de la tierra y el mar</b>	<b>Pag. 29</b>
<i>Regionalización de caudales máximos en la cuenca del río Gualaguaychú</i> Ricardo Grilli, Diego Kessler, Eliana Sturtz, Rodolfo Alejandro Sato, María Inés Mastaglia, Andrea Margasín, Vanesa Giménez and Roxana Ramírez.	Pag. 30
<i>Pautas para la valuación fiscal de inmuebles que coexisten con el derecho de superficie.</i> Cristian Ignacio Bevacqua, Luis Roberto García, Miguel Ángel Villafañez and Cristian Edgardo Altamiranda.	Pag. 38
<i>Modelos digitales de elevaciones basados en interferometría sar (bandas x, c y l)</i> Damián Marsilli, Sebastián Balbarani and Edgardo Monteros.	Pag. 44
<i>Diseño de tablero de control en base a datos S.U.B.E. para el servicio de transporte público de la ciudad de Paraná</i> Feliciano Franco, Juan Francisco Jaurena, Rafael David Diaz Arias, Sebastián Marcelo Lischet and Raúl Hurani.	Pag. 52
<i>Modelado geomagnético en instalaciones del o&amp;g: estudio de posible corrosión en ductos</i> María Alejandra Arecco, Patricia Alejandra Larocca and Silvia Patricia Barredo.	Pag. 61
<i>Representación planialtimétrica digital de cauce natural mediante herramientas gis y relevamientos in situ</i> Daniel Angelillo, Solange Lemarchand, Florencia Reguera and Natalia Lopez.	Pag. 67
<i>Estudio de propiedades eléctricas de suelos mediante ondas electromagnéticas en un georradar</i> Florencia Zuccolo, Silvina Boggi, Walter Gustavo Fano and Ramiro Alonso.	Pag. 72
<i>Calidad del agua y uso del suelo en la cuenca del arroyo las piedras, amba</i> Gabriela Iglesias and Gabriel Basilico.	Pag. 80
<i>Análisis de calidad de arenas de fracturación mediante visión artificial</i> Adriana Luna, Oscar Daniel Chuk and Carlos Gustavo Rodríguez Medina.	Pag. 90
<i>Diseño anti resonante de geometrías portuarias</i> Cecilia Stoklas, Víctor Cortínez and Patricia Dominguez.	Pag. 96
<i>Integración de datos de lluvia para la simulación de caudales con fines de alerta hidrometeorológica</i> Micaela Pacher, Matías Eder, Ricardo Ingaramo and Jorge Saffe.	Pag. 102
<i>Aporte de la agrimensura a la seguridad jurídica en la argentina.</i> Norberto Frickx.	Pag. 110
<i>Relación entre los excesos y déficits hídricos en una cuenca con escasos datos del sur de la llanura pampeana</i> Martín Eduardo Espósito and Sandra Noemí Fernandez.	Pag. 115

*Selección de puntos de muestreo para aplicaciones de teledetección satelital en cuerpos de agua en gran resistencia*  
Enid Utgés, Elsa Hervot, Daniela Tenev, Alejandro Farías, Víctor Gauto, Alba Germán, Anabella Ferral, Ignacio Contreras and Aldo Paira. Pag. 120

*Sistema de referencia geocéntrico para las américas, aporte desde y hacia la ingeniería latinoamericana y argentina*  
María Virginia Mackern Oberti, María Laura Mateo and María Fernanda Camisay. Pag. 128

## **I Desarrollo tecnológico social. Vinculación universidad, empresa y estado Pag. 136**

*Estrategia innovadora de divulgación tecnológica*  
Federico Olivo Aneiros and Marcelo Andres Tavella. Pag. 137

*Diagnóstico técnico para una industria de productos de acero inoxidable. estudio de caso.*  
Alejandra Ivana García, Alejandro Santiago Rueda, Leandro Javier Flores and Leticia Marisol Raponi. Pag. 142

*Las leyes de promoción industrial y la industria metalmeccánica en la capital de la provincia de córdoba*  
Roxana María Manera, Marcelo Andres Tavella and Ariel Miropolsky. Pag. 147

*Prácticas sociales en el desarrollo de competencias específicas en mensura*  
Rosa Pueyo. Pag. 155

*El portafolio como instrumento de evaluación desde un enfoque centrado en el estudiante. el caso de ingeniería y sociedad en UTN-FRA*  
Karina Ferrando, Olga Paez, Jorge Forno and Lisandro Capdevila. Pag. 163

*Proyectos de desarrollo tecnológico social en argentina: un instrumento incompleto del sistema científico tecnológico*  
Roberto Giordano Lereña and Armando Fernández Guillermet. Pag. 170

*Cobertura de agua potable e hidroarsenicismo en la provincia de chaco*  
Sergio Roshdestwensky, Basterra Jose and Corace Juan Jose. Pag. 176

*Inspecciones en modalidad remota de ensayos sobre motores eléctricos durante la pandemia de covid-19*  
Diego Ferreyra, Alberto Díaz, Santiago Leurino and Giuliano Buratto. Pag. 183

*Identificación de variables determinantes para el diseño de un modelo de vigilancia tecnológica e inteligencia estratégica orientado al ámbito académico universitario de la ingeniería*  
Miguel Guagliano, Juan Pavlicevic and Marta Comoglio. Pag. 189

*Ecosistemas de Innovación como facilitadores para la adopción del modelo Industria 4.0 en PyMEs*  
Federico Walas Mateo and Andres Redchuk. Pag. 197

*Metodología multicriterio para la selección de proveedores considerando los riesgos operacionales en la cadena de suministro*  
Luciana Tabone and Verónica Aída Mortara. Pag. 203

*Una década de proyectos de ingeniería en la universidad nacional de luján estudio de caso*  
Leticia Marisol Raponi, Leandro Javier Flores, Alejandro Santiago Rueda and Alejandra Ivana García. Pag. 209

*Vinculación universidad-industria: relevamiento sobre impacto de las emociones en calidad de software*  
Gabriela Tomaselli, Cesar J. Acuña, Noelia Pinto and Dafne Torres. Pag. 215

<i>Factores incidentes en los flujos de intercambio en binomios centro periferia transfronterizos y la asimetria de la productividad.</i>	
Patricia I Dupertuis, Patricia Paola Zachman and Fernando G Massaro.	Pag. 222
<i>Estudio de las relaciones multivariantes en la producción de carbonato de litio en el noroeste argentino.</i>	
Martin Ignacio Thames Cantolla, Silvana Karina Valdez and Agustina Maria Orce Schwarz.	Pag. 229
<i>Concientización en el uso de energías renovables a partir de desechos sólidos</i>	
Mariana Inés Saber, Matías Lazzaro and María Elena Iriarte.	Pag. 237
<i>Beneficios de la gestión de presiones en redes de agua potable</i>	
Franco Guiragossian, Ramiro Piñeiro Andrés and Romina Soledad Solana.	Pag. 241
<i>Enfoque de las asimetrías de la información en los territorios y su incidencia en la productividad</i>	
Patricia Zachman, Patricia Dupertuis and Fernando Massaro.	Pag. 247
<i>Diseño y construcción de un monitor portatil personal de radiaciones no ionizantes (rni) de radar pulsado banda I</i>	
Federico Valdez, Alberto Daniel Valdez, Paola Luciana Schlesinger, Juan Ángel Chiozza, Carlos Victor Miranda, Abel Alejandro Grela and Miguel Del Valle Camino.	Pag. 254
<i>Evaluacion de placas termo-generadoras y posibles aplicaciones</i>	
Alejandro Gorosito, Alicia Carbonell, Hernan Solier, Leandro Gieco, Facundo Larrosa and Sebastian Pralong.	Pag. 262
<i>Juegos serios en el proceso de aprendizaje de lecto-escritura</i>	
Franco Kühn, Adolfo Spinelli, Gustavo Bacino and Mariano Fantini.	Pag. 268
<i>Diseño y desarrollo de un juego serio como herramienta de revitalización cultural</i>	
FRAnco Kühn, Esteban Zapirain, Marcos Agüero, Agustina Pieroni, Lautaro Echeverria Luchini and Lucrecia Moro.	Pag. 275
<i>Control de calidad mediante el uso de inteligencia artificial</i>	
Florencia Abril González, Pablo Nicolás Llobet, Sol Nahir Fernandez and Jorge Orlando Pellegrini.	Pag. 280
<i>Aplicación de diseño participativo y código abierto a una propuesta sostenible para rectores de sorción</i>	
Stefanie Suarez, Andrés Alonso, Susana Boeykens, María Natalia Piol and Néstor Caracciolo.	Pag. 285
<i>Una plataforma de software para la inserción deportiva en el sudeste bonaerense</i>	
Stella Maris Massa, Hernán Hinojal, Gerardo Rodriguez, Juan Pablo Cardoso, Nahuel Mariño and Lucrecia Moro.	Pag. 294
<i>Medición de la calidad del aire mediante un sistema IOT</i>	
Enzo André Sémola, Carlos Albaca Paraván, Esteban Daniel Volentini and Sergio Daniel Saade.	Pag. 298
<i>Costos en la era del covid – 19: estudio en pymes manufactureras del gran la plata.</i>	
Alisson Breña, Nicolas Parra, Romina Couselo, Eduardo Williams and Manuela Pendón.	Pag. 305
<i>Sistemas de apoyo a la toma de decisiones clínicas (SADC) en una unidad de cuidados intensivos coronarios</i>	
Sofía Jaquelin Vallejos, Edgar Darío Báez, Fabián Bobadilla and María Inés Pisarello.	Pag. 313
<i>Análisis de técnicas para el abordaje de riesgos y oportunidades en un laboratorio de ensayos y calibraciones</i>	
María Milagros Galiano, Matías Orué, Javier Acosta y Juan Marcos Banegas.	Pag. 321

<i>Análisis del impacto en la asignación de recursos a emprendimientos industriales del conurbano sur</i>	Enrique Carrizo, María Sol Rodríguez, Luis Cesar Gómez and Constanza Julieta Provoste.	Pag. 327
<i>Escalado del proceso fenton más allá de la ingeniería de procesos</i>	Cecilia M. Puchalski, Hernán D. Traid, Anabela N. Dwojak, María L. Vera and Marta I. Litter.	Pag. 337
<i>La vinculación universidad, empresa y estado, como marco para el desarrollo de competencias profesionales</i>	Monica Gomez, Lucía Del Milagro Ciuffolini, Nazareno Cocci Olea, Nahuel Deschutter and Rinaldo Rigazio.	Pag. 345
<i>Identificación de economías de aglomeración en sectores productivos de mar del plata</i>	Ochoa Rodríguez Pablo; Vaschetto Eliana; Elías Verónica; Eimer Griselda.	Pag. 353
<i>Formando alumnos de ingeniería como promotores ambientales</i>	Victoria Willson, Andrea Beatriz Saralegui, Susana Patricia Boeykens and María Natalia Piol.	Pag. 358
<i>Una revisión del concepto de trabajo desde industria 4.0</i>	Gustavo Carlos Bitocchi.	Pag. 366
<i>Localización óptima de servicios públicos</i>	Graciela Alicia Moreno, M. Susana Moreno and Anibal Manuel Blanco.	Pag. 374
<i>Práctica supervisada como herramienta de vinculación UEE. Aplicación a la modelación de tránsito.</i>	Rinaldo Rigazio, Santiago Heredia, Lucía Bordese and Adolfo Frateschi.	Pag. 380
<i>LATE. Laboratorio de asistencia técnica a establecimientos de educación especial</i>	Flavio Ferrari, Luis Ferrufino, Juan Carlos Schachner and Julian David Miranda.	Pag. 388
<i>Investigación-acción en la mejora de procesos en empresas del sector productivo marplatense</i>	María Betina Berardi, Mariela Ambrústolo, Marina Migueles and Claudia Zárate.	Pag. 394
<i>Unidad de desarrollo de proyectos tecnológicos y formación en competencias (UTN FRBB)</i>	Danna Lorena Gallego, Vergara Rodrigo and Jonatan José Raspante.	Pag. 402
<i>Aplicación y desarrollo de herramientas libres para la gestión comunitaria del agua en la primera sección del delta del paraná.</i>	Lara Jatar, Jazmín Glustein, Camila Saveika and Ignacio Boron.	Pag. 410
<i>Una experiencia exitosa de vinculación academia – empresas - estado en el área de tecnología de materiales</i>	Sonia Brühl, Ana Justina Maskavizan, Kevin Silva, Anibal Carmona, Eugenia Dalibon and Pablo Cirimello.	Pag. 418
<i>Competencias en las prácticas profesionales de ingeniería industrial para la inserción laboral</i>	Jaime Peña Álvarez.	Pag. 423
<i>Desarrollo de un sistema de adquisición de datos para máquina universal de ensayos de uso didáctico</i>	Gianluca Lombardo, Alejandro Mateos, Miguel Tortoriello, Sergio Commisso and María José Castillo.	Pag. 428
<i>Extensión e integración de un sistema de marcado de estructuras de código para programadores con discapacidad visual</i>	Tomás Assenza, Cesar Ballardini, Pablo Andrés Marchetti and María Fernanda Golobisky.	Pag. 435

## Localización óptima de servicios públicos.

Moreno, Graciela A. <sup>a</sup>; Moreno, M. Susana <sup>b</sup>; Blanco, Aníbal M. <sup>b</sup>

<sup>a</sup> IIESS (Universidad Nacional del Sur – CONICET)

<sup>b</sup> PLAPIQUI (Universidad Nacional del Sur – CONICET)

e-mail: gmorenoing@gmail.com

### Resumen

El problema de localización óptima de instalaciones ha recibido una gran atención en la literatura de la investigación operativa en las últimas décadas debido a su importancia práctica y complejidad matemática. En particular, muchos sistemas relacionados con la prestación de servicios públicos pueden verse beneficiados por la adopción de modelos matemáticos de localización óptima para abordar el problema de diseño y rediseño de sus redes de atención. Tal es el caso, por ejemplo, de los sistemas de Centros de Atención Primaria de la Salud (CAPS), también conocidos como salas médicas o dispensarios. En este trabajo se propone una variante del problema de localización óptima, la cual se orienta a maximizar la demanda atendida en los diferentes centros a localizar. Adicionalmente se incluye una restricción relacionada con la distancia que se espera esté dispuesto a trasladarse el demandante, la cual, para algunas aplicaciones, puede ser una barrera a un acceso efectivo al servicio. La formulación se implementa en la plataforma de modelado algebraico GAMS y se testea con una instancia *benchmark* adaptada de la literatura. Se analizan los dos objetivos más relevantes de este tipo de problemas, el índice de cobertura de la demanda y los costos totales del sistema, junto con otros indicadores de desempeño.

### Abstract

In recent decades, the capacitated facility location problem has received a great deal of attention in the operations research literature due to its practical importance and mathematical complexity. In particular, several systems related to the provision of public services can benefit by adopting mathematical models for facility location to address the design or redesign of their networks. This is the case, for example, of the selection of Primary Health Care Center locations, also known as dispensaries in the Argentinean healthcare system. In this work, we propose a variant of the capacitated facility location problem aimed at maximizing the satisfied demand in different centers to be located. Additionally, a restriction on the maximum expected distance to be traveled by the client is included in the model, which, for some applications, may be a barrier to an effective access to the service. The formulation is implemented in GAMS platform and tested using a benchmark instance adapted from the literature. Two relevant objectives for this type of problems are analyzed: the demand coverage index and the total cost of the system, together with other performance indicators.

**Palabras clave:** Localización óptima, Cobertura máxima, Modelo matemático, GAMS.

## INTRODUCCIÓN

Hasta la fecha se han desarrollado numerosos modelos de localización óptima de distintos tipos

los cuales asumen típicamente la forma de problemas de optimización mixta entera lineal (*Mixed Integer Linear Problem*, MILP). El

Problema de Localización de Instalaciones (*Facility Location Problem*, FLP) tiene como objetivo ubicar un cierto número de instalaciones para cubrir la demanda de un grupo de clientes a un costo mínimo. Si las instalaciones tienen una capacidad limitada para satisfacer la demanda se lo conoce como FLP capacitado (*Capacitated FLP*, CFLP) el cual es un problema NP-Hard.

Otra de las versiones más estudiadas es la Localización de Instalaciones Capacitada de Fuente Única (*Single Source CFLP*, SSCFLP) que es una variante del modelo CFLP que consiste en abrir un conjunto de instalaciones asignando cada cliente sólo a una de ellas. La función objetivo busca minimizar los costos de apertura de las instalaciones más los costos operativos, típicamente asociados al traslado [1][2].

Por su parte, el Problema de Localización de Instalaciones Capacitado de Fuentes Múltiples (*Multiple Source CFLP*, MSCFLP), admite que la demanda de un dado cliente pueda ser cubierta por más de una instalación [3].

En este trabajo se presenta una variante del problema MSCFLP. A diferencia del MSCFLP original, cuya función objetivo es económica, la formulación propuesta busca maximizar la cobertura de la demanda total de los clientes en una o más instalaciones a habilitar. Se asume en este caso que los clientes están dispuestos a trasladarse solo una cierta distancia máxima para satisfacer sus necesidades.

La variante descrita es aplicable, por ejemplo, a diferentes problemas relacionados con la prestación de servicios públicos, donde una dada dependencia brinda servicios a un conjunto de usuarios dentro de un determinado radio de cobertura. Este es el caso, por ejemplo, de los servicios sanitarios del primer nivel, proporcionados típicamente en nuestro país en Centros de Atención Primaria de Salud (CAPS), salas médicas o dispensarios, a los cuales los vecinos acuden para realizar consultas o acciones preventivas (vacunación, control de presión arterial, etc.)

En las secciones subsiguientes se presenta la formulación matemática propuesta y se ilustra sus características a través del análisis de las soluciones de una instancia típicamente empleada en el estudio de modelos FLP.

## MODELO MATEMÁTICO

### Conjuntos

$I = \{1, 2, \dots, n\}$  posibles ubicaciones de las instalaciones.

$J = \{1, 2, \dots, m\}$  clientes.

### Parámetros

$s_i$  capacidad de la instalación  $i$ .

$d_j$  necesidad del cliente  $j$ .

$\delta_{ij}$  distancia entre la instalación  $i$  y el cliente  $j$ .

$c_{ij}$  costo de atender el cliente  $j$  en la instalación  $i$ .

$f_i$  costo fijo por abrir la instalación  $i$ .

$dp$  distancia de traslado máxima a recorrer.

$nmax$  número máximo de instalaciones abiertas.

$Nec$  necesidad total del sistema.

$Cong$  congestión total del sistema.

### Variables

$y_i$  1 si se abre la instalación  $i$ , 0 de lo contrario.

$x_{ij}$  1 si se asigna el cliente  $j$  a la instalación  $i$ , 0 de lo contrario.

$dr_{ij}$  demanda del cliente  $j$  asignada a la instalación  $i$ .

$Ofe$  oferta del sistema.

$NSer$  nivel de servicio.

$Cob$  cobertura de la demanda.

$CO$  costo operativo.

$CI$  costo fijo de las instalaciones.

$CT$  costo total.

La formulación del problema es la siguiente:

$$\max DemT$$

$$DemT = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m dr_{ij} \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n dr_{ij} \leq d_j \quad \forall j \quad (2)$$

$$dr_{ij} \leq d_j x_{ij} \quad \forall i, j \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n dr_{ij} \leq s_i y_i \quad \forall i \quad (4)$$

$$\delta_{ij} x_{ij} \leq dp y_i \quad \forall i, j \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n y_i \leq nmax \quad (6)$$

$$CT = CI + CO \quad (7)$$

$$CI = \sum_{i=1}^n f_i y_i \quad (8)$$

$$CO = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} dr_{ij} \quad (9)$$

$$Ofe = \sum_{i=1}^n s_i y_i \quad (10)$$

$$Nec = \sum_{j=1}^m d_j \quad (11)$$

$$Cob = DemT / Nec \quad (12)$$

$$NSer = Ofe / Nec \quad (13)$$

$$Cong = DemT / Ofe \quad (14)$$

La ecuación (1) calcula la demanda de los clientes atendida en las instalaciones abiertas, la cual se desea maximizar. En este trabajo se asume que cada instalación puede atender la demanda de más de un cliente (Figura 1a) y que cada cliente puede demandar partes de su necesidad en más de una instalación (Figura 1b). La restricción (2) establece que la suma de la demanda de cada cliente a ser cubierta por las instalaciones abiertas debe ser como máximo igual a su necesidad,  $d_j$ . La restricción (3) establece que parte de la demanda del cliente  $j$  es asignada a una dada instalación  $i$  mediante la activación de la variable binaria  $x_{ij}$  (ver Figura 2). La restricción (4) controla que la demanda cubierta en una dada instalación  $i$  no puede superar la capacidad de la misma. La restricción (5) asegura que la distancia del cliente  $j$  asignado a la instalación abierta  $i$  sea menor o igual a la distancia máxima de traslado,  $dp$  (ver Figura 2). La restricción (6) asegura que la cantidad de instalaciones abiertas no supere el número máximo impuesto. La ecuación (7) calcula el costo total del sistema como la suma del costo de instalación expresado en la ecuación (8) y el costo operativo calculado en la ecuación (9). En la ecuación (10) se computa la capacidad total de las instalaciones abiertas, esto es, la oferta ( $Ofe$ ) del sistema, mientras que en la ecuación (11) se determina la necesidad total del sistema ( $Nec$ ) como la suma de las necesidades individuales de los clientes.

Finalmente, en las ecuaciones (12), (13) y (14) se definen tres índices adicionales para analizar el desempeño del sistema. En la ecuación (12), la cobertura ( $Cob$ ) que representa la fracción atendida de la necesidad total del sistema. La congestión ( $Cong$ ) en la ecuación (13) representa la capacidad utilizada del total disponible instalado. El nivel de servicio ( $NSer$ ) expresado en la ecuación (14) relaciona la capacidad disponible para atender la necesidad total del sistema.

En resumen, el modelo MILP propuesto consiste en maximizar la ecuación (1) sujeta a las restricciones (2)-(11). El mismo fue implementado en la plataforma del modelamiento y optimización GAMS versión 35.1.0 y resuelto con el solver CPLEX versión 20.1.0.1 en una computadora con

procesador *Intel Core i7-4710HQ*, CPU 2.50GHz, con 8GB RAM. Los índices  $Cob$ ,  $Cong$  y  $NSer$  se calculan como parámetros luego de obtener la solución del problema.

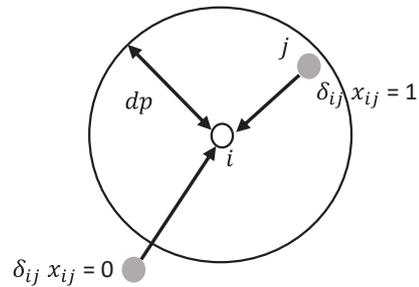
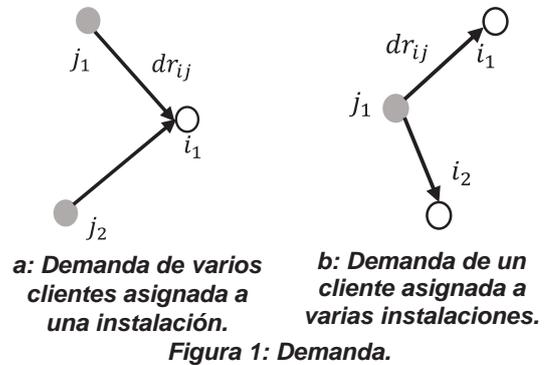


Figura 2: Distancia del cliente dentro de la distancia máxima de traslado.

## CASO DE ESTUDIO

Para los experimentos computacionales se empleó una de las instancias *benchmark* utilizadas en [1]. Cada instancia posee un número  $n$  de posibles localizaciones para las instalaciones a abrir y un cierto número de clientes  $m$  cuya necesidad se desea satisfacer. Asimismo, se proporciona la capacidad de cada instalación,  $s_i$ , el costo fijo de su apertura,  $f_i$ , la necesidad de cada cliente  $d_j$ , y los costos de atender la demanda del cliente  $j$  en la instalación  $i$ ,  $c_{ij}$ . También se dispone de las distancias entre cada cliente  $j$  y cada posible ubicación de la instalación  $i$ ,  $\delta_{ij}$ .

Para los experimentos se establecieron varios casos tomando diferentes valores para la distancia máxima a recorrer por los clientes ( $dp$ ). Específicamente, como caso de referencia ( $dp_0$ ) se empleó el valor promedio del conjunto de distancias entre los clientes y las posibles

ubicaciones de las instalaciones proporcionadas en la instancia utilizada. Para los casos restantes, se utilizaron distancias menores: 50% ( $dp_1$ ), 25% ( $dp_2$ ), 10% ( $dp_3$ ) y 5% ( $dp_4$ ) del valor base ( $dp_0$ ). Adicionalmente, para estos casos, se resolvió el modelo, modificando de a uno, el número de posibles instalaciones abiertas ( $n_{max}$ ), con el objetivo de evaluar cómo se cubre la necesidad de los clientes al incrementar progresivamente este parámetro.

En la Tabla 1 se detallan los parámetros de la instancia seleccionada<sup>1</sup> donde se muestran el número máximo de posibles instalaciones a abrir  $n$  y la cantidad de clientes  $m$ . Para proporcionar un panorama general de la instancia se reporta, además la distancia promedio entre clientes e instalaciones ( $\delta_{ij}$ ), la necesidad total de los clientes y la capacidad promedio de las instalaciones. Los datos de esta instancia fueron volcados en un archivo Excel para ser empleados en el entorno GAMS.

**Tabla 1: Instancia de prueba.**

$n$	$m$	$dp_0$	$Nec$	Capacidad promedio
30	200	10.71	4127	238.07

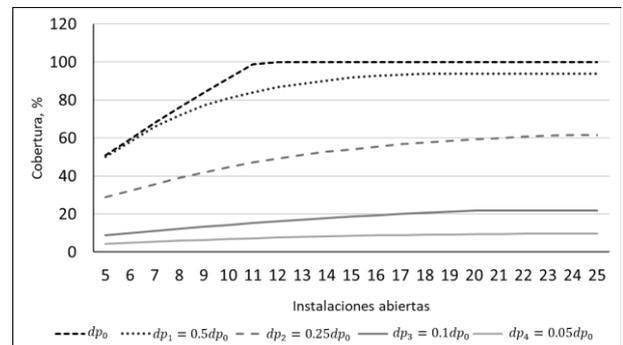
## RESULTADOS

Para cada una de las distancias máximas de traslado, se evaluaron los resultados obtenidos al incrementar  $n_{max}$  desde 5 a 25 instalaciones abiertas. A continuación, se reportan gráficamente los principales indicadores de desempeño definidos: cobertura (Figura 3), nivel de servicio (Figura 4) y congestión (Figura 5).

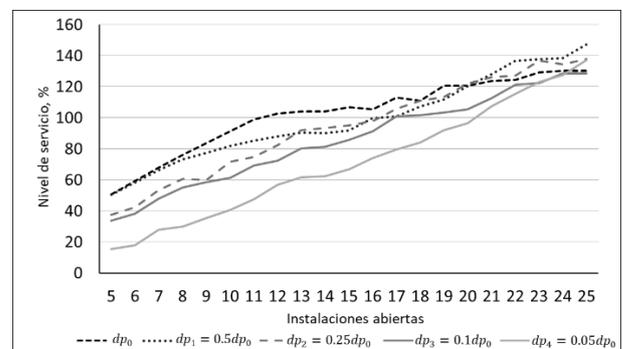
Como se puede observar en la Figura 3, para la distancia de traslado  $dp_0$  se logra una cobertura del 100% a partir de la apertura de 12 instalaciones (línea de trazos oscura), mientras que para  $dp_1$  (línea de puntos) a partir de las 18 instalaciones abiertas, la cobertura alcanza el máximo de 94%. Por su parte, para  $dp_2$  (línea de trazos clara) la cobertura alcanza un máximo de 62% con 24 instalaciones abiertas.

Para  $dp_3$  la cobertura alcanza un máximo de 22% con 20 instalaciones abiertas mientras que para  $dp_4$  la cobertura se estabiliza en 10% a partir

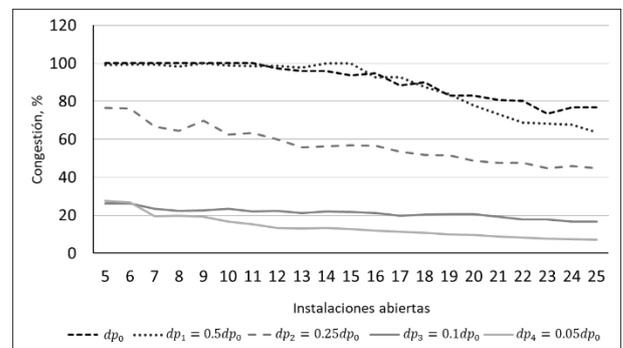
de las 22 instalaciones (líneas continuas oscura y clara respectivamente).



**Figura 3: Cobertura.**



**Figura 4: Nivel de servicio.**



**Figura 5: Congestión.**

Como es de esperarse, el nivel de servicio (Figura 4) aumenta a medida que crece el número de instalaciones abiertas, es decir, a medida que aumenta la oferta, para todas las distancias de traslado máximas. Para  $dp_0$  se alcanza un nivel de servicio del 100% con la apertura de solo 12 instalaciones. Para  $dp_1$ ,  $dp_2$  y  $dp_3$  el nivel de

<sup>1</sup> La instancia utilizada proviene de la carpeta Yang(TB3) y el archivo 30-200-1.dat[1]

servicio de 100% se alcanza con 17 instalaciones abiertas, mientras que para  $dp_4$  se requieren 21.

Cuando se abren la totalidad de las instalaciones (30) el nivel de servicio máximo posible es de 173% (resultados no mostrados).

Para la mayoría de los casos, la congestión (Figura 5), se reduce progresivamente a medida que aumenta el número de instalaciones abiertas para los diferentes casos de distancias de traslado. En los casos de distancias de traslado más pequeñas, la congestión se mantiene en valores relativamente bajos: con 5 instalaciones abiertas para  $dp_2$  es de 77%, mientras que para  $dp_3$  es de 23% y para  $dp_4$  de 28%.

En el caso de  $dp_0$ , la congestión es 100% con menos de 12 instalaciones abiertas y va disminuyendo a partir de ese número (línea de trazos oscura). Para  $dp_1$  (línea punteada), con menos de 15 instalaciones abiertas la congestión es de 99% y a partir de ese número se reduce progresivamente. Es interesante notar que, en algunos casos, la congestión aumenta a pesar de aumentar el número de instalaciones. Por ejemplo, esto se observa para 9 y 14 instalaciones en  $dp_2$  y para 9 instalaciones para  $dp_3$ .

En la Tabla 2 se reporta, para las diferentes distancias de traslado, el menor número de instalaciones abiertas con las que se obtuvo la mayor cobertura posible, junto con los restantes indicadores de desempeño y otros parámetros de interés.

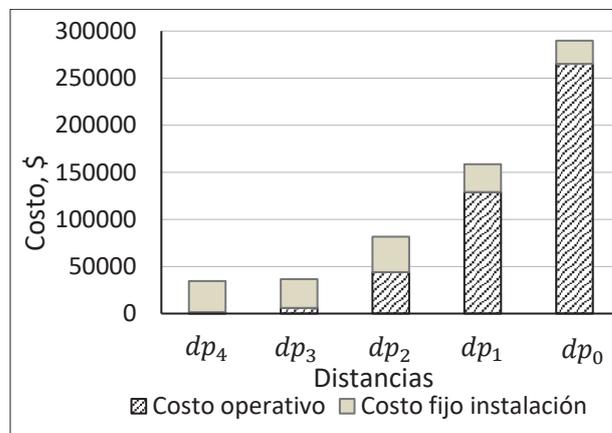
**Tabla 2: Cobertura vs distancia de traslado.**

Distancia	$n_{max}$	$Ofe$	$DemT$	$NSer$ %	$Cob$ %	$Cong$ %
$dp_0$	12	4241	4127	103	100	97
$dp_1$	18	4426	3873	107	94	88
$dp_2$	24	5552	2544	135	62	46
$dp_3$	20	4360	895	106	22	21
$dp_4$	22	4768	395	116	10	8

Necesidad total: 4127; Oferta máxima posible ( $n_{max}=30$ ): 7142.

En la Figura 6 se presenta gráficamente la estructura de costos para cada caso de la Tabla 2. Por supuesto, el costo fijo (segmento gris) aumenta cuanto mayor es el número de instalaciones abiertas (por ejemplo, en este caso el máximo es para  $dp_2$ ). Por su parte, el costo operativo (segmento tramado) es mayor cuanto mayor es la demanda atendida de manera

efectiva, claramente correspondiente a  $dp_0$  donde hay una mayor predisposición a trasladarse.



**Figura 6: Costo según distancia de traslado.**

## CONCLUSIONES

En este trabajo se ha presentado una variante del problema MSCFLP para maximizar la demanda total de los clientes en instalaciones a habilitar, considerando distancias de traslado máximas de los clientes y se han investigado sus prestaciones a través del estudio de una instancia específica.

De los resultados obtenidos fue posible observar, que, como era de esperarse, la cobertura se incrementa a medida que los clientes están dispuestos a trasladarse mayores distancias a buscar instalaciones y, por lo tanto, es posible lograr una cobertura amplia de la necesidad con un número relativamente bajo de aperturas (caso  $dp_0$ ). Para distancias de traslado menores, las coberturas se estancan en valores máximos bastante inferiores al 100% en ciertos casos, incluso cuando el número de instalaciones continúa aumentando.

Por su parte, la congestión, que da una idea de lo solicitadas que están las instalaciones disponibles, disminuye a medida que se habilitan nuevas instalaciones. Igualmente, su valor tiene sentido solo hasta que se alcanza la cobertura máxima en el sistema dado que, a partir de este valor, cualquier instalación adicional ya no contribuye a la atención de nueva demanda.

Finalmente, el nivel de servicio, que indica solamente la relación entre la oferta existente y la necesidad total, se reporta básicamente con los

fines de analizar el sistema desde el punto de vista de la infraestructura que brinda. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que un alto nivel de servicio no necesariamente refleja una buena cobertura de la demanda.

En general, podemos concluir que el modelo propuesto expone las principales relaciones entre las variables importantes del sistema y proporciona indicadores que permiten analizar las prestaciones de una dada infraestructura de servicios. En este sentido, se lo puede emplear para diseñar una red que verifique unos dados criterios de desempeño o para investigar en redes existentes el impacto de modificaciones en los parámetros clave:  $dp$  y  $nmax$ .

## REFERENCIAS

- [1] Gadegaard S., Klose A., Nielsen L. (2017). An improved cut-and-solve algorithm for the single-source capacitated facility location problem. *EURO J Comput Optim.* 6(6), 1-27.
- [2] Guastaroba G., Speranza M.G. (2014). A heuristic for BILP problems: The Single Source Capacitated Facility Location Problem. *European Journal of Operational Research*, 238(2), 438-450.
- [3] Jamalian A., Salahi M. (2020). Combined Single-Source and Multi-source Capacitated Facility Location Problems with Data Envelopment Analysis. *Mathematical Problems in Engineering.* 2020(5-6), 1-9.