

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN GRUPAL PIGR-19-17

"Desarrollo e implementación de esquemas de Control Avanzado para Páncreas Artificial"

En la ciudad de Quito D.M., a los nueve días del mes de agosto del año dos mil veintidós, comparecen a la celebración de la presente Acta de Finalización del Proyecto de Investigación Grupal **PIGR-19-17 "Desarrollo e implementación de esquemas de Control Avanzado para Páncreas Artificial"**, por una parte, la **Dra. Alexandra Patricia Alvarado Cevallos** en calidad de **Vicerrectora de Investigación, Innovación y Vinculación** de la Escuela Politécnica Nacional, y por otra el **Dr. Oscar Eduardo Camacho Quintero** en calidad de **Director del Proyecto de Investigación Grupal PIGR-19-17**, al tenor de lo siguiente:

1. ANTECEDENTES:

- a) El 17 de septiembre de 2019, al amparo de lo dispuesto por Consejo de Investigación, Innovación y Vinculación - CIIV, mediante Resolución Nro. RCIPS-124-2019, se aprueba el cronograma para la Convocatoria para la presentación de Proyectos de Investigación, Vinculación y Transferencia Tecnológica del 2019. El 15 de octubre de 2019, mediante Resolución Nro. RCIPS-153-2019, se aprueba la modificación al cronograma.
- b) El 3 de marzo de 2020, al amparo de lo dispuesto por Consejo de Investigación, Innovación y Vinculación, mediante Resolución Nro. RCIV-028-2020, se aprobó el "Informe Final de los Proyectos de Investigación de la Convocatoria 2019", donde se muestran los resultados y los proyectos aprobados de la Convocatoria 2019. Entre los proyectos aprobados se encuentra el Proyecto de Investigación Grupal denominado "Desarrollo e implementación de esquemas de Control Avanzado para Páncreas Artificial", presentado por el Dr. Oscar Camacho.
- c) Mediante Memorando EPN-VIIV-2020-0355-M del 11 de marzo de 2020, el Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Vinculación, notifica al Dr. Oscar Camacho que se ha aprobado la propuesta de Proyecto de Investigación Grupal "Desarrollo e implementación de esquemas de Control Avanzado para Páncreas Artificial", y que se ha asignado el código del proyecto PIGR-19-17.
- d) Mediante Memorando Nro. EPN-VIIV-2020-0555-M del 15 de abril del 2020, el Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Vinculación, notifica a los directores de los Proyectos de Investigación Grupal de la Convocatoria 2019, que la fecha de inicio es el 4 de mayo de 2020, y la fecha de finalización el 3 de mayo de 2022.

2. DATOS GENERALES DEL PROYECTO:

Código del proyecto	PIGR-19-17
Título del proyecto	Desarrollo e implementación de esquemas de Control Avanzado para Páncreas Artificial
Director	-CAMACHO QUINTERO OSCAR EDUARDO
Codirector	-LEICA ARTEAGA PAULO CESAR
Colaborador	-MORALES ESCOBAR LUIS ALBERTO -ROSALES ACOSTA JORGE ANDRES -HERRERA GARZON MARCO ANTONIO
Unidad ejecutora	DEPARTAMENTO DE AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL INDUSTRIAL
Líneas de investigación	-Control y sistemas
Objetivo	Desarrollar e implementar esquemas avanzados de control para Páncreas Artificial
Duración del proyecto	-Fecha de Inicio: 2020-05-04 -Fecha de Fin Planeada:2022-05-03 -Fecha de Fin Real:2022-05-03 -Duración total: 24 meses
Presupuesto aprobado	\$ 50.000,00 USD
Presupuesto ejecutado	\$ 13.858,75 USD
Fecha de entrega de informe final	9 de mayo de 2022

3. INFORME FINAL:

Mediante Memorando Nro. EPN-PIGR-19-17-2022-0002-M del 9 de mayo de 2022, el Dr. Oscar Camacho, Director del Proyecto de Investigación Grupal PIGR-19-17, presenta el Informe Final del Proyecto Grupal que dirige, mismo que es revisado por la Dirección de Investigación, se anexa y forma parte integrante del Acta de Finalización, cuyas conclusiones y productos generados son:

CONCLUSIONES:

- a) Se realizó el estudio bibliográfico sobre la diabetes mellitus tipo 1, enfermedad que no tiene cura, sin embargo, un tratamiento adecuado, ayuda a los pacientes a llevar una mejor calidad de vida, para ello, el uso de bombas de insulina es de gran ayuda, ya que, realizan infusiones de insulina basal y bolus automáticamente dependiendo de la lectura de glucosa obtenida.
- b) Se seleccionó e implementó el modelo glucosa - insulina de Hovorka en el software Simulink de Matlab, debido a que, los parámetros del modelo se obtuvieron en base a pruebas preclínicas realizadas en pacientes con DM1, permite, además, la variación interpaciente, con el objetivo de evaluar el desempeño de los controladores para diferentes pacientes.
- c) Se simularon los controladores SMC y MPC debido a que, ambos son robustos ante perturbaciones, y junto con el anticipo de carbohidratos permiten regular la cantidad de glucosa en la sangre; de estos dos, el controlador SMC evitó episodios de hipoglucemia en las pruebas que se realizaron para los diferentes pacientes y escenarios analizados en este proyecto.
- d) Se diseñó e implementó un prototipo funcional de bomba de insulina para páncreas artificial, el cual cumple con su propósito de dosificar insulina para regular la cantidad de glucosa en la sangre, además, puede ser utilizado para futuros trabajos en la implementación de controladores para páncreas artificial.
- e) El circuito impreso desarrollado en Altium fue implementado tomando en cuenta los requerimientos de la norma IPC220, la cual se emplea para prototipos y dispositivos finales; por otro lado, el case se desarrolló en AutoCAD y se realizó su respectiva impresión en 3D con material PLA.
- f) Se implementó una interfaz gráfica en APP designer de Matlab, que permitió observar los resultados de glucosa e insulina obtenidos, tanto en el prototipo de páncreas artificial como en la simulación, además, permite obtener el tiempo en rango de los niveles de glucosa obtenidos en un día y sus respectivas alarmas.
- g) Se evaluó el desempeño de los controladores SMC y MPC mediante los índices de desempeño ISE y TVU, además, se realizó la validación de éstos mediante el simulador UVA/PADOVA, único aprobado por la FDA para realizar pruebas preclínicas en pacientes con diabetes tipo 1.
- h) Se concluye que, de acuerdo con el indicador CVG, el controlador SMC mantiene a 9 pacientes adultos de un total de 10 dentro del rango de normoglucemia, permitiendo implementar este controlador en el prototipo, para que pueda ser utilizado por personas con diabetes tipo 1.

PRODUCTOS:

- 1) Artículo publicado: "*An intelligent sliding mode controller based on LAMDA for a class of SISO uncertain systems*"; Luis Morales, José Aguilar, Óscar Camacho, Andrés Rosales; Information Sciences (Indexado Scopus, Q1); ISSN: 00200255; <https://doi.org/10.1016/j.ins.2021.03.012>, agosto 2021.
- 2) Artículo publicado: "*Regulation of Nonlinear Chemical Processes with Variable Dead Time: A Generalized Proportional Integral Controller Proposal*"; Marco Herrera, Óscar Camacho, Willian Chacón, Jefferson Vallejo; International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology (Indexado Scopus, Q3); ISSN: 20885334; [DOI:10.18517/ijaseit.11.4.13726](https://doi.org/10.18517/ijaseit.11.4.13726); agosto 2021.
- 3) Artículo publicado: "*Nonsquare Multivariable Chemical Processes: A Hybrid Centralized Control Proposal*"; Marco Herrera, Óscar Camacho, Jefferson Revelo; Industrial & Engineering Chemistry

Research (Indexado Scopus, Q1); ISSN: 08885885;
<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.iecr.0c01790>; julio 2020.

- 4) Artículo publicado: “*Linear Algebra Controller Design Based on the Integral of Desired Closed – Loop Behavior: Application to Regulation and Trajectory Tracking in a Typical Chemical Process*”; María Fabiana Sardella, Emanuel Serrano, Óscar Camacho, Gustavo Scaglia; Industrial & Engineering Chemistry Research (Indexado Scopus, Q1); ISSN: 08885885; <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.iecr.0c04799>; octubre 2020.
- 5) Artículo publicado: “*An Application of MVMO Based Adaptive PID Controller for Process with Variable Delay*”; Estefania Salazar, Marco Herrera, Óscar Camacho; Advances in Intelligent Systems and Computing (Indexado Scopus, Q4); ISSN: 21945357; DOI:10.1007/978-3-030-59194-6_29; Octubre 2020.
- 6) Artículo publicado: “*PID and Sliding Mode Control for a Reactor-Separator-Recycler System: A Regulatory Controllers' Comparison*”; Roberto Arroba, Karina Rocha, Marco Herrera, Paulo Leica, Óscar Camacho; Advances in Intelligent Systems and Computing (Indexado Scopus, Q4); ISSN: 21945357; https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-59194-6_30; octubre 2020.
- 7) Artículo publicado: “*Processes with Variable Parameters and Dominant Time Delay: A Fuzzy Adaptive Control Approaches Comparison*”; Edwin Anchitipan, Óscar Camacho; Lecture Notes in Electrical Engineering (Indexado Scopus, Q4); ISSN: 18761100; https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-72208-1_14; marzo 2021.
- 8) Artículo publicado: “*In Silico Comparison for Smith Predictors Applied to Processes with Elevated Delay and Noise Effects*”; Carlos Mejía, Óscar Camacho; Lecture Notes in Electrical Engineering (Indexado Scopus, Q4); ISSN: 18761100; https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-72208-1_15; marzo 2021.
- 9) Artículo presentado en congreso: “*A comparison of different temperature control techniques for a reactor station*” (Indexado Scopus); María Sol Soria, Daniel Cordova, Óscar Camacho, Paulo Leica; 2020 IEEE ANDESCONM; ISBN: 978-172819365-6; DOI: 10.1109/ANDESCON50619.2020.9272171; octubre 2020.
- 10) Artículo presentado en congreso: “*Adaptative nonlinear MPC for efficient trajectory tracking applied to autonomous mining skid-steer mobile robots*” (Indexado Scopus); Álvaro Prado, Danilo Chávez, Óscar Camacho, Miguel Torres-Torriti, Fernando Auat Cheein; Proceedings 2020 IEEE ANDESCONM; ISBN: 978-172819365-6; DOI: 10.1109/ANDESCON50619.2020.9272162; 2020.
- 11) Artículo presentado en congreso: “*Experimental comparison among control strategies for tracking trajectories applied to a batch reactor*” (Indexado Scopus); María Sol Soria, Daniel Córdoba, Óscar Camacho, Paulo Leica; diciembre 2020; Proceedings 2020 IEEE ANDESCONM; ISBN: 978-172819365-6; DOI: 10.1109/ANDESCON50619.2020.9272039; octubre 2020.
- 12) Artículo presentado en congreso: “*Anti-Windup algorithms for sliding mode control in processes with variable dead-time*” (Indexado Scopus); José Torres, Danilo Chávez, Hanna Aboukheir, Marco Herrera, Javier Prado, Óscar Camacho; Proceedings 2020 IEEE ANDESCONM; ISBN: 978-172819365-6; DOI: 10.1109/ANDESCON50619.2020.9272039; octubre 2020.
- 13) Presentación a la comunidad politécnica: Presentación de resultados del proyecto de investigación grupal PIGR-19-17; Conferencia DACI; Jenny Haro; 23 de abril de 2022.
- 14) Proyecto de titulación de Ingeniería Electrónica y Control: “*Diseño, simulación e implementación de un prototipo de páncreas artificial para pacientes virtuales con diabetes tipo 1 aplicando controladores SMC y MPC con información anticipada de carbohidratos*”; Stefany Villareal, Diego Lombeida; noviembre 2021.
- 15) Proyecto de titulación ingeniería electrónica y control: “*Diseño, Simulación e Implementación de Controladores Basados en PID con Acciones Anticipativas; para un Prototipo Operacional de Bomba*”

de Insulina para Páncreas Artificial en Pacientes Virtuales con Diabetes Tipo 1"; Frank Steward Galarza Carvajal, Santiago Ramiro Simba Dueñas; febrero del 2022.

4. LIQUIDACIÓN ECONÓMICA:

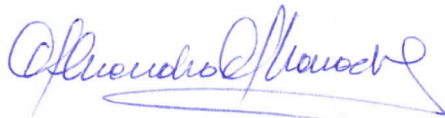
El monto asignado al Proyecto de Investigación Grupal PIGR-19-17 fue de \$ 50.000,00 USD (cincuenta mil dólares americanos, con 00/100), y se ejecutaron \$ 13.858,75 USD (trece mil ochocientos cincuenta y ocho dólares americanos, con 75/100), conforme al detalle emitido por la Unidad de Gestión de Investigación y Proyección Social del Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Vinculación, que se adjunta a la presente Acta y forma parte integrante de la misma.

5. FINALIZACIÓN:

Con la presente Acta se declara finalizado y cerrado el Proyecto de Investigación Grupal PIGR-19-17 "Desarrollo e implementación de esquemas de Control Avanzado para Páncreas Artificial".

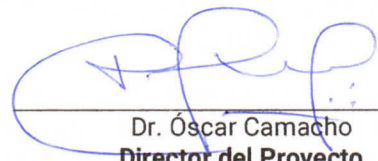
Para constancia de lo ejecutado y por estar de acuerdo con el contenido de la presente Acta, las partes libre y voluntariamente suscriben la misma, en tres ejemplares de igual contenido, tenor y valor legal.

Dado en la ciudad de Quito, D.M. a los nueve días del mes de agosto del año dos mil veintidós.



Dra. Alexandra Alvarado
Vicerrectora de Investigación,
Innovación y Vinculación

cc/sp



Dr. Óscar Camacho
Director del Proyecto
PIGR-19-17

recibido
26-08-2022
