

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN MULTI E INTERDISCIPLINARIO PIMI-17-01
"Modelización matemática de la evolución de tumores cancerígenos"

En la ciudad de Quito D.M., a los trece días del mes de mayo del año dos mil veintidós, comparecen a la celebración de la presente Acta de Finalización del Proyecto Multi e Interdisciplinario **PIMI-17-01 "Modelización matemática de la evolución de tumores cancerígenos"**, 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. Pedro Martín Merino Rosero** en calidad de **Director del Proyecto Multi e Interdisciplinario PIMI-17-01**, al tenor de lo siguiente:

1. ANTECEDENTES:

- a) El 4 de julio de 2017, al amparo de lo dispuesto por el Consejo de Investigación y Proyección Social - CIPS, mediante Resolución R079/17, se aprueba el cronograma para la convocatoria de proyectos de investigación 2017. El 1 de agosto de 2017, mediante Resolución R092/17, se aprueba la reforma al cronograma.
- b) El 12 de diciembre de 2017, al amparo de lo dispuesto por Consejo de Investigación y Proyección Social, mediante Resolución R167/17, se aprobó el "*Informe Final 1- Convocatoria 2017*", donde se mostraron los resultados y los proyectos aprobados de la Convocatoria 2017. Entre los proyectos aprobados se encuentra el proyecto Multi e Interdisciplinario denominado "*Modelización matemática de la evolución de tumores cancerígenos*", presentado por el Dr. Pedro Merino.
- c) Mediante Memorando EPN-VIPS-2018-0045-M del 8 de enero del 2018, el Vicerrectorado de Investigación y Proyección Social, notifica al Jefe Departamento de Matemática (DM), la aprobación del proyecto "*Modelización matemática de la evolución de tumores cancerígenos*", presentado por el Dr. Pedro Merino.
- d) Mediante Memorando EPN-VIPS-2018-0557-M del 13 de marzo del 2018, el Vicerrectorado de Investigación y Proyección Social, notifica a los directores de los Proyectos de Investigación Multi e Interdisciplinarios de la Convocatoria 2017, el código del proyecto con fecha de inicio 9 de abril del 2018.
- e) Mediante Memorando EPN-DI-2020-0228-M del 30 de marzo de 2020, la Dirección de Investigación informa al Dr. Pedro Merino, que la solicitud de designación de cambio de Director del Proyecto PIMI-17-01 a favor del Dr. Luis Miguel Torres ha sido procesada a partir del 1 de abril de 2020
- f) Mediante Memorando EPN-CIIV-2021-0045-M del 17 de marzo de 2021, el Consejo de Investigación, Innovación y Vinculación, notifica al Dr. Luis Miguel Torres la Resolución RCIIV-041-2021 del 16 de marzo de 2021, donde se aprueba la prórroga técnica del Proyecto Multi e Interdisciplinario PIMI-17-01, por lo que la fecha de fin de ejecución del proyecto es el 8 de julio del 2021.
- g) Mediante Memorando EPN-DI-2021-0230-M del 9 de abril de 2021, la Dirección de Investigación informa al Dr. Luis Miguel Torres, notifica que la solicitud de cambio de Director del Proyecto PIMI-17-01 a favor del Dr. Pedro Merino, ha sido registrada a partir del 1 de abril de 2021.

2. DATOS GENERALES DEL PROYECTO:

Código de Proyecto	PIMI-17-01
Nombre del Proyecto	Modelización matemática de la evolución de tumores cancerígenos
Director del Proyecto	PEDRO MARTIN MERINO ROSERO LUIS MIGUEL TORRES CARVAJAL (del 1 de abril de 2020 al 1 de abril de 2021)
Codirector del Proyecto	LUIS MIGUEL TORRES CARVAJAL
Colaboradores del Proyecto	FAUSTO FABIAN CRESPO FERNANDEZ CHRISTIAN MIGUEL PINTO BAEZ IVAN MARCELO CARRERA IZURIETA MONICA ALEXANDRA GUERRA ALOMOTO
Departamento	Matemática (DM)
Líneas de Investigación	Optimización y Control (DM) Modelización matemática de sistemas complejos (DM) Biología de organismo (DFIS)
Objetivo	Desarrollar modelos matemáticos y herramientas bioinformáticas para el estudio de la evolución genética de las células en tumores cancerígenos
Duración del Proyecto	<ul style="list-style-type: none"> • Inicio: 9 de abril del 2018 • Fin planificado: 9 de abril de 2021 • Prórroga técnica: hasta el 8 de julio de 2021 • Duración total: 39 meses
Entrega del Informe Final	27 de abril de 2022
Presupuesto asignado	\$ 198.250,77 USD
Presupuesto ejecutado	\$ 196.601,84 USD

3. INFORME FINAL:

Mediante Memorando EPN-PIMI-17-01-2022-0001-M del 27 de abril de 2022, el Dr. Pedro Merino, Director del Proyecto PIMI-17-01, presenta el Informe Final del Proyecto Multi e Interdisciplinario que dirige, mismo que es revisado por la Dirección de Investigación, que se anexa y forma parte integrante del Acta de Finalización, cuyas conclusiones y productos generados son:

CONCLUSIONES:

- Se estudiaron modelos evolutivos de difusión y transferencia de calor con términos de perfusión sanguínea para la simulación de hipertermia en el cuerpo humano. Para esto se utilizó un modelo 3d en Slicer para la simulación numérica y se aproximó la ecuación de Penne utilizando el método de elementos finitos. Esto permitió la simulación de la hipertermia para el análisis del efecto de la temperatura al tejido sano y al tejido afectado por cáncer.
- Se estudió un modelo simplificado de transferencia de calor estacionario y la optimización de dicho modelo que incluye restricciones en el estado. Estas restricciones son especialmente útiles como modelamiento para la prevención de quemaduras o efectos no deseados en la hipertermia.
- Se estudiaron algoritmos numéricos para la resolución del problema de dos fases de Stefan. Estos métodos están basados en métodos no suaves de descenso para la optimización del problema en su formulación de entalpía. Los algoritmos numéricos dieron resultados interesantes respecto a los métodos tradicionales en cuanto a las estructuras de las fases. Los resultados nos permiten concluir que el algoritmo arroja buenos resultados y podría ser aplicado a modelos más reales, como la simulación de el efecto de criocirugías en el cuerpo humano.
- Se aplicaron algoritmos de optimización para el entrenamiento de un modelo de aprendizaje, utilizando datos de indicadores del cáncer de ovario para la detección de cáncer en pacientes, sin tener que utilizar métodos invasivos. Para esto se utilizó el algoritmo GSOM.

PRODUCTOS:

- Artículo publicado: "Error estimates for the FEM approximation of optimal sparse control of elliptic equations with pointwise state constraints and finite-dimensional control space"; Merino Pedro, Nenjer Alexander; Optimal Control Applications and Methods (Indexado Scopus, Q2); ISSN: 01432087, 10991514; DOI: 10.1002/oca.2608; septiembre 2020.
- Artículo publicado: "A Semismooth Newton Method for Regularized L^q -quasinorm Sparse Optimal Control Problems"; Merino Pedro; Lecture Notes in Computational Science and Engineering (Indexado Scopus, Q2); ISSN: 14397358; DOI: 10.1007/978-3-030-55874-1_71; septiembre 2019.
- Artículo en congreso con revision por pares: "A second-order method with enriched hessian information for composite sparse optimization problems"; Pedro Merino; Computational Science and Ai in Industry (CSAI): New digital technologies for solving future societal and economical challenges; Helsinki, Finlandia; junio 2019.
- Artículo en conferencia: "A second-order method with enriched hessian information for composite sparse optimization problems"; Pedro Merino; Conferencia International Conference on Continuous Optimization ICCOPT 2019; Berlín, Alemania; agosto 2019.
- Artículo en congreso: "A full Second-order methods for sparse optimization problem"; Pedro Merino; Congreso Nacional de Matemáticas Aplicada Computacional CNMAC; Uberlandia, Brasil; septiembre 2019.
- Artículo en conferencia: "A Semi smooth Newton Method for Regularized L^q - quasinorm Sparse Optimal Control Problems"; Pedro Merino; European Numerical Mathematics and Advanced Applications Conference 2019 - ENUMATH 2019; Egmond aan Zee, Holanda; octubre 2019.
- Proyecto de titulación de Matemáticas: "Modelos de máxima entropía y su resolución numérica mediante métodos de segundo orden con aplicación en la predicción de presencia de especies en áreas naturales"; Carpio Amancha Estefanni Mishelle; URL: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20797>; marzo 2020.
- Tesis de Maestría en Optimización Matemática: "Aproximación por elementos finitos de una clase problemas de control óptimo no convexos gobernados por ecuaciones diferenciales parciales elíptica"; Nenjer Morillo Hernán Alexander; URL: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21729>; julio 2021.
- Seminario de difusión a la comunidad politécnica: "Problemas de optimización con dispersión compuesta, resolución numérica y aplicaciones"; expositor: Pedro Merino; Seminario de Matemática y sus Aplicaciones, Escuela Politécnica Nacional; junio 2021.
- Otros productos: Códigos de programación: Códigos en R del algoritmo OESOM, Códigos en Matlab del algoritmo OESOM y GOESOM, Códigos en FeniCS de la simulación de la ecuación de Penne, Códigos en Matlab de la simulación del problema de dos fases de Stefan, desarrollador: Pedro Merino.

4. LIQUIDACIÓN ECONÓMICA:

El monto asignado al Proyecto Multi e Interdisciplinario PIMI-17-01 fue de \$ 198.250,77 USD (*ciento noventaiocho mil doscientos cincuenta dólares americanos, con 77/100*), y se ejecutaron \$ 196.601,84 USD (*ciento noventa y seis mil seiscientos un dólares americanos, con 84/100*), 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 Multi e Interdisciplinario PIMI-17-01 "*Modelización matemática de la evolución de tumores cancerígenos*".

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 trece días del mes de mayo del año dos mil veintidós.

Dra. Alexandra Alvarado
**Vicerrectora de Investigación,
Innovación y Vinculación**

Dr. Pedro Merino
**Director del Proyecto
PIMI-17-01**

sp/cc