

INFORME FINAL de proyectos de investigación registrados ante Consejo Divisional de la DCNI

Fecha de presentación del informe final	/10/2025
Sesión de Consejo de aprobación	CUA-DCNI-202-21
Clave del proyecto asignada por Consejo Divisional	82 S202-21

1. **Título del proyecto:** Ingeniería de Sistemas de Procesos: Desarrollo de estrategias y casos de estudio
2. **Año a evaluar** (por ejemplo 1 de 4): 4
3. **Responsable y participantes del proyecto:**

Responsable del proyecto: Dr. Roberto Olivares Hernández (DPT)

Participantes del proyecto:

Dra. María Teresa López Arenas (DPT)

Dra. Helen Denise Lugo Méndez (DPT)

Dr. José Javier Valencia López (DPT)

Dr. Alfonso Mauricio Sales Cruz (DPT)

4. **Resumen de avances en el año a evaluar**

En el último año se logro concluir con el proyecto y los entregables se reportan en este informe.

5. **Formación de recursos humanos:**

Posgrado

Alumno: Freddy Castillo Alfonso

Nivel de Doctorado en el posgrado de Ciencias Naturales e Ingeniería

Tesis: Construcción de un modelo metabólico a escala genómica de *Leucoagaricus gongylophorus* para el análisis de su capacidad metabólica"

Director: Roberto Olivares Hernández

Co-Director: Gabriel Vigueras Ramírez

Inicio: concluido en septiembre 2025

Alumna: Gabriela Cejas Añón

Nivel de Doctorado en el posgrado de Ciencias Naturales e Ingeniería

Tesis: Evaluación de la producción de glucógeno en *Leucoagaricus gongylophorus* utilizando diferentes sustratos modelo

Director: Gabriel Vigueras Ramírez Roberto Olivares Hernández

Co-Director: Roberto Olivares Hernández

Inicio: trimestre 22-I

Alumno: Alejandro Quintana Menéndez

Nivel de Doctorado en el posgrado de Ciencias Naturales e Ingeniería

Tesis: Producción de ácido indolacético utilizando una cepa de

Bacillus subtilis aislado de la rizosfera y una cepa modificada de *B. subtilis* W168 como bioinsumo para cultivos agrícolas

Director: Roberto Olivares Hernández

Co-Director: Gabriel Vigueras Ramírez

Inicio: trimestre 22-O

Alumno: Sergio Castro Hernández. Estudio del desempeño de una caldera de recuperación de calor de un ciclo combinado a cargas parciales. Doctorado en Ciencias del Posgrado de Energía y Medio Ambiente, DCBI, UAMI. Iniciado el trimestre 18-O.

Alumno: Carlos Felipe Coello Castillo

Nivel de Maestría en el posgrado de Ciencias Naturales e Ingeniería

Tesis: Evaluación de la producción de fitometabolitos con el modelo metabólico de *Saccharomyces cerevisiae* utilizando algoritmos multiobjetivo

Director: Roberto Olivares Hernández

Inicio: trimestre 22-O

Alumna: Nayelli Naves García (CVU No. 957285). Formación de residuos en una turbina de gas aeroderivada a partir del método exergético y termoeconómico. Maestría del Posgrado en Energía y Medio Ambiente, Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa. 20 agosto 2021. (CONCLUIDA, co-dirección).

Alumno: Mitsuo J. E. Nakakawa Montes de Oca

Nivel de Especialización en el posgrado de Ciencias Naturales e Ingeniería

Tesis: Flujo de trabajo para la construcción de un modelo metabólico a escala genómica.

Directores: Roberto Olivares Hernández

Terminado: trimestre 23-P

Licenciatura

Alumna: Katia Noemi Rodríguez Escamilla

Nivel: Licenciatura en Ingeniería Biológica

Proyecto Terminal: Modelo farmacocinético del envenenamiento por picadura de alacrán y del tratamiento con antiveneno.

Directores: Roberto Olivares Hernández

Terminado: trimestre 24-P

Alumno: Christian Rico Venegas

Nivel: Licenciatura en Ingeniería Biológica

Proyecto Terminal: Evaluación de la producción de ácido abscísico utilizando el modelo metabólico a escala genómica de *Bacillus subtilis*

Directores: Roberto Olivares Hernández y Gabriel Vigueras Ramírez

Terminado: trimestre 24-I

Alumna: Fátima Alejandra Camilo Jurado

Nivel: Licenciatura en Ingeniería Biológica

Proyecto Terminal: Evaluación de la producción de ácido abscísico utilizando el modelo metabólico a escala genómica de *Bacillus subtilis*

Directores: Gabriel Vigueras Ramírez y Roberto Olivares Hernández

Terminado: trimestre 24-P

Alumno: Ángel Alejandro Martínez González

Nivel: Licenciatura en Ingeniería Biológica

Proyecto Terminal: Análisis de los flujos metabólicos del ciclo del glicolato en *Acinetobacter schindleri* ACE utilizando el modelo metabólico a escala genómica.

Directores: Roberto Olivares Hernández y Gabriel Vigueras Ramírez

Terminado: trimestre 23-P

Alumna: Diana De la cruz García

Nivel: Licenciatura en Ingeniería Biológica

Proyecto Terminal: Evaluación de un proceso de producción de ácido indol acético con *Bacillus subtilis*, utilizando propionato.

Directores: Roberto Olivares Hernández y Gabriel Vigueras Ramírez

Terminado: trimestre 23-P

Alumna: Adriana Yael Alejandre Hernández

Nivel: Licenciatura en Ingeniería Biológica

Proyecto Terminal: Evaluación de la producción de enzimas CAZymes y FOLymes por *Leucoagaricus gongylophorus* utilizando residuos lignocelulósicos

Directores: Gabriel Vigueras Ramírez y Roberto Olivares Hernández

Terminado: trimestre 23-P

Alumna: Ángel Alejandro Martínez González

Nivel: Licenciatura en Ingeniería Biológica

Servicio Social: Nueva imagen de comunicación y contenidos en medios digitales para la Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería, A.C.

Etapas "Desarrollo de dos mapas interactivos de pregrado y posgrado de programas educativos a nivel superior relacionados con la biotecnología y bioingeniería"

Directora y director: Dolores Reyes Duarte y Roberto Olivares Hernández

Terminado: trimestre 23-P

Alumno: Proyecto terminal. Carlos Omar Espinosa Vázquez (Matrícula 2163072224).

Modelo epidemiológico de COVID-19 para la CDMX. Helen Lugo Mendez y Olivares-Hernández Roberto.

7. Lista de publicaciones:

1. Castillo-Alfonso, F., Valadez-Cano, C., Cejas-Añón, G., Utrilla, J., Alanis, J. C. S., Le Borgne, S., ... & Olivares-Hernández, R. (2024). Sequencing, assembly, and genomic annotation of *Leucoagaricus gongylophorus* LEU18496, a dikarya mutualistic species. *Molecular Omics*, 20(8), 524-531.

2. Olivares-Hernández, R., Riaño-Umbarila, L., Becerril, B., Alagón, A., & Vázquez-López, H. (2024). Pharmacokinetic evaluation of a single chain antibody fragment against scorpion toxins in sheep. *Toxicon*, 242, 107691.
3. Ortiz, I., Valdez-Vazquez, I., Hernández-Vázquez, A., Olivares-Hernández, R., Carillo-Reyes, J., Alatríste-Mondragón, F., ... & Razo-Flores, E. (2024). Process design and economic evaluation for methane and electricity production from Agave bagasse using different pretreatments. *Energy Conversion and Management*, 306, 118319.
4. García López, M.F.; González Peto, E., Castro Hernández, S.; Lugo Méndez, H.; Lugo Leyte, R. (2023). Generación de entropía de una torre de enfriamiento de tiro natural. *Journal CIM-Revista*, 11(1), IQ 619 --IQ 628.
5. Castro Hernández, S., Lugo Leyte, R.; Torres Aldaco, A., Alegria Ruiz, I. D., Lugo Méndez, H. (2023). Estudio termoeconómico de un ciclo combinado de dos niveles de presión. *Journal CIM-Revista*, 11(1), IQ 553 -- IQ 562.
6. Valadez-Cano, C., Olivares-Hernández, R., Espino-Vázquez, A. N., & Partida-Martínez, L. P. Genome-Scale Model of *Rhizopus microsporus*: Metabolic integration of a fungal holobiont with its bacterial and viral endosymbionts. *Environmental microbiology*. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.16551>
6. Christian Jesús Mora-Pérez , Gustavo Viniegra-González , Roberto Olivares-Hernández , Ernesto Favela-Torres. High citric acid production in solid-state fermentation by *Aspergillus brasiliensis* on polyurethane foam. *Mexican Journal of Biotechnology* 2023, 8(4):90-109. <https://doi.org/10.29267/mxjb.2023.8.4.90>
7. Torres González, E. V., Castro Hernández, S., **Lugo Méndez, H. D.**, Arroyo Cabañas, F. G., Valencia López, J., Lugo Leyte, R. (2022). Comparison of the Parameters of the Exergoeconomic Environmental Analysis of Two Combined Cycles of Three Pressure Levels with and without Postcombustion. *Entropy*, 24(5), 636. <https://doi.org/10.3390/e24050636>
8. Castro-Hernández, S.; López-Arenas, T.; Torres-González, E.V.; **Lugo-Méndez, H.**; Lugo-Leyte, R. (2022) Thermoeconomic Diagnosis of the Sequential Combustion Gas Turbine ABB/Alstom GT24. *Energies*, 15(2):631. <https://doi.org/10.3390/en15020631>
9. Castillo-Alfonso, F.; Quintana-Menéndez, A.; Viguera-Ramírez, G.; **Sales-Cruz, A.M.**; Rosales-Colunga, L.M.; **Olivares-Hernández, R.** Analysis of the Propionate Metabolism in *Bacillus subtilis* during 3-Indolacetic Production. *Microorganisms* 2022, 10, 2352. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10122352>
10. Baez, A., Sharma, A. K., Bryukhanov, A., Anderson, E. D., Rudack, L., Olivares-Hernández, R., ... & Shiloach, J. (2022). Iron availability enhances the cellular energetics of aerobic *Escherichia coli* cultures while upregulating anaerobic respiratory chains. *New Biotechnology*, 71, 11-20. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2022.06.004>
11. García-Aranda, O., Heard, C., Valencia-López, J. J., & Solorio-Ordaz, F. J. (2022). Heat

Transfer and Pressure Drops in a Helical Flow Channel Liquid/Solid Fluidized Bed. *Energies*, 15(23), 9239. <https://doi.org/10.3390/en15239239>

8. Lista de presentaciones en eventos de divulgación:

1. Mendizábal Velázquez, R., & Lugo Méndez, H. (2024). Análisis de un sistema de distribución de agua: aplicación de métodos numéricos con Julia. Presentado en la 6ta Semana de Ingeniería Biológica, 6-8 de noviembre de 2024.
2. Lugo Méndez, H. (2024). Cartel: Termoeconomía circular de bioprocesos. 6ta Semana de Ingeniería Biológica, 6-8 de noviembre de 2024.
3. Roberto Olivares Hernández (2024). Cartel: Modelado de sistemas biológicos. 6ta Semana de Ingeniería Biológica, 6-8 de noviembre de 2024.
4. Roberto Olivares Hernández (2024). Presentación oral: Aplicación del modelado para el estudio farmacocinético de venenos y antivenenos. Congreso de Biotecnología Médica y Farmacéutica, CIATEJ Guadalajara, 17 y 18 de noviembre de 2024.
5. Katia Noemi Rodríguez Escamilla (2024). Cartel: Modelo farmacocinético del envenenamiento por picadura de escorpión y del tratamiento con anticuerpo scFv LR. Congreso de Biotecnología Médica y Farmacéutica, CIATEJ Guadalajara, 17 y 18 de noviembre de 2024.
6. Vázquez Rodríguez, M.; Lugo Leyte, R.; Torres Aldaco, A.; Salazar Pereyra, M.; Lugo Méndez, H. (2023) Análisis Termodinámico del Proceso Linde para Licuar Hidrógeno. 5º Congreso Internacional de Energía. 22 septiembre 2023, Zacatecas, México. Oral. Universidad Autónoma de Zacatecas.
7. García López, M.F.; González Peto, E., Castro Hernández, S.; Lugo Méndez, H.; Lugo Leyte, R. (2023) Generación de entropía de una torre de enfriamiento de tiro natural. Coloquio de Investigación Multidisciplinaria Orizaba 2023, 10 octubre 2023, Orizaba, Veracruz, México. Oral. Instituto Tecnológico de Orizaba.
8. Castro Hernández, S., Lugo Leyte, R.; Torres Aldaco, A., Alegria Ruiz, I. D., Lugo Méndez, H. (2023) Estudio termoeconómico de un ciclo combinado de dos niveles de presión. Coloquio de Investigación Multidisciplinaria Orizaba 2023, 10 octubre 2023, Orizaba, Veracruz, México. Oral. Instituto Tecnológico de Orizaba.
9. Mauricio Carrasco-González, León Sánchez-García, Roberto Olivares-Hernández, Marcia Morales-Ibarría. "ADECUACIÓN DE UN MODELO METABÓLICO DE Chlorophytas PARA LA MICROALGA *Oocystis* sp" XLIV Encuentro Nacional del AMIDIQ. México/Huatulco. 06/11/23
10. Roberto Olivares Hernández, Lidia Riaño Umbarila, Baltazar Becerril, Alejandro Alagón Cano, Hilda Vázquez López. "ESTUDIO FARMACOCINÉTICO Y RESCATE DE ENVENENAMIENTO CON ANTIVENENO EN FORMATO DE CADENA SENCILLA". LVI CONGRESO NACIONAL Y X INTERNACIONAL DE CIENCIAS FARMACÉUTICAS 2023. México/Puebla. 11/09/23

11. Gabriela Cejas Añon, Freddy Castillo Alfonso, Roberto Olivares, Gabriel Viguera "Potencialidad biotecnológica del hongo *Leucoagaricus gongylophorus* LEU18496 en la producción de glucógeno". Congreso Internacional de Biotecnología Aplicada 2023. México/Queretaro. 01/12/23
12. Alejandro Quintana, Antonino Baez, Roberto Olivares, Gabriel Viguera. "Producción de auxinas empleando *Bacillus subtilis* para la sustentabilidad alimentaria". Congreso Internacional de Biotecnología Aplicada 2023. México/Queretaro. 01/12/23
13. Roberto Olivares Hernández, Lidia Riaño Umbarila, Baltazar Becerril, Alejandro Alagón Cano, Hilda Vázquez López. "ESTUDIO FARMACOCINÉTICO DE ANTIVENENO EN FORMATO DE CADENA SENCILLA (SCFV)." XX Congreso Internacional de Biotecnología y Bioingeniería 2023. México/Ixtapa. 11/09/23
14. Roberto Olivares Hernández, Lidia Riaño Umbarila, Baltazar Becerril, Alejandro Alagón Cano, Hilda Vázquez López. "Rescate de envenenamiento con antiveneno en formato de cadena sencilla (scFv)". XX Congreso Internacional de Biotecnología y Bioingeniería 2023. México/Ixtapa. 11/09/23
15. Naxhie López-Reyesa, Francisco Barona-Gómezc, Martin Heilb, Roberto Olivares-Hernándezd. "PROMISCUIDAD BISUSTRATO DE LA ISOMERASA FOSFORIBOSIL ANTRANILATO (PRIA) EN UN CONTEXTO DE MODELOS Metabólicos a escala genómica". VII Congreso de Físicoquímica, Estructura y Diseño de proteínas. México/Queretaro. 06/11/23
16. Christian Jesús Mora Pérez, Gustavo Viniegra González, Roberto Olivares-Hernández, Ernesto Favela Torres "PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO POR *Aspergillus brasiliensis* EN FERMENTACIÓN EN ESTADO SÓLIDO". SIMPOSIO DE PERSPECTIVAS EN BIOTECNOLOGÍA 2023. UAM-I. 19/05/23
17. Jorge Isaac Sánchez Reyes, Leyanis Marchena León, Román Guadarrama Pérez, Valaur Ekbalam Márquez Baños, José Javier Valencia López, Jersain Gómez Núñez, Jorge Ramírez Muñoz.
Título del trabajo: Evaluación de la eficiencia de desaglomeración de partículas de $MgSiO_3$ usando dos impulsores comerciales de alto corte
Congreso: XLIII Encuentro Nacional del AMIDIQ
Fechas del congreso: 23-26 agosto, 2022
País: Puerto Vallarta, Jal.
Tipo de participación: Cartel
18. Autores: Torres González, E. V.; Arroyo Cabañas, F. G.; Lugo Leyte, R.; Lugo Méndez, H. D.; Torres Aldaco, A
Título del trabajo: Estudio exergoeconómico de un sistema de refrigeración por compresión de vapor de dos etapas.
Congreso: Libro de actas XI Congreso Ibérico y IX Congreso Iberoamericano de Ciencias y Técnicas del Frío Cytef 2022, 379-385. 817-19
Fechas del congreso: abril 2022
País: Murcia, España.
Tipo de participación: Cartel y memorias

19. Autores: Lázaro Alejandro Quintana Menéndez, Juan Gabriel Vigueras Ramírez, Roberto Olivares Hernández
Título del trabajo: Evaluación de la producción de ácido indolacético en *Bacillus subtilis* utilizando modelos metabólicos a escala genómica y algoritmos de optimización multiobjetivo
Congreso: XLIII Encuentro Nacional del AMIDIQ
Fechas del congreso: 23 al 26 de agosto 2022
País: México
Tipo de participación: Cartel
20. Autores: Gabriela Cejas Añón, Sergio Hernández Jiménez, Roberto Olivares Hernández, Gabriel Vigueras Ramírez.
Título del trabajo: EVALUACIÓN DEL METABOLISMO DE PRODUCCIÓN DEL GLUCÓGENO Y ENZIMAS CAZymes Y FOLymes DE *Leucoagaricus gongylophorus*.
Congreso: XLIII Encuentro Nacional del AMIDIQ
Fechas del congreso: 23 al 26 de agosto 2022
País: México
Tipo de participación: Cartel
21. Autores: Freddy Castillo-Alonso, Mitsuo José Enrique Nakakawa Montes de Oca, Juan Carlos Sigala Alanís, Gabriel Vigueras Ramírez, Roberto Olivares-Hernández
Título del trabajo: ENSAMBLE, ANOTACIÓN, Y CONSTRUCCIÓN DEL MODELO METABÓLICO A ESCALA GENÓMICA DEL HONGO *Leucoagaricus gongylophorus* LEU18496 SIMBIONTE DE LA HORMIGA Atta mexicana
Congreso: XLIII Encuentro Nacional del AMIDIQ
Fechas del congreso: 23 al 26 de agosto 2022
País: México
Tipo de participación: Cartel
22. Autores: Freddy Castillo-Alonso, Mitsuo José Enrique Nakakawa Montes de Oca, Juan Carlos Sigala Alanís, Gabriel Vigueras Ramírez, Roberto Olivares-Hernández
Título del trabajo: From genome sequencing to the first draft of the genome scale metabolic model of the symbiont fungus *Leucoagaricus gongylophorus* LEU18496.
Congreso: International Conference in Systems Biology, ICSB2022
Fechas del congreso: 8 al 12 de octubre 2022
País: Berlín, Alemania
Tipo de participación: Cartel y presentación
23. Autores: Roberto Olivares Hernández
Título del trabajo: Microorganismos para la Industria: Antecedentes, Herramientas y Aplicaciones. Congreso: Revolucionando la Ciencia a Conciencia, evento iGEM-UAM
Fechas del congreso: 30 de mayo, 1, 3 y 4 de junio del 2022
País: México
Tipo de participación: Ponencia virtual
24. E. V. Torres González, R. Lugo Leyte, H. D. Lugo Méndez, A. Torres Aldaco. Evaluación exergoeconómica de un sistema de climatización. 8-11 septiembre 2021 XLII Encuentro Nacional del AMIDIQ (CARTEL, evento virtual)
25. F. Tenorio Rodríguez, A. Torres Aldaco, R. Lugo Leyte, S. Castro Hernández, E. V. Torres González. Análisis de costos exergéticos de un ciclo de refrigeración

por compresión de vapor de dos etapas con enfriamiento regenerativo. 8-11 septiembre 2021 XLII Encuentro Nacional del AMIDIQ (CARTEL, evento virtual)

26. J. A. Ramírez Nava, H. D. Lugo Méndez, V. E. Márquez Baños, R. Guadarrama Pérez, J. J. Valencia López, J. Ramírez Muñoz. Estimación del coeficiente de transferencia de calor en un tanque agitado sin baffles mediante simulación CFD. 8-11 septiembre 2021 XLII Encuentro Nacional del AMIDIQ (CARTEL, evento virtual)
27. Participación en la mesa redonda "Eficiencia Energética en los procesos actuales". Semana de la Energía, 20-24 septiembre 2021. Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. (Evento Virtual).
28. Ma. F. Torres Pérez, A. J. Hernández Monzalvo, H. D. Lugo Méndez. Determinación del hematocrito de la región central de una arteria mediante la aplicación de métodos numéricos para la estimación de raíces. IV Simposio de las Licenciaturas de la DCNI. 23-24 septiembre 2021. Universidad Autónoma Metropolitana - Cuajimalpa. (ORAL, evento virtual)
29. A. Pérez Mendoza, D. S. Reyes Rivera, H. D. Lugo Méndez. Aplicación del cálculo integral para el seguimiento de la pandemia por COVID-19 en la alcaldía Cuajimalpa. IV Simposio de las Licenciaturas de la DCNI. 23-24 septiembre 2021. Universidad Autónoma Metropolitana - Cuajimalpa. (VIDEO, evento virtual)

9. Memoria de Congreso

- Vázquez Rodríguez, M.; Lugo Leyte, R.; Torres Aldaco, A.; Salazar Pereyra, M.; Lugo Méndez, H. (2023). Análisis Termodinámico del Proceso Linde para Licuar Hidrógeno. En Memorias del 5° Congreso Internacional de Energía 2023.

10. Tabla comparativa entre lo establecido en el calendario de actividades y lo alcanzado hasta la entrega del informe final.

En esta tabla se concentran todos los entregables que se propusieron originalmente.

Producto entregable	Planeado para el proyecto	Reportados	Porcentaje cumplido
Formación de recursos humanos nivel licenciatura			
Servicio Social	0	1	100%
Proyecto terminal o Tesis de Licenciatura	4	8	100%
Formación de recursos humanos posgrado			
Especialización	0	1	
Maestría	4	3	75%

Doctorado	3	2 concluidos 2 en proceso (85% de avance en cada uno)	90%
Publicaciones			
Artículos	4	12	100%
Capítulos de libro	0	1	
Memorias o Proceedings	0	1	
Difusión o Divulgación			
Congresos (Nacional e Internacional)	20	29	100%
Conferencias	0	0	
Otros: Especificar y proveer detalle del producto			

12. Conclusiones

Durante el desarrollo del proyecto se atendieron todas las observaciones que de manera anual se estuvieron solicitando.

Este proyecto recibió apoyo económico por \$ 75,000 MXN a través de la “Convocatoria para apoyar proyectos de investigación aprobados por los consejos divisionales de CCD, CNI y CSH de la Unidad Cuajimalpa” publicada en 2022; dictamen RC.158.2022.

Los entregables que se comprometieron en el proyecto se lograron concluir y en algunos casos se pudo entrar más de lo comprometido; excepto en la formación de recursos a nivel Maestría en donde solo se logró el 75%. Esto debido a que no se logró captar más alumnado para el proyecto. En cuanto al alumnado de Doctorado se tuvo un gran avance.

Con los entregables obtenidos los objetivos particulares del proyecto se alcanzaron de la siguiente manera:

- Generar conocimiento acerca del diseño de productos y procesos.
 - Se generó conocimiento respecto a la producción de enzimas con capacidad de degradar material lignocelulósica y fitohormonas para el estímulo de crecimiento de plantas.
- Desarrollar, mantener y promover los nuevos modelos de unidades de operación y los nuevos modelos de productos y sus interfaces.
 - Se simularon unidades de operación como compresores para mejorar la eficiencia energética y de biorreactores para mejorar los coeficientes de transferencia de calor y masa

- Obtener modelos matemáticos que contribuyan a la mejor operación de los procesos químicos y biológicos.
 - Se modelaron flujos sanguíneos en arterias para la determinación de hematrocitos y también se aplicaron modelos matemáticos para el seguimiento de casos de pandemia por COVID-19 en la alcaldía Cuajimalpa
- Promover el uso de herramientas computacionales avanzadas para la integración de modelos.
 - Se promovió el uso de métodos numéricos y algoritmos de optimización multiobjetivo para el modelado de bioprocesos y redes metabólicas.
- Implementar las metodologías desarrolladas en casos de estudio de impacto actual.
 - Se aplicaron los modelos para los casos de estudio de producción de enzimas, fitohormonas y casos de refrigeración en procesos industriales.

Por lo anterior, se puede concluir que el objetivo general del proyecto fue cumplido.